

СОВРЕМЕННЫЕ ТВЕРДОФАЗНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ТЕОРИЯ, ПРАКТИКА И ИННОВАЦИОННЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ



*XII Международная
научно-инновационная
молодежная конференция
20 – 22 мая 2020 г.*

Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
ФГБУН Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения
им. А. Г. Мержанова РАН
Научно-образовательный центр ТамбГТУ-ИСМАН
«Твердофазные технологии»

СОВРЕМЕННЫЕ ТВЕРДОФАЗНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ТЕОРИЯ, ПРАКТИКА И ИННОВАЦИОННЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ

Материалы XII Международной научно-инновационной
молодежной конференции
(Тамбов, 20 – 22 мая 2020 г.)

Научное электронное издание



Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2020

УДК 620.1
ББК 34.4 + 65.291.5
С56

С56 **Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент** : материалы XII Международной научно-инновационной молодежной конференции.; под общ. ред. оргкомитета ; ФГБОУ ВО «ТГТУ», 20 – 22 мая 2020 г. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-дисковод ; 5,86 Mb ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана.
ISBN 978-5-8265-2161-8

Содержит научные статьи и тезисы докладов студентов, аспирантов и молодых научных работников ВУЗов, НИИ и предприятий Российской Федерации и зарубежных стран, вошедших в программу XII Международной научно-инновационной молодежной конференции «Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент».

Может быть полезен преподавателям вузов, научным работникам, руководителям и специалистам предприятий, а также аспирантам, магистрантам и студентам.

УДК 620.1
ББК 34.4 + 65.291.5

Материалы статей предоставлены в электронном виде и сохраняют авторскую редакцию.

*Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком.
Нелегальное копирование и использование данного продукта запрещено.*

ISBN 978-5-8265-2161-8

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2020
© Авторы публикаций, 2020

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ
XII Международной научно-инновационной молодежной конференции
СОВРЕМЕННЫЕ ТВЕРДОФАЗНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:
ТЕОРИЯ, ПРАКТИКА И ИННОВАЦИОННЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ

Сопредседатели:

- Бузник Вячеслав Михайлович - академик РАН, д.х.н., профессор, советник
Генерального директора, начальник
лаборатории «Материалы для арктического
климата» ВИАМ, г. Москва, Россия;
- Краснянский Михаил Николаевич - профессор РАН, д.т.н., профессор, ректор
ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

Программный комитет:

- Ассовский Игорь Георгиевич - д.ф.-м.н., зав. лабораторией «Физика горения
твердых топлив» Института химической физики
им. Н.Н.Семенова, Москва, Россия;
- Бажин Павел Михайлович - д.т.н., зам.директора Института структурной
макрокинетики и проблем материаловедения
им. А.Г.Мержанова РАН, г. Черноголовка,
Россия;
- Баронин Геннадий Сергеевич - д.т.н., профессор ФГБОУ ВО «ТГТУ»,
директор НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН
«Твердофазные технологии», г. Тамбов, Россия –
зам. председателя Программного комитета;
- Буяновский Илья Александрович - д.т.н., зав.лабораторией «Методы смазки
машин» Института машиноведения
им. А.А. Благонравова РАН, г. Москва, Россия;
- Валитов Венер Анварович - д.т.н., ведущий научный сотрудник Института
проблем сверхпластичности металлов РАН,
г. Уфа, Республика Башкортостан.
- Дмитриев Олег Сергеевич - д.т.н., профессор, академик РАЕН, зав. кафед-
рой «Физика» ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов,
Россия;
- Кербер Михаил Леонидович - д.х.н., профессор, РХТУ им. Д.И. Менделеева,
г. Москва, Россия;
- Лазарев Сергей Иванович - д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Механика и
инженерная графика» ФГБОУ ВО «ТГТУ»,
г. Тамбов, Россия;
- Мищенко Сергей Владимирович - д.т.н., профессор ФГБОУ ВО «ТГТУ»,
г. Тамбов, Россия;
- Мордасов Денис Михайлович - д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Материалы и
технология» ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов,
Россия;
- Муромцев Дмитрий Юрьевич - д.т.н., профессор, проректор по научно-
инновационной деятельности ФГБОУ ВО
«ТГТУ», г. Тамбов, Россия;

Dimiter Stavrev	- dr. tech. sci., Professor of Engineering, Technical University, Varna, Bulgaria
Столин Александр Моисеевич	- д.ф.-м.н., профессор, зав. лабораторией пластического деформирования материалов ИСМАН, руководитель НОЦ ИСМАН, г. Черноголовка, Россия;
Стельмах Любовь Семеновна	- д.т.н, вед.н.с. ИСМАН, г.Черноголовка, Россия;
Ткачев Алексей Григорьевич	- д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Техника и технологии производства нанопродуктов» ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия;
Туголуков Евгений Николаевич	- д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия;
Устинова Татьяна Петровна	- д.т.н., профессор, Энгельсский технологический институт (филиал) СГТУ им. Ю.А.Гагарина, г. Энгельс, Россия;
Утяшев Фарид Зайнуллаевич	- д.ф.-м.н., чл.-корр. АН РБ, гл.н.с. Института проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа, Россия;
Ушаков Николай Владимирович	- ген.директор ООО «Полинит», г. Москва, Россия;
Хина Борис Борисович	- д.ф.-м.н., гл.н.с. Физико-технического института НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Краснянский Михаил Николаевич	- профессор РАН, д.т.н., профессор, ректор ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия – председатель;
Завражин Дмитрий Олегович	- к.т.н., начальник отдела научно-технических программ ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия – заместитель председателя Оргкомитета;
Баронин Геннадий Сергеевич	- д.т.н., профессор ФГБОУ ВО «ТГТУ», директор НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии», г. Тамбов, Россия;
Молоткова Наталия Вячеславовна	д.п.н., профессор, первый проректор ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия;
Майстренко Александр Владимирович	- к.т.н., доцент, проректор по развитию имущественного комплекса ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия;
Муромцев Дмитрий Юрьевич	д.т.н., профессор, проректор по научно-инновационной деятельности ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия;
Столин Александр Моисеевич	д.ф.-м.н., профессор, зав. лабораторией пластического деформирования материалов ИСМАН, руководитель НОЦ ИСМАН, г. Черноголовка, Россия;
Завражина Кристина Владимировна	- к.э.н., научный сотрудник НОЦ ТГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии» ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия – ученый секретарь Конференции.

СОДЕРЖАНИЕ

Пленарные доклады	11
<i>Баронин Г.С., Дмитриев О.С., Ассовский И.Г., Stavrev D., Полуэктов В.Л.</i>	
Моделирование и развитие твердофазной технологии переработки СВМПЭ-нанокompозитов в изделия.....	11
<i>Ляшенко Я.А.</i>	
Установка для исследования адгезии в нормальном и тангенциальном контакте.....	16
<i>Ельчищева Т.Ф., Ерофеев В.Т.</i>	
Моделирование структуры строительных материалов при воздействии среды.....	19
<i>Сергеева Е.А. Баронин Г.С. Дмитриев В.М.</i>	
Создание заготовок из полимерных материалов и композитов для производства изделий методом твердофазной технологии.....	22
СЕКЦИЯ 1. Материаловедение и твердофазные технологии новых материалов	25
<i>Мордасов Д.М., Гурьев А.В., Труфанов И.В.</i>	
Влияние термической обработки на структуру стали X2CrNiMoCuN25-6-3.....	25
<i>Чижииков А.П., Бажин П.М., Столин А.М., Константинов А.С.</i>	
Получение керамических пластин на основе Al ₂ O ₃ - SiO ₂ - ZrB ₂ методом свободного СВС-сжатия.....	27
<i>Лоскутова А.Д.</i>	
Технология легирования подконтактных областей при создании полупроводникового преобразователя температуры.....	28
<i>Ромашкина Л.В., Земсков А.Н., Кутовой А.Л., Макеев П.В.</i>	
Влияние пластификаторов и мягчителей на свойства резиновых смесей.....	30
<i>Мордасов М.Д., Харитонов Н.А., Мордасов Д.М.</i>	
Сравнительный анализ физико-механических свойств полимер-минеральных композиционных составов.....	33
<i>Мажаров А.В., Бутягин М.А., Королев А.П.</i>	
Исследование структуры проволоки 5ВРП1400 из стали 85 после пластической деформации.....	35
<i>Яковлев Н.А.</i>	
Оценка эффективности действия различных наполнителей на эпоксидный композит.....	36
<i>Макарчук М.В., Петренко В.И., Ельчищева Т.Ф., Преображенская Е.М.</i>	
Исследование морфологии образцов из полимеров при различных режимах экструдирования.....	39
<i>Ветохин В.Г., Муханова Е.А.</i>	
Исследование взаимосвязи между фазовым составом, методом синтеза и размером частиц в системе CaO-GeO ₂ -P ₂ O ₅	41
<i>Антипов М.С. Чижииков А.П., Бажин П.М., Столин А.М.</i>	
Получение металлокерамических стержней TiC-Ni и TiB-Ti методом СВС-экструзии и их дальнейшее использование в качестве термопар.....	43
<i>Зубова Н.Г., Герасимова В.М., Устинова Т.П.</i>	
Комплексная оценка свойств эпоксидных композитов на основе модифицированных базальтовых нитей.....	45
<i>Базарбаев Б.П., Першин В.Ф. Столяров Р.А.</i>	
Инновационная установка получения и применение малослойного графена.....	48

<i>Зайнуллин Р.И., Ганеев А.А., Шахов Р.В., Логунов А.В., Мухтаров Ш.Х.</i> Влияние термической обработки на микроструктуру и механические свойства нового жаропрочного сплава на основе никеля.....	50
<i>Турганов З.Т., Столин А.М., Бажин П.М.</i> Влияние механических воздействий на свойства и структуру тугоплавких порошковых материалов в системе Ti-C, полученных методом СВС-измельчения.....	53
<i>Бикяшев Э.А, Дармаева Н.Б, Побежимова А.А</i> Катионное упорядочение твердых растворов системы магнониобат - титанат свинца, легированных ионами лантана.....	55
<i>Хазгалиев Р.Г., Имаев М.Ф., Мулюков Р.Р., Суфиярова И.И.</i> Влияние температуры и времени на формирование соединения титанового сплава со сплавом Х2Н98 в процессе сварки давлением.....	58
<i>Лоскутова А.Д.</i> Метод создания тонких ферромагнитных пленок в вакууме.....	62
<i>Мажаров А.В., Бутягин М.А., Королев А.П.</i> Технология армирования бетона проволокой 5ВРП1400.....	64
<i>Константинов А.С., Антипов М.С., Бажин П.М., Столин А.М.</i> Получение методом свободного СВС-сжатия слоистых композиционных материалов TiB-20-40%Ti и их изучение.....	66
<i>Петренко В.И., Земцова Я.С.</i> Исследование прочностных характеристик образцов из полилактида изготовленных на 3D принтере.....	67
<i>Ибрагимов Р.А.</i> Теоретические аспекты активации минеральных вяжущих в аппаратах вихревого слоя.....	69
<i>Ромашкина Л.В., Земсков А.Н., Кутовой А.Л., Макеев П.В.</i> Влияние добавок полифункционального действия на свойства резиновых смесей.....	72
<i>Жидович А.О., Столин А.М., Чижиков А.П., Константинов А.С.</i> Исследование процесса нанесения защитных электроискровых покрытий электродами на основе TiB-Ti.....	75
<i>Архипов Р.С., Павлинов В.В., Просветов А.Е., Шашков И.В.</i> Исследование непрерывного процесса приготвления клея на основе резиновых смесей.....	76
<i>Фролов В.А., Красин М.А., Прокофьев А.С., Беляев П.С., Соколов М.В.</i> Взаимодействие нефтяных дорожных битумов с адгезивами.....	79
<i>Зинчук Е.А., Кутовой А.Л., Тэфанюк М.Н., Макеев П.В.</i> Перспективы использования отходов производства ЦСП в качестве наполнителя.....	82
<i>Мордасов Д.М., Труфанов И.В., Гурьев А.В.</i> Выявление структуры аустенитно-ферритной стали.....	85
<i>Новгородов А.М.</i> <i>Макарчук М.В., Петренко В.И., Ельчищева Т.Ф., Преображенская Е.М.</i> Влияние скорости нагружения при испытаниях на разрыв на физико- механические свойства образцов, выполненных по аддитивной технологии.....	89
<i>Беляев В.П., Павлинов В.В., Земсков А.М., Беляев П.С.</i> Исследование массопереноса в изделиях из пористых материалов.....	90
<i>Мордасов Д.М., Мордасов М.Д.</i> Применение кремнезема в составе полимер-минерального композита.....	93

СЕКЦИЯ 2. Технологии наносистем и материалов	95
<i>Пасько Т.В., Столяров Р.А., Чапаксов Н.А., Шевцова О.В., Горшкова П.А., Илларионов И.А.</i>	
Инновационная методика восстановления оксида графена посредством йода.....	95
<i>Бакунин Е.С., Образцова Е.Ю., Рухов А.В., Истомин А.М.</i>	
Электрохимический синтез нанографитов в нестационарных режимах.....	96
<i>Лутовинова Т.А., Чуприкова А.А., Поветкина Ю.С.</i>	
Конструкция соединения ПКМ-металл для восстановления корпусных деталей большой толщины.....	97
<i>Столяров Р.А., Блохин А.Н., Ягубов В.С., Шевцова О.В., Горшкова П.А., Илларионов И.А.</i>	
Перспективы применения модифицированных йодом	
 <i>Кайдар Б.Б., Смагулова Г.Т., Мансуров З.А.</i>	
Получение наноструктурированного углеродного материала из свекловичного жома.....	102
<i>Шиликов А.В., Попов М.А., Ермолов Д.Ю.</i>	
Улучшение композитов на основе эпоксидной смолы и фторированных углеродных нанотрубок.....	104
<i>Яцишин Н.Ю., Блохин А.Н., Зайцев И.А.</i>	
Влияние условий фторирования на свойства углеродных нанотрубок.....	105
<i>Столяров Р.А., Чапаксов Н.А., Герасимова А.В., Шевцова О.В., Горшкова П.А., Илларионов И.А.</i>	
Композиционные материалы на основе пенополиуретана, модифицированного графе- новыми нанопластинками для защиты от электромагнитного излучения.....	108
<i>Бакунин Е.С., Образцова Е.Ю., Рухов А.В., Истомин А.М.</i>	
Применение нанографитов в изолирующих средствах защиты органов дыхания человека.....	111
<i>Зайцев И.А., Блохин А.Н., Яцишин Н.Ю.</i>	
Влияние фторированных углеродных нанотрубок на прочностные характеристики полимерного нанокомпозита.....	112
<i>Чуприкова А.А., Лутовинова Т.А., Поветкина Ю.С.</i>	
Получение модифицированных полимер-углеродных материалов на основе фторопласта.....	115
 СЕКЦИЯ 3. Химико-технологические процессы и системы	117
<i>Саидов Н.М., Бобоев И.Р.</i>	
Влияние Na ₂ SO ₃ на извлечение золота тиомочевинным раствором.....	117
<i>Рязанов И.В., Балабанов П.В.</i>	
Установка для испытаний пластины хемосорбента на основе перекисных соединений щелочных металлов в условиях вынужденной конвекции.....	119
<i>Родионов Д.А., Лазарев С.И., Ромашкина Л.В.</i>	
Исследование влияния трансмембранного давления на процесс концентрирования белковых растворов образуемых при производстве сычужных сыров.....	121
<i>Ермолов Д.Ю., Шиликов А.В., Попов М.А.</i>	
Поиск и анализ перспективных материалов для молекулярного импринтинга.....	124
<i>Штиль А.Н.</i>	
Тенденция развития новых технологий производства мягких сортов сыра.....	126

<i>Левин А.А., Абоносимов О.А., Лазарев Д.С., Котенев С.И.</i> Исследование эффективности электромембранного разделения растворов электролитов меднения.....	129
<i>Кузнецова Д.О.</i> Экологические аспекты переработки асфальтенов при производстве лакокрасочных материалов.....	132
<i>Родина А.А., Шурыгина Э.В.</i> Современные подходы создания экологически безопасных гальванических систем.....	135
<i>Хорохорина И.В., Лазарев С.И., Михайлин М.И.</i> Расчет эколого-экономической эффективности применения электробаромембранного метода разделения технологических растворов металлооб- рабатывающих производств.....	138
<i>Дымов И.Ю.</i> Проблема появления растворённого железа в конденсате от паровой линии и способы её очистки.....	141
<i>Побожев К.В.</i> Синтез полиалюмофенилсилоксана на основе дифенилсиландиола и ацетилацетоната алюминия в условиях механохимической активации.....	143
<i>Ермолов Д.Ю., Попов М.А., Шиликов А.В.</i> Способ получения и экспериментальная проверка эффективности модифицированного сорбента с молекулярными отпечатками метилового оранжевого.....	145
<i>Саратовская И.И., Грибова В.В.</i> Синтез и исследование полигетероорганосилоксанов, содержащих в своем составе хром в степени окисления +3.....	147
<i>Дымов И.Ю.</i> Образование конденсата в калорифере барабанной сушилки и пути его использования.....	149
<i>Джубари М.К.А., Алексеева Н.В.</i> Особенности диффузионной проницаемости ионообменных мембран в условиях интенсивного электродиализа.....	151
<i>Самохина В.А., Гатапова Н.Ц.</i> Подбор смесительного оборудования и связующих материалов для получения регенерируемого поглотителя диоксида углерода.....	152
<i>Штиль А.Н.</i> Выбор функционального оборудования для производства сыра.....	155
<i>Ермолов Д.Ю., Попов М.А., Шиликов А.В.,</i> Способ получения и экспериментальная проверка эффективности модифицированного сорбента с молекулярными отпечатками метиленового синего.....	157
<i>Степанов Е.С., Красицкая С.Г.</i> Синтез и исследование поликальцийфенилсилоксана в качестве добавки к цементным композициям.....	159
<i>Сухорукова Т.А., Феоклистов Ю.А., Борцев В.Я.</i> Усреднительное оборудование твердых сыпучих материалов.....	160
<i>Борискина Е.А., Пахомов А.Н.</i> К вопросу применения гиперпластификаторов.....	162

СЕКЦИЯ 4. Механика и математическое моделирование новых материалов и технологий	164
<i>Халиков А.Р., Нгуен В.Т., Точилкина С.В., Хазгалиев Р.Г., Дмитриев С.В.</i> Моделирование методом Монте-Карло диффузии титана и никеля в процессе сварки давлением.....	164
<i>Мордасов Д.М., Мордасов М.М., Лазутин А.В.</i> Математическое описание процессов в пневмодинамической	
<i>Шестаков К.В., Хохлов П.А., Лазарев С.И.</i> Теоретический расчет фрикционных коэффициентов при электрохимическом мембранном разделении модельных растворов.....	171
<i>Липунов В.Н., Маркидонов А.В.</i> Моделирование дислокационной структуры, формируемой в обедненной зоне облученного никеля.....	174
<i>Шурыгина Э.В., Родина А.А.</i> Математические методы, используемые при принятии решений, связанных с ремонтом и профилактикой специальной техники.....	177
<i>Толмачев Н.С., Пасько А.А., Тюкин С.А.</i> Стержневая мельница для получения графена.....	179
<i>Мордасов Д.М., Биктаиров А.А.</i> Ротационное устройство контроля вязкости неоднородных жидкостей.....	182
<i>Халиков А.Р., Нгуен В.Т., Точилкина С.В., Галиева Э.В., Дмитриев С.В., Валитов В.А.</i> Моделирование структуры жаропрочного сплава ЭП975 при 1000 °С методом Монте-Карло.....	184
СЕКЦИЯ 5. Инновационный менеджмент в сфере высоких технологий	187
<i>Назаева П.Х., Тайсумова Х.В.</i> Российский рынок труда в условиях нарастания экономического кризиса вследствие пандемии.....	187
<i>Попов М.А., Шиликов А.В., Ермолов Д.Ю.</i> Экономическая целесообразность разработки материалов, созданных на основе молекулярного импринтинга.....	189
<i>Алиев Р.Э.</i> Рыночные перспективы применения таблетированной формы нанокремниевых материалов.....	192
<i>Минько Л.В.</i> Современный кризис как фактор инноваций и кардинальных изменений бизнеса.....	195
<i>Яцишин Н.Ю., Горшкова П.А., Алексенцев Д.С.</i> Коммерциализация научных разработок по созданию композиционных наноматериалов.....	197
<i>Толмачев О.А., Серебряков А.С.</i> Выбор оптимальной технологии производства пластиковых изделий.....	200
<i>Королькова Е.М.</i> Управление инновациями как менеджерский принцип внедрения решений.....	203

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ ТВЕРДОФАЗНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ СВМПЭ-НАНОКОМПОЗИТОВ В ИЗДЕЛИЯ

Баронин Г.С.¹, Дмитриев О.С.¹, Ассовский И.Г.²,
Stavrev D.³, Полуэктов В.Л.¹

¹*Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов*
phys@nnn.tstu.ru

²*Институт химической физики им.Н.Н.Семенова, г. Москва*

³*Technical University, Varna, Bulgaria*

Во многих отраслях техники в условиях расширения номенклатуры находит применение сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) и нанокompозиты (НК) на его основе, модифицированные наноразмерными наполнителями, включая нанографит, глауконит, диборид TiB_2 , карбид TiC титана. Одним из путей энерго и ресурсосбережения производства изделий из СВМПЭ является совершенствование технологических процессов на основе математического моделирования и исследования характеристик перерабатываемых материалов. Перспективной на сегодняшний день является технология обработки НК высоким давлением в твердой фазе, т.е. твердофазная объемная и листовая штамповка. По сравнению с другими способами получения изделий, например традиционной жидкофазной технологией, технология твердофазной штамповки позволяет устранить её недостатки, существенно уменьшить длительность технологического цикла формования и энергопотребление, повысить производительность и решить проблему отходов, полностью исключив их, становясь безотходной или сократив до минимума, то есть является энерго и ресурсосберегающей [1].

Технологическими параметрами твердофазной штамповки СВМПЭ НК и факторами, влияющими на качество готового изделия, являются температура штамповки, технологические давление в зоне формования, геометрические параметры зоны выдавливания, а также концентрация и тип вводимой в полимерную матрицу модифицирующей нанодобавки. Кроме того, процесс протекает при определенной скорости формования, потому что при твердофазном формовании за счет диссипации механической энергии может возникнуть перегрев заготовки и деструкция нанокompозита. Поэтому, актуальной задачей является математическое моделирование процесса твердофазного формования, с целью дальнейшего расчета параметров процесса.

Переработка СВМПЭ нанокompозитов методами пластического деформирования в твердофазном состоянии приводит к необходимости разработки новых технологических схем и соответственно исследования структуры материала, которые вносят коррективы в технологический процесс. Это связано с тем, что введение даже малых объемов нанонаполнителей оказывает существенное влияние на физико-механические свойства модифицированного материала, дает возможность регулировать структуру и свойства полимерных нанокompозитов и создавать материалы с требуемыми характеристиками. Небольшие добавки нанонаполнителей позволяют повысить пластичность нанокompозита, делая его пригодным для использования в технологии твердофазной штамповки [1].

Целью работы является формулирование требований к параметрам твердофазной штамповки на основе математического моделирования и исследования структуры, молекулярно-релаксационных и структурно-механических характеристик СВМПЭ НК и их влиянию на технологические параметры переработки и полученные свойства материала.

Для построения математической модели твердофазного формования рассмотрим упрощенную задачу изменения формы цилиндрической заготовки в цилиндрической прессформе, и будем использовать теорию теплопереноса и упругопластического течения [2, 3]. При этом материал будем считать жесткопластическим, т.е. выполняется условие несжимаемости. Схема деформации заготовки при формовании представлена на рис.1.

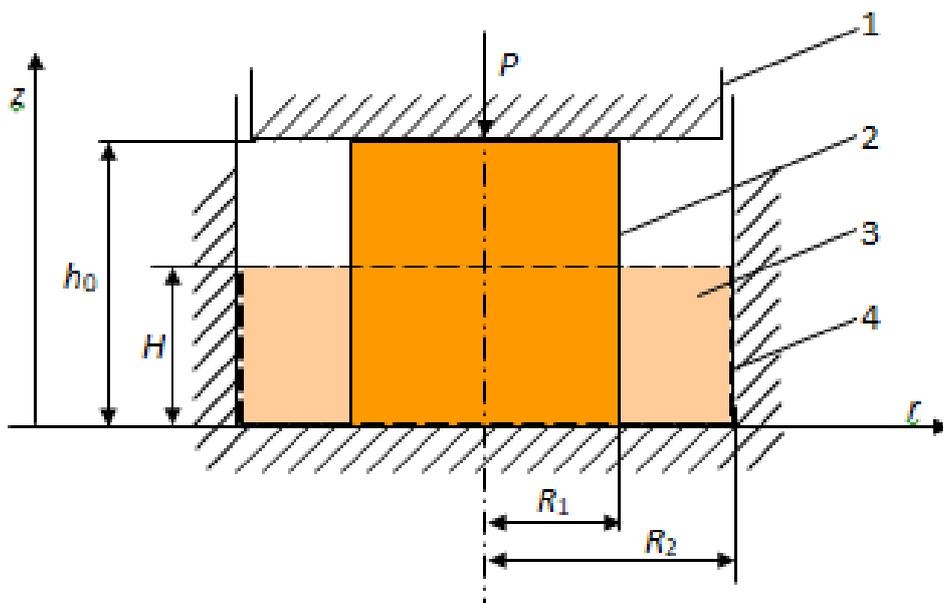


Рисунок 1. Схема деформации заготовки в прессформе при твердофазном формовании: 1 – пуансон, 2 – заготовка, 3 – изделие, 4 – матрица.

Заготовка под действием давления P заполняет прессформу. Её высота уменьшается от h_0 до H , а радиус увеличивается от R_1 до R_2 . При этом деформируемая заготовка нагревается за счет тепла пластической деформации $Q(t)$ и работы сил трения поверхностей, зависящие от скорости деформации $\frac{dh}{dt}$. Поэтому время прессования t_K должно быть выбрано так, чтобы скорость деформации не вызывала значительный перегрев заготовки. Таким образом, скорость прессования $\frac{dh}{dt}$ и температура прессформы $T_{пф}$ являются управляющими воздействиями и подлежат определению на основе математического моделирования.

С учетом схемы расположения и деформации заготовки в прессформе математическая модель процесса твердофазного формования изделий из нанокompозита представляет собой систему дифференциальных уравнений теплопроводности, изменения формы и диссипации механической энергии:

$$\begin{aligned}
C_i(T) \frac{\partial T}{\partial t} &= \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \lambda_i \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_i(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q(t), \\
T &\equiv T(r, z, t), \quad 0 \leq r < R_2, \quad 0 < t \leq t_K, \\
Q &\neq 0, \quad C_1 \equiv C_1(T), \quad \lambda_1 \equiv \lambda_1(T), \quad 0 \leq r < \hat{r}(t), \quad 0 \leq z < h(t), \\
Q &= 0, \quad C_2 \equiv C_2(T), \quad \lambda_2 \equiv \lambda_2(T), \quad R_1 \leq r < R_2, \quad h(t) \leq z < H, \\
T(r, z, 0) &= T_{\text{НК}}, \quad 0 \leq r < R_1, \quad 0 \leq z < h(t), \\
T(R_1, h, t) &= T_{\text{ПФ}}, \quad 0 < t \leq t_K, \\
\lambda_i \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R_i-0} &= \lambda_{i+1} \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R_i+0}, \quad 0 < t \leq t_K, \quad i = 1, 2, \\
T(r, z, t) \Big|_{r=R_i-0} &= T(r, z, t) \Big|_{r=R_i+0}, \quad 0 < t \leq t_K, \quad i = 1, 2, \\
\lambda_i \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=h-0} &= \lambda_{i+1} \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=h+0}, \quad 0 < t \leq t_K, \quad i = 1, 2, \\
T(r, z, t) \Big|_{z=h-0} &= T(r, z, t) \Big|_{z=h+0}, \quad 0 < t \leq t_K, \quad i = 1, 2, \\
\frac{dh}{dt} + \frac{2}{R} \sqrt{\frac{h^3}{H}} \frac{d\hat{r}}{dt} &= 0, \quad R_1 \leq \hat{r}(t) \leq R_2, \quad h_0 \leq h(t) \leq H, \quad 0 < t \leq t_K \\
Q(t) &= \frac{\gamma m}{2} \left(\frac{dh}{dt} \right)^2, \quad \gamma = 0,84 \div 0,96.
\end{aligned}$$

где C – объемная теплоемкость, Дж/(м³·К); h – высота заготовки, м; H – высота готового изделия и полости прессформы, м; i – номер технологического слоя 1, 2; m – масса заготовки, кг; Q – тепловой эффект диссипации энергии, Вт/м³; r – радиальная координата, м; \hat{r} – текущий радиус заготовки, м; R – радиус заготовки и прессформы, м; t – время, с; T – температура, К; γ – коэффициент выхода тепла при деформации; λ – теплопроводность, Вт/(м·К).

Слои: 1 – заготовка, нанокompозит - НК, 2 – прессформа - ПФ.

Параметры математической модели и характеристики нанокompозита определяются экспериментально. Проведены многочисленные исследования характеристик СВМПЭ НК модифицированных различными нанодобавками. Результаты исследования влияния введения в СВМПЭ на его свойства различной концентрации наногрифта представлены на рис. 2, и диборида титана TiB₂ – на рис. 3.

Из полученных экспериментальных данных видно, что наибольшее влияние на физико-механические свойства наблюдается при малых концентрациях модифицирующих добавок. В результате разработана технология, позволяющая использовать известный метод легирования органических и неорганических материалов на технологию получения полимерных композиционных материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками.

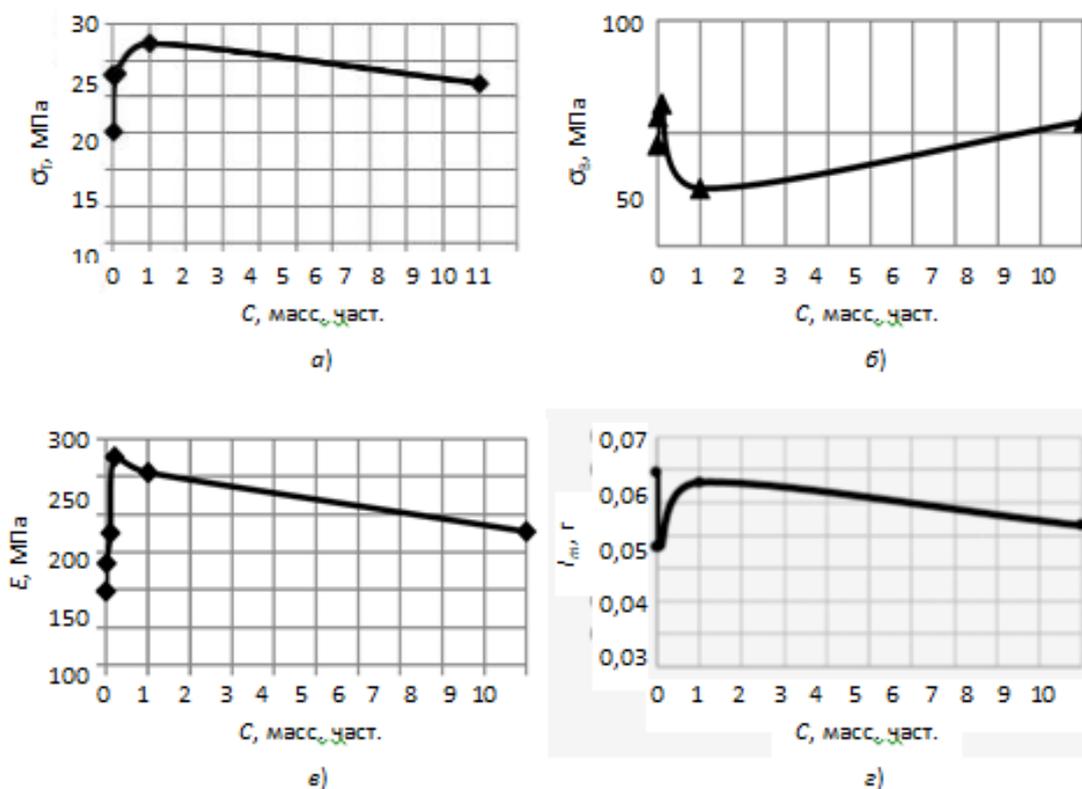


Рисунок 2. Зависимости свойств СВМПЭ НК от концентрации C (масс. част.) модифицирующей добавки наногрифта: a - предел текучести σ_t , $б$ - предел прочности σ_b , $в$ - модуль упругости при растяжении E , $г$ - весовой абразивный износ I_m .

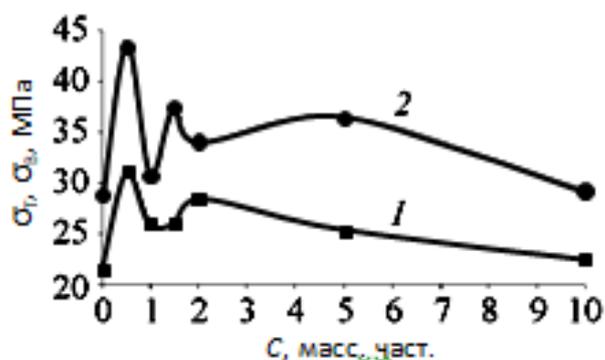


Рисунок 3. Зависимости свойств СВМПЭ НК от концентрации C (масс. част.) модифицирующей добавки диборида титана TiB_2 : 1 - предел текучести σ_t , 2 - предел прочности σ_b .

Технологический процесс твердофазной штамповки изделий из СВМПЭ НК включает в себя следующие операции: получение порошкообразной композиции из СВМПЭ и наноразмерных наполнителей в электромагнитном смесителе и механоактиваторе; получение цилиндрической заготовки из порошкообразного СВМПЭ для последующего твёрдофазного формования (штамповки); нагрев прессформы до температуры штамповки; нагрев заготовки СВМПЭ до нужной температуры; укладка заготовки СВМПЭ в прессформу; процесс формования (штамповка) заготовки с вы-

держкой под давлением с последующим охлаждением изделия под давлением; извлечение готового изделия из СВМПЭ НК из прессформы.

Прессование (штамповка) исходной заготовки СВМПЭ НК является ключевой операцией и проводится на гидравлическом прессе. Для получения наилучших физико-механических характеристик изделий необходимо при производстве соблюдать заданные оптимальные технологические режимы формования изделий, которые определяются на стадии разработки материала. Поэтому в процессе штамповки необходимо учитывать ряд особенностей и технологических характеристик, чтобы не выйти за пределы твёрдофазной технологии и обеспечить требуемое качество получаемых изделий. Такими характеристиками являются давление штамповки в прессформе, температуры заготовки и прессформы, скорость приложения давления, температура охлаждения прессформы и извлечения готового изделия. Поэтому главной проблемой, возникающей при разработке и реализации технологического процесса твердофазной штамповки, является определение температуры заготовки и прессформы, давления и скорости штамповки, вызывающей перегрев заготовки и деструкцию СВМПЭ НК из-за диссипации механической энергии.

Полученные экспериментальные результаты и компьютерное моделирование показали, что процессы трансформации структуры протекают наиболее эффективно при температуре 90°C [1, 3]. Поэтому процесс твердофазной штамповки протекает при этой температуре.

Таким образом, на основе математической модели и проведенных исследований разработана усовершенствованная технология получения изделий из СВМПЭ НК с улучшенными физико-механическими характеристиками, позволяющая изготавливать высокопрочные и ударопрочные футеровочные плиты конструкционного назначения, теплотехнические изделия, триботехнические изделия: подшипники скольжения, втулки и др. Полученные изделия могут применяться в химической промышленности, машиностроении, и других отраслях современного производства.

Список используемых источников.

1. Баронин Г.С. Полимерные композиционные материалы на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена, модифицированного нанодобавками / Г.С. Баронин, В.М. Бузник, В.В. Худяков, О.С. Дмитриев, В.Л. Полуэктов // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2016. – Т. 21. № 3. – С. 886-889.

2. Додин Ю.С. Расчет тепловыделения при сжатии заготовки без предварительного нагрева / Ю.С. Додин, М.Н. Каменский // Известия ТулГУ. Технические науки. 2015. №1. С. 93-100.

3. Дмитриев О.С. Моделирование процесса тепломассопереноса при твердофазном формовании изделий из фторполимерных нанокомпозитов / О.С. Дмитриев, Г.С. Баронин, В.А. Попов, В.В. Худяков // В сборнике: Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент Материалы XI Международной научно-инновационной молодёжной конференции. – 2019. – С. 238-240.

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АДГЕЗИИ В НОРМАЛЬНОМ И ТАНГЕНЦИАЛЬНОМ КОНТАКТЕ

Ляшенко Я.А.^{1,2}

¹*Берлинский технический университет, 10623 Берлин, Германия*

²*Сумский государственный университет, 40007 Сумы, Украина*

i.liashenko@tu-berlin.de

Адгезия – сцепление разнородных тел за счет сил межмолекулярного взаимодействия. На роботизированном производстве адгезионные материалы широко используются для манипулирования объектами [1]. Однако, несмотря на большой интерес к адгезионным системам, до сих пор нет общей теории адгезионного контакта. В основном исследования направлены на увеличение адгезионной прочности, на которую в частности сильно влияет шероховатость контактирующих поверхностей. При увеличении величины шероховатости сначала адгезионная прочность увеличивается, а когда шероховатость превышает критическое значение, она резко падает [2, 3]. Такое поведение связано с тем, что при небольшой амплитуде шероховатости эластомер проникает внутрь неровностей и увеличивает реальную площадь контакта, за счет чего адгезионная прочность увеличивается.

Работы [2, 3] – это моделирование методом граничных элементов. Для проверки теоретических результатов мы создали установку, которая является улучшенным вариантом устройства, предложенного в работе [4]. Фотография установки показана на левой панели рис. 1, где 1 и 2 – линейные приводы PI M-403.2DG, управляемые контроллерами PI C-863 (6 и 7). Приводы соединены друг с другом, что позволяет задавать любую траекторию индентора в вертикальной плоскости. Привод 1 осуществляет движение в нормальном направлении, привод 2 – в тангенциальном. Эволюция контакта наблюдается с помощью камеры (8). Зона контакта просматривается снизу и для ее видеофиксации необходимо использование прозрачного эластомера. Компоненты контактной силы измеряются с помощью трёхосевого сенсора силы ME K3D40 (3), сигнал от которого усиливается четырехканальным усилителем GSV-1A4 SubD37/2, сопряженным с компьютером 16-битным АЦП USB-6211. Под номером 5 на левой панели рис. 1 показан наклонный механизм, позволяющий изменять положение эластомера (4) в горизонтальной плоскости. На рисунке в качестве эластомера используется желе, а к сенсору силы (3) прикреплен цилиндрический индентор. Материал эластомера и форма индентора выбираются исходя из поставленной задачи. Для согласованного управления элементами системы была написана программа на LabVIEW, с помощью которой задаются зависимости нормальной и тангенциальной скоростей движения как функции времени, что определяет траекторию индентора. В эксперименте сохраняются значения всех компонент силы и фотографии контактной области.

На правой панели рис. 1 показаны результаты тестового измерения, в котором нагружалась линейная пружина. Скорость движения в эксперименте составляла 0.1 $\mu\text{m/s}$. Производилось сжатие пружины до величины 0.1 mm, затем осуществлялось движение обратно до начальной точки, а потом снова нагружение. Осуществлялось три полных цикла нагружение/разгружение.

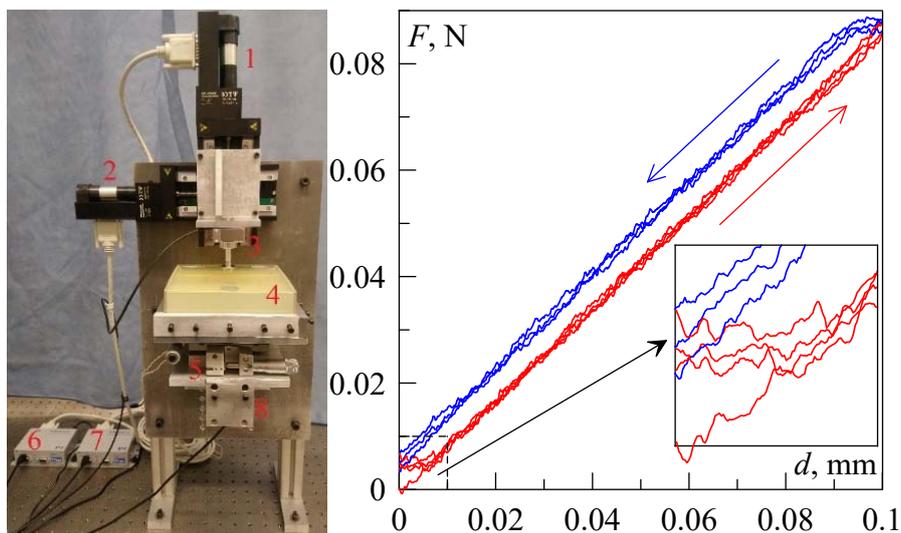


Рисунок 1. Левая панель - внешний вид экспериментальной установки; правая панель – результаты измерений.

На измеренной зависимости силы от сжатия пружины $F(d)$ видно, что при изменении направления движения используемые приводы имеют люфт порядка 0.01 mm. То есть при изменении направления движения прибор показывает, что сдвиг осуществляется сразу, хотя на самом деле в начале движения в обратную сторону он отсутствует. Об этом свидетельствуют постоянные значения силы F при реверсе движения. Это приводит к тому, что нулевое значение силы при $d = 0$ показывает только первый цикл нагружения, что видно на вставке. В дальнейших циклах пружина полностью не распрямляется, поскольку нулевая координата соответствуют значению $d \approx 0.01$ mm. Указанный люфт зависит от величины упругой силы F , при которой осуществляется реверс движения. Эту особенность необходимо учитывать при исследовании реверсивного адгезионного контакта, но на значения адгезионной прочности такой люфт не влияет.

На рис. 2 показаны результаты эксперимента по индентированию стального индентора радиусом $R = 33$ mm в слой резины TARNAC CRG N0505 толщиной $h = 5$ mm. На левой панели показаны результаты индентирования непосредственно в резиновый слой. Подряд было проведено три цикла индентирования. Первая кривая выходит почти из начала координат, поскольку в первом цикле вдавливания изначально контакт отсутствовал. В такой ситуации в фазе индентирования адгезия оказывает слабый эффект, поэтому в начале наблюдается лишь небольшое по абсолютному значению отрицательное значение силы $F < 0$. После окончания вдавливания индентор сдвигается в обратную сторону до значения $d = 0$, где уже видно гораздо большее абсолютное значение силы $F < 0$. Это адгезионная сила, которая принимала бы нулевое значение при отсутствии адгезионного взаимодействия. После описанных манипуляций проводится еще два цикла индентирования, но за счет адгезии в этих циклах кривые повторяют друг друга, а сила при $d = 0$ существенно меньше нуля, поскольку за счет адгезии образуется адгезионная шейка, стремящаяся втянуть индентор обратно в толщу резины. Прямой и обратный циклы показывают адгезионный гистерезис. Стоит отметить, что кривые при индентировании и отрывании пересекаются приблизительно при $d = 0.07$ mm, что не является физическим эффектом и вызвано люфтом прибора, описанным выше. При изменении направления движения в точке $d = 0.1$ mm сила F должна сразу уменьшаться, а она какое-то время сохраняет постоянное значение, поскольку в самом начале реверса индентор какое-то время не сдвига-

ется, хотя прибор показывает движение. Зная специфику прибора легко пересчитать зависимости, сдвинув кривые $F(d)$ для фазы отрыва на величину люфта вправо. Однако для исследования более сложных реверсивных сценариев необходимо заменить приводы на более точные, например, на L-511.24AD00, обладающие в 100 раз меньшим значением люфта при реверсе.

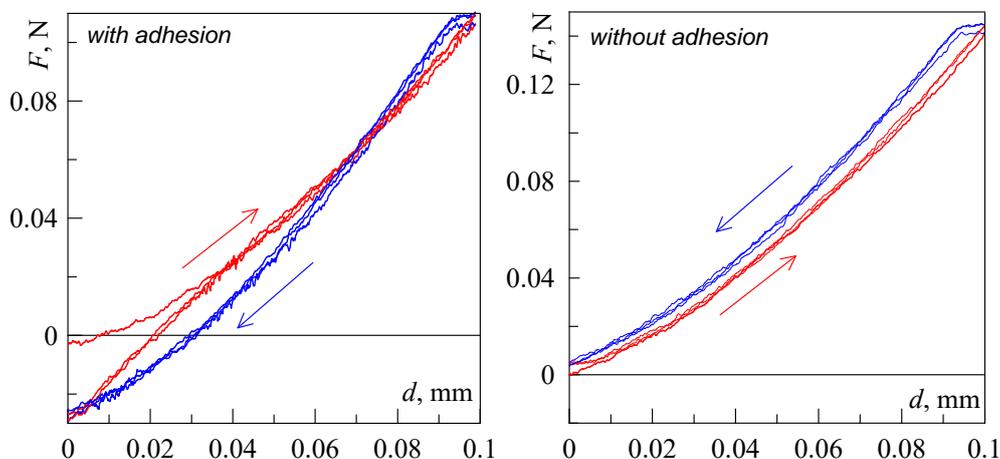


Рисунок 2. Левая панель – зависимость нормальной силы от глубины индентирования с наличием адгезии; правая панель – аналогичная зависимость без адгезии.

На правой панели рис. 2 показаны результаты аналогичного эксперимента, но с тем отличием, что поверхность резинового слоя была покрыта полиэтиленовой пленкой малой толщины. Наличие пленки привело к тому, что адгезия перестала действовать, что способствовало увеличению силы F , поскольку адгезионная составляющая силы направлена всегда против действия силы реакции эластомера. Здесь кривые во многом похожи на показанные на правой панели рис. 1, с тем отличием, что линейная пружина дает линейную зависимость $F(d)$, в то время как зависимость $F(d)$ для параболического индентора является нелинейной (контакт Герца).

Список используемых источников.

1. Heepe L., Gorb, S.N. Annu. Rev. Mater. Res. **44**, 173 (2014).
2. Li Q., Pohrt R., Popov V.L. Front. Mech. Eng. **5**, 7 (2019).
3. Popov V.L. AIP Conf. Proc. **2167**, 020286 (2019).
4. Popov V.L., Pohrt R., Li Q. Friction. **5**, 308 (2017).

**Работа выполнена при финансовой поддержке Немецкого научно-исследовательского сообщества (DFG), проект PO 810-55-1.*

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СРЕДЫ

Ельчищева Т.Ф.¹, Ерофеев В.Т.²

¹*Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов*
elschevat@mail.ru

²*Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, Саранск*
fac-build@adm.mrsu.ru

Композиционные строительные материалы, которые находят применение в качестве стеновых материалов для наружных ограждающих конструкций зданий, как правило, имеют следующие виды структур:

- капиллярно-пористую структуру с наличием открытых и замкнутых пор – каменные строительные материалы (кирпичная кладка, монолитный бетон, крупноформатные и мелкоштучные изделия из бетона различного состава и плотности);
- ячеиковую структуру с преобладанием замкнутых пор – полимерные теплоизоляционные материалы (пенопласты, пенополиуретан, пенополистирол);
- волокнистую структуру с открытой пористостью – теплоизоляционные материалы на основе минерального, каменного или штапельного волокна (маты и плиты, рулонные материалы).

Материалы наружных ограждающих конструкций эксплуатируются в условиях воздействия знакопеременных температур, градиента температур наружного воздуха и внутреннего воздуха помещений, градиента влажности. Являясь защитой внутреннего пространства здания от воздействия окружающей среды, наружные ограждающие конструкции воспринимают все негативные воздействия, где к традиционному влиянию климатических факторов (ветер, дождь, снег, иней, колебание температуры) добавляется воздействие некоторых природных и антропогенных факторов.

Целые разделы строительной науки посвящены учету таких воздействий природной среды на здания, как ветровая нагрузка, сейсмическая активность, влияние низких температур окружающей среды. Однако влияние ряда природных факторов часто не учитывается, т.к. относится к несиловым воздействиям и, на первый взгляд, не может оказать какого-то существенного влияния на наружные ограждающие конструкции или оболочку зданий. На самом деле указанное воздействие может привести к нарушению эксплуатационных качеств конструкций, потерю ими ряда свойств и, в итоге, к разрушению. К таким факторам относится морской климат, пыль природного происхождения (космическая, вулканическая, от эрозии почвы, разложения растительных и животных останков), почвенные растворы, туманы и кислотные дожди вследствие растворения в осадках природной пыли.

К антропогенным факторам можно отнести выбросы загрязняющих веществ в виде пыли, жидкостей и газов, возникающие вследствие работы предприятий и средств промышленного, энергетического, строительного и транспортного комплексов, коммунального и сельского хозяйства, бытовые отходы, что приводит к кислотным дождям и туманам антропогенного происхождения, загрязнению почвенных вод.

Как правило, в состав загрязняющих веществ входят, в основной массе, частицы сажи и гигроскопические соли. Оседая на наружные ограждающие конструкции из воздуха – в виде пыли, аэрозоля и дождевых капель, и проникая из почвы – в виде растворов, загрязняющие вещества накапливаются в поровом пространстве строи-

тельных материалов, тем самым изменяя их заданные первоначально проектные свойства. Внутри пор и капилляров материалов образуются растворы солей, которые находятся в постоянном изменении концентрации вследствие изменения температуры и притока загрязняющих веществ из окружающей среды. Также меняется и фазовый состав внутрипорового вещества – при изменении температуры и достижения раствором стадии насыщения из него выпадают кристаллы безводных солей и кристаллогидраты.

Математическому моделированию структуры таких материалов посвящены работы ряда авторов [1–3]. Представление структуры материала, содержащего соли, в виде пространственной объемной модели дает возможность рассчитать такие важные его свойства, как теплопроводность, теплоемкость, заполнение по объему свободного порового пространства паровоздушным компонентом, раствором и твердой кристаллической фазой и т.д. Установлено, что наиболее целесообразна для расчетов элементарная ячейка в виде куба, 1/8 часть такой ячейки имеет размер L . (рис. 1).

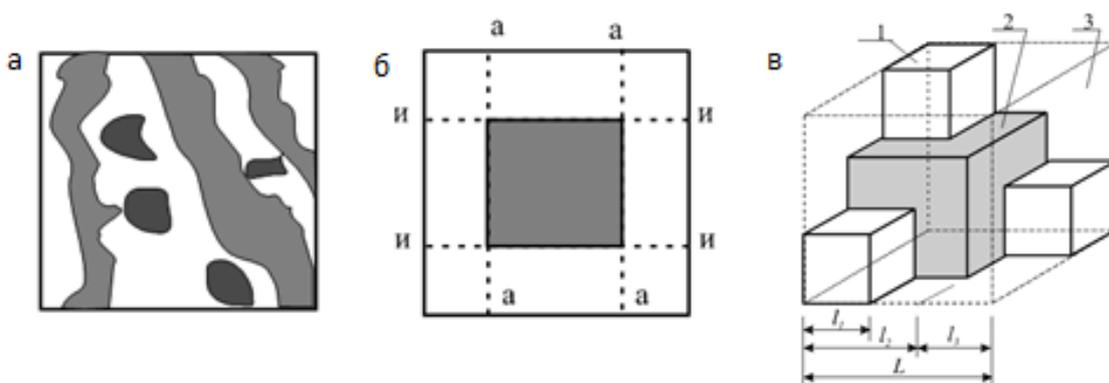


Рисунок 1. Структура материала, содержащего гигроскопические соли и влагу: a – комбинированная структура с изолированными включениями (черный цвет) и взаимопроникающими компонентами (серый и белый цвет); b – элементарная ячейка структуры с дроблением адиабатическими (a - a) и изотермическими ($и$ - $и$) плоскостями; $в$ – модель материала, 1/8 часть элементарной ячейки (1 – твердая фаза; 2 – жидкая фаза; 3 – газовая фаза).

Тогда толщина бруса твердой фазы (каркас материала и твердая фаза солей) в ячейке – l_1 , жидкой – l_2 . Разбиение адиабатическими и изотермическими плоскостями (рис. 1) дает формулу для вычисления теплопроводности элементарной ячейки структуры с включениями (1):

$$\lambda = \left[1 - \frac{m_2}{\left(1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^{-1} - (1 + m_2) \cdot (1 - m_2^{1/3}) \cdot (1 + m_2^{1/3})^{-1}} \right] \cdot \lambda_1, \quad (1)$$

где λ_1 и λ_2 – коэффициенты теплопроводности, соответственно, каркаса и изолированного включения, Вт/(м·°С); m_2 – объемная концентрация включения, определяется по формуле (2):

$$m_2 = V_2 / V, \quad (2)$$

где V_2 , V – объемы включений и всей смеси.

Раствор соли представляет собой структуру с взаимопроникающими компонентами (один компонент – вода, второй – 100%-й условный раствор соли). Тогда теплопроводность системы определяется по формуле (3) [1]:

$$\lambda_a = \lambda_1 \left[C^2 + \frac{\lambda_2}{\lambda_1} (1-C)^2 + 2 \frac{\lambda_2}{\lambda_1} C(1-C) \cdot \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} C + 1 - C \right)^{-1} \right], \quad (3)$$

где λ_1 и λ_2 – коэффициенты теплопроводности компонентов раствора, Вт/(м·°С). Например, при 20°С теплопроводность воды $\lambda_1=0,628$ Вт/(м·°С); λ_2 – теплопроводность 100%-го условного раствора соли [4]. Величина C определяется как положительный корень кубического уравнения:

$$2C^3 - 3C^2 + 1 = m^2, \quad C = 0,5 + A \cos(60^\circ + \varphi/3).$$

где m_2 – объемная концентрация второго компонента. Когда $0 \leq m_2 \leq 0,5$, то $A=1$ и $\varphi = \arccos(1 - 2m_2)$. Если $0,5 < m_2 \leq 1$, то $A=-1$ и $\varphi = \arccos(2m_2 - 1)$.

С увеличением числа компонентов в системе применяется метод последовательного сведения к бинарной структуре с уточнением концентраций компонентов и можно вычислить теплопроводность материалов, содержащих в составе сколь угодно много компонентов.

Список используемых источников.

1. Дульнев Г.Н., Новиков В.В. Процессы переноса в неоднородных средах. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1991. – 248 с.
2. Езерский В.А. Физико-технические основы обеспечения эксплуатационной надежности ограждающих конструкций зданий при воздействии гигроскопических солей. – Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – М.: МГСУ, 1994. – 38 с.
3. Никитин В.И. Повышение эксплуатационных свойств материалов слоистых ограждающих конструкций: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Брест, 1998. – 31 с.
4. Миснар А. Теплопроводность твердых тел, жидкостей, газов и их композиций. – М.: Мир, 1968. – 463 с.

СОЗДАНИЕ ЗАГОТОВОК ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОМПОЗИТОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ТВЕРДОФАЗНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Сергеева Е.А., Баронин Г.С., Дмитриев В.М.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

sea-07@mail.ru

Применение твердофазной технологии переработки полимерных материалов и композитов в детали и изделия предполагает применение высококачественных заготовок. Если заготовки будут иметь заложенные при их производстве скрытые дефекты, то это неизбежно приведет к ухудшению качественных показателей готовых изделий.

Следует отметить, что основные термопластичные полимерные материалы и композиты, используемые при твердофазной технологии, выпускаются в гранулированном виде и для получения заготовок обрабатываются методами литья под давлением или экструдированием. По отношению к воде указанные материалы являются, как правило, гидрофильными с ограниченным сорбционным эффектом. Гранулированные полимеры при хранении, к сожалению, поглощают атмосферную влагу, что в дальнейшем приводит при получении из них заготовок для ТФ-формования к таким дефектам, как деструкция, снижение степени полимеризации, ухудшение качества поверхности готовых изделий и т.п.

Исходя из этого, указанная группа полимерных материалов и композитов подвергается процессу глубокой сушки, который характеризуется значительной продолжительностью и энергоемкостью. Для удаления связанной влаги применяют, в основном, конвективные сушилки с плотным продуваемым слоем высушиваемого материала или вакуумные аппараты. В любом случае для качественной и прогнозируемой стадии глубокой сушки необходимо знать диффузионные характеристики конкретных материалов, которые являются строго индивидуальными.

Нашими исследованиями [1] наиболее применяемых гранулированных полимерных материалов для твердофазной технологии переработки установлены диффузионные характеристики полимерного сырья, использование которых позволяет аналитически [2] производить технологические расчеты процесса глубокой сушки гранулированного полимерного сырья. Характерный вид температурно-влажностной зависимости коэффициента диффузии воды в полимерных материалах приведен на рис.1.

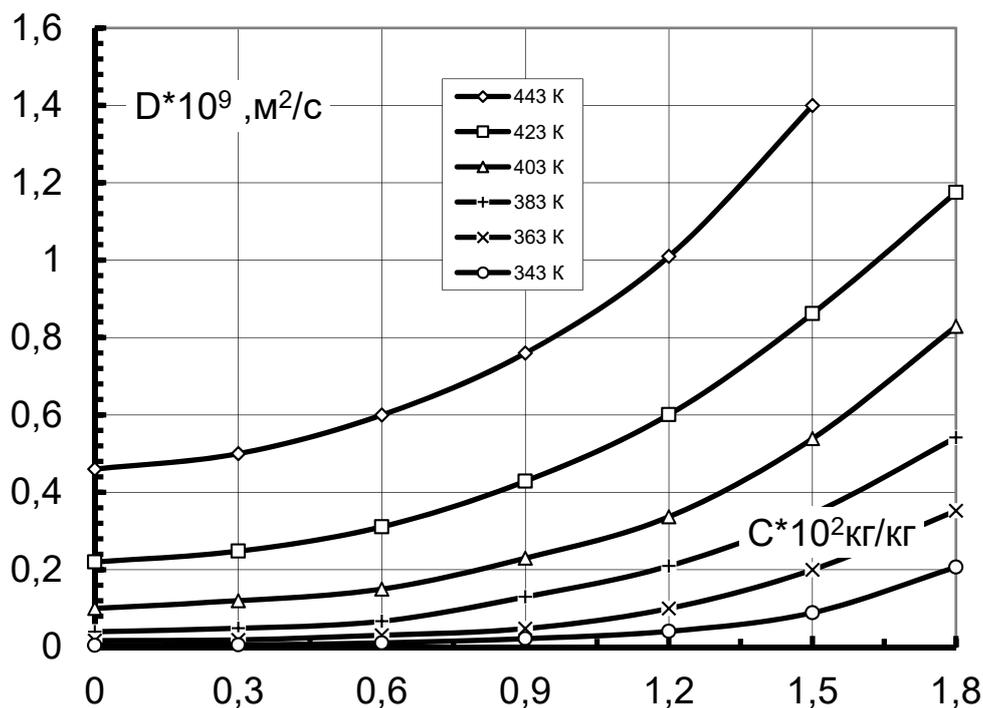


Рисунок 1. Температурно-влажностная зависимость коэффициента диффузии для гранулированного полиамида П-12.

Аналитический метод расчетов [2] позволяет рассчитывать время глубокой сушки при известных начальных параметрах высушиваемого материала до любого выбранного конечного влагосодержания при назначаемых параметрах теплоносителя.

Для малотоннажных производств нами разработана конструкция шахтной сушилки периодического действия с регулируемым объемом рабочей камеры (рис. 2) для глубокой сушки дозированных объемов гранулированного полимерного сырья.

Телескопическое устройство рабочей камеры допускает 2...5-кратное изменение рабочего объема сушильного аппарата, что позволяет органично связать основное оборудование для твердофазной технологии с вспомогательными сушильными аппаратами, которых может быть несколько в зависимости от ассортимента, и обеспечить высокое качество конечных изделий.

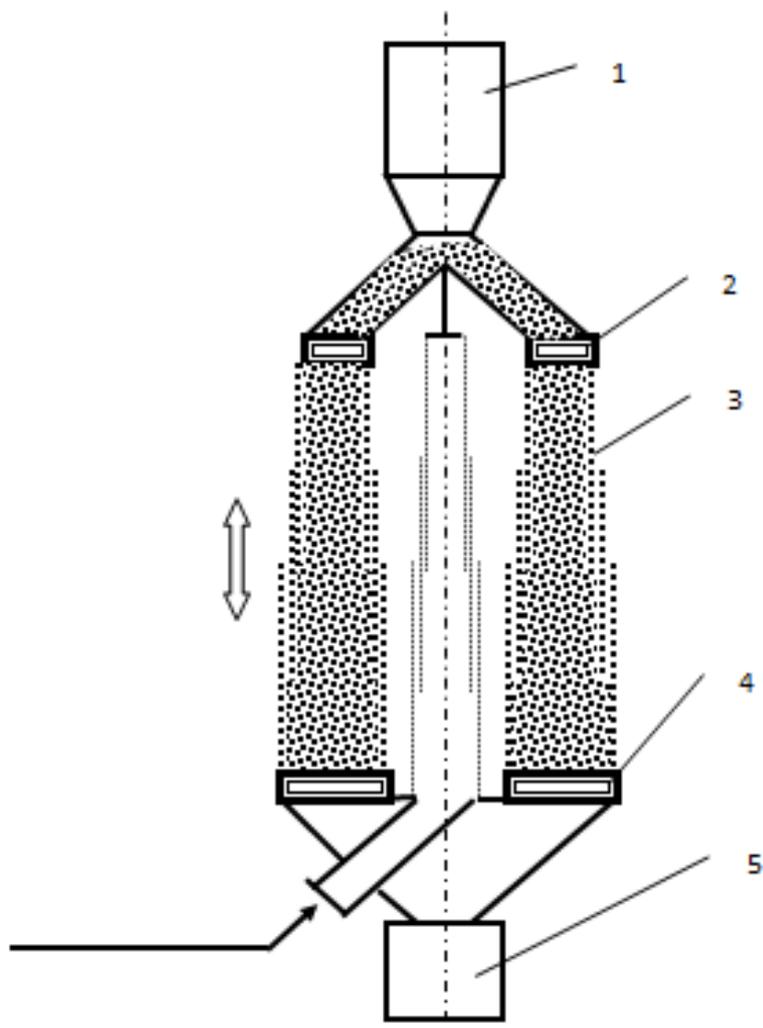


Рисунок 2. Шахтная сушилка периодического действия с регулируемым объемом рабочей камеры: 1 – питающий бункер; 2 – верхний затвор; 3 – телескопическая рабочая камера; 4 – нижний затвор; 5 – приемный бункер.

Список используемых источников.

1. Дмитриев В.М. Кинетика и аппаратурно-технологическое оформление процесса конвективной сушки гранулированных и пленочных полимерных материалов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.17.08 / Тамбовский гос. техн. ун-т, Тамбов, 2003.
2. Рудобашта С.П. Массоперенос в системах с твердой фазой.- М.: Химия, 1980. - 248 с.

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ СТАЛИ X2CrNiMoCuN25-6-3

Мордасов Д.М., Гурьев А.В., Труфанов И.В.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

mit@tstu.ru

Аустенитно-ферритные стали (дуплексные) относятся к классу коррозионно-стойких сталей. Область их применения в последнее время постоянно расширяется. К преимуществам дуплексных сталей относится их высокая прочность, что позволяет уменьшить вес изделий, а также высокая коррозионная стойкость.

Требуемый комплекс эксплуатационных свойств стали может быть получен путем ее термической обработки [1]. Особенностью тепловых процессов обработки большинства высоколегированных сталей является формирование в структуре интерметаллических соединений негативно влияющих на их прочность и коррозионную стойкость. Температурно-временные режимы формирования фаз Лавеса, σ -фазы и χ -фазы носят нелинейный характер и зависят от действительного содержания легирующих элементов в стали.

Согласно имеющимся данным для высоколегированных сталей характерна 475-градусная хрупкость, которая связана с формированием по границам зерен хрупкой α' -фазы. Время возникновения этой фазы достаточно мало – формирование происходит уже через 5-6 минут выдержки стали при этой температуре. При температурах 500-650°C для формирования интерметаллидов требуется время от 1 до 10 часов, а при температурах 700-1000°C время их возникновения уменьшается до 1-20 минут.

В настоящей работе проведены микроструктурные исследования влияния температуры нагрева (600, 800, 1050°C) под закалку стали X2CrNiMoCuN25-6-3 на ее структуру и физико-механические свойства. Время изотермической выдержки составляло 15 минут.

В табл. 1 представлены результаты анализа химического состава изучаемой стали.

Таблица 1.

Химический состав стали X2CrNiMoCuN25-6-3.

Элемент	C	Cr	Ni	Mn	Si	Mo	Cu	N	P	S
Содержание, %	0,023	24,656	6,296	0,978	0,321	3,594	1,617	0,238	0,026	0

Выявление микроструктуры стали осуществлялось путем электролитического травления металлографических шлифов в электролите на основе 5% водного раствора Ва(ОН)₂. Подготовленные образцы изучались с помощью металлографического микроскопа ММР-2Р в режиме светлопольного освещения.

На рис. 1 представлены микроструктуры образцов при увеличении 500×. Светлые области на микроструктурах – феррит, темные – аустенит.

ПОЛУЧЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ПЛАСТИН НА ОСНОВЕ $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{ZrB}_2$ МЕТОДОМ СВОБОДНОГО СВС-СЖАТИЯ

Чижигов А.П., Бажин П.М., Столин А.М., Константинов А.С.
ФГБУН Институт структурной макрокинетике и проблем материаловедения
им. А.Г.Мерджанова РАН, г. Черноголовка, Россия
chij@ism.ac.ru

Керамические материалы на сегодняшний день находят широкое применение в различных областях промышленности. Одним из наиболее распространенных классов керамических материалов является оксидная керамика. Оксидные керамические материалы находят широкие области применения благодаря своей высокой твердости, химической инертности, способности работать при высоких температурах и относительной доступности. Наиболее распространенным видом оксидной керамики является керамика на основе оксида алюминия. Большой интерес на сегодняшний день вызывают также композиционные материалы на основе различных оксидов. Встречаются различные виды таких композитов, например, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiC}$ и др. Создание композиционных материалов позволяет компенсировать некоторые недостатки отдельных оксидов как, например, низкую способность оксида алюминия сопротивляться термоудару. В результате оксидные керамические композиционные материалы являются перспективными для различных областей применения, будь то огнеупорные материалы, режущая керамика, керамические фильтры и т.д.

Благодаря большому интересу к классу композиционных материалов на основе оксидной керамики на сегодняшний день существует целый ряд методов синтеза таких материалов. В данной работе для получения керамических огнеупорных материалов будет использован новый метод СВС-сжатия, сочетающий процесс горения с последующим высокотемпературным сдвиговым пластическим деформированием продуктов синтеза. Перспективность использования этого метода обусловлена возможностью за десятки секунд проводить синтез материала из порошков исходных компонентов и формовать изделие заданного размера и формы в одну технологическую стадию, в том числе пластины, плиты, литейные формы, тигли и другие изделия. Таким образом, СВС-сжатие открывает принципиально новый подход к организации технологических процессов получения огнеупорных керамических материалов, что создает благоприятные условия для их широкого внедрения в металлургии.

В качестве объекта исследования в настоящей работе была выбрана исходная система $\text{ZrO}_2\text{-Al-SiO}_2\text{-B} + 30$ масс. % (Zr-B). Данная система выбрана с целью получения керамического композиционного материала на основе оксида алюминия и кремния, упрочненного частицами диборида циркония. Однако, согласно расчету адиабатической температуры горения, в системе $\text{ZrO}_2\text{-Al-SiO}_2\text{-B}$ инициирование процесса СВС невозможно. Поэтому в исходную систему было решено внести 30 масс. % (Zr-B) в качестве энергетической добавки, поскольку реакция образования диборида циркония обладает высокой экзотермичностью. При этом адиабатическая температура горения, согласно расчету, повысилась до 2054 °С. Для получения керамических пластин методом свободного СВС-сжатия готовились исходные образцы массой 120 грамм, которые прессовались в прямоугольные заготовки относительной плотностью 0,7. В результате СВС-сжатия, давление на плунжере пресса составило 60 МПа, были получены керамические пластины, размер которых после удаления дефектного слоя составил 90-40-8 мм. Таким образом, было показано, что метод свободного СВС-сжатия позволяет получать пластины на основе керамических композиционных материалов в одну технологическую стадию.

ТЕХНОЛОГИЯ ЛЕГИРОВАНИЯ ПОДКОНТАКТНЫХ ОБЛАСТЕЙ ПРИ СОЗДАНИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Лоскутова А.Д.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

anya.loskutova.94@mail.ru

Полупроводниковая технология обеспечивает выпуск огромного количества приборов и микроэлементов. В работе приводится этап технологии создания полупроводникового первичного измерительного преобразователя температуры, который не выпускается промышленностью. Преобразователь представляет собой полупроводниковую полевую структуру. Механизм изменения электрофизических параметров структуры при изменении температуры описан ранее [1,2,3].

Рассматриваемым этапом технологии создания преобразователя является термическая диффузия. Подконтактные области легированы в исследуемой структуре сурьмой для создания высокой концентрации донорной примеси. Высокая концентрация нужна для уменьшения контактного сопротивления между полупроводником и металлом. Примесь диффундирует из газовой среды из неограниченного источника. Распределение концентрации примеси описывается выражением:

$$N(x, t) = N_0 \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{Dt}}. \quad (1)$$

Коэффициент диффузии в этом выражении описывается зависимостью:

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right). \quad (2)$$

После подстановки (2) в (1):

$$N(x, t) = N_0 \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{tD_0 \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right)}},$$

где N_0 –поверхностная концентрация легирующего компонента составляет $6 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ и равна предельной растворимости сурьмы в кремнии; $D_0 = 8 \text{ см}^2/\text{с}$ – постоянный коэффициент; E_a – энергия активации диффузионного процесса; t – время; T – температура; x - глубина диффузии.

Примесь диффундирует не только в глубь перпендикулярно поверхности, но и в стороны на расстояние $x_{\text{бок}} = 0,8x$ (0,8 от перпендикулярного движения примеси). Этот факт надо учитывать при проектировании топологии структуры преобразователя.

При производстве первичного измерительного преобразователя применяется не один термический процесс диффузии. После будет выращивание подзатворного диэлектрика, которое заключается в окислении при температуре 1200°C . В это время введенная примесь может перераспределиться. Термическое окисление надо учитывать при диффузии. Время введения примеси будет включать в себя время легирования из неограниченного источника (загонка примеси) и диффузия из ограниченного источника при окислении (разгонка). Распределение примеси при диффузии из ограниченного источника описывается выражением:

$$N(x, t) = \frac{N_{нов}}{\sqrt{\pi D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right)}} \exp\left(-\frac{x^2}{4tD_0 \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right)}\right).$$

Проектируемую структуру можно использовать и в качестве тензодатчика[4]. Технология изготовления структуры состоит из тех же операций. Электрофизические свойства полупроводникового материала [5] совпадают для первичного измерительного преобразователя температуры и тензовеличин.

Список используемых источников.

1. Королев А.П. Размерное квантование в подзатворном слое полевой полупроводниковой структуры / А.П. Королев, В.А. Ершов // Вестник Тамб. гос. техн. ун-та, 2016. Т.22, № 1 . С. 108 - 113
2. Ершов В.А. Заряд в квантовых полевых структурах / В.А. Ершов, А.П. Королев // Шестьдесят девятая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием, 2016. С. 775-777.
3. Ершов В.А. Исследование электрофизических параметров полупроводникового термочувствительного элемента на основе полевой структуры / В.А. Ершов, А.П. Королев // Шестьдесят девятая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием, 2016. С. 806-808.
4. Королев, А.П. Твердотельная структура для тензоизмерений / А.П. Королев, М.В. Макачук, А.Д. Лоскутова // Материалы IX Международной научно-инновационной молодежной конференции «Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент», 2017 - 85-86 с.
5. Королев А.П. Электрофизические свойства пористого кремния / А.П. Королев, М.В. Макачук // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах: тезисы докладов 2-ой Международной конференции с элементами научной школы, 2015. – 333-335 с.

ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИФИКАТОРОВ И МЯГЧИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ

Ромашкина Л.В., Земсков А.Н., Кутовой А.Л., Макеев П.В.
Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
Liliyaromashkina433@gmail.com

Резина — продукт вулканизации каучука, способный к большим обратимым высокоэластичным деформациям. Основными компонентами резиновой смеси, подвергаемой вулканизации, являются натуральный [1-3] или синтетический каучук [4-6], вулканизирующие вещества [4]. Для улучшения свойств резин в них добавляют такие компоненты как ускорители, противостарители, наполнители, пластификаторы, мягчители, красители и т. д. [7,8].

При производстве резинотехнических изделий и полимерных материалов применяют различные по составу нефтяные продукты, выполняющие функции пластификаторов — наполнителей каучуков и мягчителей резин [9,10].

Все пластификаторы можно разделить на две основные группы. В первой группе обосновались вещества, способные хорошо сочетаться с каучуками, тем самым, снижая температуру стеклования и улучшая эластичность и морозостойкость. Эти вещества называются – пластификаторы [7].

Ко второй группе относятся вещества, облегчающие обработку и снижающие вязкость резиновых смесей, но при этом не влияющие на морозостойкость каучуков. Такие вещества называют мягчителями [7].

Помимо того, что мягчители могут обеспечить соответствующие технологические свойства, они значительно уменьшают себестоимость резиновых смесей [7].

Поскольку действие пластификаторов варьируется в зависимости от химических свойств полимера, пластификация в резиновых смесях и каучуках обычно определяется путем сравнения свойств резиновых смесей и вулканизатов на основе этого каучука без пластификатора и с его различным содержанием.

Наиболее распространенные пластификаторы, используемые для резиновых смесей подразделяются на следующие классы [7]:

1. продукты переработки нефти;
2. продукты переработки каменного угля и горючих сланцев;
3. продукты растительного и животного происхождения синтетические вещества.

Пластификаторы (мягчители) снижают вязкость резиновой смеси и повышают сопротивление преждевременной вулканизации, что особенно важно для облегчения переработки смесей с высоким содержанием наполнителей. В качестве пластификаторов применяют продукты нефтепереработки (нефтяные масла, битумы, хлорпарафины, смолы, мазуты), синтетические жирные кислоты и их эфиры, канифоль, фактис, олигоэфиракрилаты и жидкие каучуки и другие вещества. Одни из них действуют только как мягчители, позволяя получать резины с низкой твердостью, другие способствуют повышению морозостойкости, третьи – улучшению адгезионных свойств резин [7].

Рассмотрим влияние полимеризационноспособных олигоэфиракрилатов (ОЭА), являющихся пластификаторами на свойства резиновых смесей на основе фторкаучуков. Состав резиновой смеси (в масс. ч.): СКФ-32 – 100, MgO – 10, СИМ – 5, технический углерод П701 – 30.

Влияние содержания различных пластификаторов на свойства резин представлено в таблице 1 [11].

Таблица 1.

Показатели	Пластификатор, масс. ч.			
	Без пластификатора	ОЭА, 10	ОЭА, 20	ДФФ, 10
Напряжение при 100 % удлинении, Мпа	9,0	13,0	13,0	6,0
Условная прочность, Мпа	24,0	26,0	26,0	16,0
Относительное удлинение, %	160	120	140	200
Остаточное удлинение, %	3	3	3	5
Сопротивление раздиру, кН/м	40	60	60	25
Твердость по Шору А, усл. Ед.	72	80	83	60
Эластичность по отскоку, %	7	7	7	9
Остаточная деформация при 20 % сжатии после старения на воздухе 72 ч при 150 С	50	48	50	60

Анализ влияния пластификаторов показал, что с увеличением содержания пластификатора в смесях возрастают модули ненаполненных и наполненных резин из фторкаучука, заметно увеличиваются сопротивление раздиру и твердость. Оптимальными дозировками ОЭА при химической вулканизации являются 10 – 20 масс. ч., дальнейшее увеличение содержания снижает относительное удлинение резин. Представленные данные должны учитываться при проектировании машин для переработки эластомеров [12].

Список используемых источников.

1. Амелина Н.В., Беляев П.С., Клинков А.С., Соколов М.В. Описание формирования резиновых нитей из латекса // Вестник Тамбовск. гос. техн. ун-та. 2003. Т. 9. № 2. С. 236-242.
2. Амелина Н.В., Кульбашный А.С., Клинков А.С., Беляев П.С. Определение расхода коагулянта при гелеобразовании // Вопросы современной науки и практики. Ун-т им. В.И. Вернадского. 2010. № 7-9 (30). С. 322-324.
3. Амелина Н.В., Беляев П.С., Клинков А.С., Соколов М.В. Кинетика и аппаратно-технологическое оформление процесса изготовления резиновых нитей из латекса. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015.- 80 с.
4. Беляев П.С., Клинков А.С., Маликов О.Г., Однолько В.Г., Соколов М.В. Основы проектирования экструзионных машин предприятий полимерных материалов. - Тамбов: Изд-во Тамбовск. гос. техн. ун-та. 2012.- 144 с.

5. Макеев П.В., Клинков А.С., Полушкин Д.Л., Беляев П.С. Методика расчета величины сдвиговой деформации при получении профильных изделий заданного качества // Вестник Тамбовск. гос. техн. ун-та. 2012. Т. 18. № 1. С. 166-172.
6. Беляев П.С., Забавников М.В., Маликов О.Г. К вопросу получения резино-битумного концентрата для асфальтобетонных дорожных покрытий из изношенных автомобильных шин // Вестник Тамбовск. гос. техн. ун-та.- 2008. Т. 14. № 2. С. 346-352.
7. Соколов М.В., Клинков А.С., Беляев П.С., Скуратов В.К., Однолько В.Г. Методология расчета оборудования для производства длинномерных резинотехнических заготовок заданного качества. - Москва: Машиностроение. 2009.- 352 с.
8. Беляев П.С., Клинков А.С., Соколов М.В. Расчет процесса и оборудования экструзии резиновых смесей при заданном качестве экструдата // Вестник Тамбовск. гос. техн. ун-та. 2003. Т. 9. № 3. С. 430-433.
9. Николюкин М.М., Беляев П.С., Соколов М.В., Жидков А.В. Разработка непрерывной технологии и оборудования переработки резиновой крошки в профильные изделия // Вопросы современной науки и практики. Ун-т им. В.И. Вернадского. 2012. № 5 (39). С. 190-193.
10. Беляев П.С., Забавников М.В., Маликов О.Г., Волков Д.С. Исследование влияния резиновой крошки на физико-механические показатели нефтяного битума в процессе его модификации // Вестник Тамбовск. гос. техн. ун-та. - 2005.Т. 11. № 4. С. 923-930.
11. Новицкая С.П., Нудельман З.Н., Донцов А.А. Фторэластомеры. – Москва: Химия. 1988. – 240 с.
12. Клинков А.С., Соколов М.В., Кочетов В.И., Беляев П.С., Однолько В.Г. Автоматизированное проектирование валковых машин для переработки полимерных материалов. - Москва: Машиностроение-1. 2005.- 320 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕР-МИНЕРАЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ СОСТАВОВ

Мордасов М.Д., Харитонов Н.А., Мордасов Д.М.
Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
mit@tstu.ru

В настоящей работе проведен анализ физико-механических характеристик известных полимер-минеральных строительных материалов, предназначенных для обустройства защитно-декоративных покрытий строительных конструкций. Выявлены закономерности изменения физико-механических свойств при использовании различных наполнителей и модифицирующих тонкодисперсных добавок. Данные о физико-механических характеристиках приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Физико-механические характеристики строительных композиционных составов.

№ п/п	Состав материала	$\sigma_{сж}$, МПа	$\sigma_{изг}$, МПа	E, МПа
1	Цемент + зола уноса [1]	17,2	–	–
2	Цемент + песок + аморфный диоксид кремния + высококальциевая зола [2]	75	7,0	18,0
3	Цемент + песок + микрокремнезем + пластификатор [3]	47,8	8,9	–
4	Цемент + кварцевая мука + аморфный диоксид кремния + суперпластификатор [4]	77,2	–	–
5	Цемент + песок + золь нанокремнезема + микрокремнезем + белая сажа + суперпластификатор [5]	82,3	–	–
6	Цемент + эпоксидная смола + полиэфирный олигомер [6]	70,0	35,0	–
7	Цемент + эпоксидная смола, фурфурол + маршаллит [7]	82	–	–
8	Цемент + песок + маршаллит + эпоксидная смола + гуанидин [8]	93,0	47,0	10,0

Анализ данных табл. 1 показывает, что определенный уровень физико-механических свойств композиционных материалов может быть получен путем изменения состава матрицы, а также введением микро- и наноструктурных добавок. В составах [1] и [2] в качестве вяжущего используется цемент. Состав [1] обладает низкими физико-механическими характеристиками. Несмотря на то, что в составе [2] в качестве вяжущего также используется цемент, его физико-механические характеристики повышены за счет применения тонкодисперсных аморфного диоксида кремния и высококальциевой золы. Применение полимерных добавок позволяет получить улучшенный комплекс физико-механических свойств. В составе [3] в качестве пластификатора используется полимерная добавка, а в качестве минеральной добавки – микрокремнезем. Такое сочетание позволяет повысить предел прочности на изгиб. Отличие состава [4] от состава [3] состоит в замене грубодисперсного заполнителя –

песка, кварцевой мукой, имеющей размер частиц на порядок меньше. Использование таких компонентов позволило повысить прочность на сжатие почти в 2 раза. В составе [5] для удобоукладываемости смеси и понижения пористости использован золь нанокремнезема с высокой пуццоланической активностью и суперпластификатор. Одновременная модификация смеси белой сажей и микрокремнеземом позволяет повысить предел прочности на сжатие. Для повышения пластичности строительных композиционных материалов их модифицируют эпоксидными и полиэфирными олигомерами. В составе [6] при вводе в матрицу таких олигомеров наблюдается увеличение предела прочности на изгиб, при относительно небольшой потере в прочности на сжатие. Для того, чтобы избежать потери в прочностных характеристиках, при одновременном сохранении пластичности материала, в составе [7] осуществлена одновременная модификация эпоксидными олигомерами и тонкодисперсным минеральным наполнителем – маршаллитом. Дальнейшее увеличение физико-механических характеристик композиционных материалов достигается за счет ввода дополнительных минеральных наполнителей, например в составе [8] в отличие от [7] присутствует грубодисперсный наполнитель – песок, что приводит к значительному увеличению предела прочности на сжатие и изгиб.

Список используемых источников.

1. Пат. 2154619 РФ, МПК С04В38/08. Легкий бетон / Котляр В.Д., Шуйский А.И., Козлов А.В., Мальцев Е.В. – Оpubл. 20.08.2000, Бюл. № 23 – 7 с.
2. Пат. 2708138 РФ, МПК С04В 28/02, 7/13, 24/26, 111/20, 103/32. Смесь для изготовления цементсодержащего материала / Ванштейдт Л.Д. – Оpubл. 04.12.2019, Бюл. № 34 – 7 с.
3. Пат. 2655633 РФ, МПК С04В 28/04, 14/04, 14/38, 24/26, 18/14, 111/20, 103/32. Бетонная смесь / Солонина В.А., Абайдуллина В.И. – опубл. 29.05.2018, Бюл. № 16 – 5 с.
4. Пат. 2685384 РФ, МПК С04В 28/04, 14/06, 14/14, 111/20, G21F 1/00. Специальный бетон для ограждающих конструкций защитных сооружений / Федюк Р.С., Козлов П.Г., Кудряшов С.Р., Мочалов А.В. – Оpubл. 17.04.2019, Бюл. № 11 – 8 с.
5. Пат. 2641813 РФ, МПК С04В 28/04, 14/04, 24/26, 103/32, В82В 1/00. Высокопрочный мелкозернистый бетон / Скоркин М.Е., Рябов Г.Г., Рябов Р.Г. – Оpubл. 15.01.2018, Бюл. № 2 – 6 с.
6. Дрожжин, Д.А. Структура и механические свойства гибридных композиционных материалов на основе портландцемента и ненасыщенного полиэфирного олигомера: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.06 / Д.А. Дрожжин. – Москва, 2007. – 23 с.
7. Пат. 2295787 РФ, МПК G21F 9/00, 9/04, 9/28, С08L 63/00, С09D 163/00, С09К 3/10, С04В 26/14. Цементно-полимерная композиция / Штромбах Я.И., Лобанов Н.С., Чугунов О.К. – Оpubл. 20.03.2007, Бюл. № 8 – 4 с.
8. Пат. 2329228 РФ, МПК С04В 26/14, 14/06, С09D 5/14, 163,02. Полимербетонная смесь / Ерофеев В.Т., Светлов Д. А., Смирнов В.Ф., Кондакова И.Э. – Оpubл. 20.07.2008, Бюл. № 20 – 6 с.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и администрации Тамбовской области в рамках научного проекта № 19–43–680003.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРОВОЛОКИ 5ВРП1400 ИЗ СТАЛИ 85 ПОСЛЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Мажаров А.В., Бутягин М.А., Королев А.П.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
korolevanpal@yandex.ru

Для армирования бетонных конструкций наряду с разными элементами из низкоуглеродистой стали применяется и проволока 5ВРП1400 из стали 85 [1]. Эта сталь является немного заэвтектоидной. По микроструктуре она почти не отличается от эвтектоидной стали. Микроструктура стали 85 в отожженном состоянии состоит из перлита. Цементит по границам зерен располагается в малом количестве, как показано на рисунке 1, на большем протяжении границ зерен цементит отсутствует.

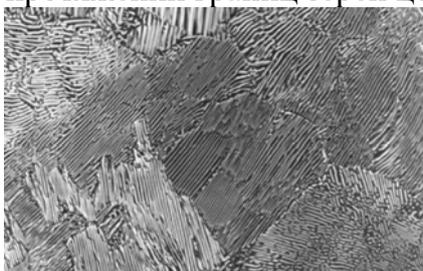


Рисунок 1. Микроструктура стали 85 в отожженном состоянии.

После закалки сталь с таким содержанием углерода имеет высокую твердость и низкую пластичность [2,3], что не позволяет ее использовать в качестве армирующего элемента из-за высокой хрупкости. Но армирующей проволоке надо придать небольшую твердость, чтобы избежать деформации в строительных конструкциях при соответствующем их расположении. После закалки меняется микроструктура стали, из которой изготовлена арматура. Придать твердость не внося изменения в микроструктуру можно пластической деформацией, наклепом. Микроструктура стали 85 после пластической деформации состоит из тех же фаз, которые распределены таким же образом, как и в отожженной стали (рисунок 2).



Рисунок 2. Микроструктура стали 85 после пластической деформации.

На микроструктуре стали после пластической деформации (рисунок 2) видны следы механического воздействия. Цементитные пластины в перлите более деформированы или сдвинуты со своего места. В общем случае нарушена однородность перлита. В целом микроструктура осталась такой же, что не предвещает разрушения при нагрузках и обеспечивается повышенная твердость.

Таким образом, пластическая деформация, или наклеп, позволяет получить требуемые свойства для стали, из которой изготавливаются армирующие бетон элементы.

Список используемых источников.

1. ГОСТ 7348-81. Проволока из углеродистой стали для армирования предварительно напряженных железобетонных конструкций [Текст]. – Взамен ГОСТ 7348-63; введ. 1983-01-01. – М.: Изд-во стандартов, [2003]. – 10 с.
2. Королев А.П. Влияние многократного отжига на структуру и свойства высокоуглеродистой стали / А.П. Королев, А.И. Буренина, М.В. Макаrchук, Н.А. Толстов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. - 2018. - Т. 24, № 2. - С. 337 - 343.
3. Буренина А.И. Циклический отжиг высокоуглеродистой стали в среде углерода / А.И. Буренина, А.П. Королев, М.В. Макаrchук // Вестник ТГТУ. 2019. Т. 25. № 2. С. 329-333.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ЭПОКСИДНЫЙ КОМПОЗИТ

Яковлев Н.А.

*Энгельсский технологический институт (филиал)-
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.», г. Энгельс*

При разработке многокомпонентных составов эпоксидных компаундов, в т. ч. и наполненных, особое внимание должно быть уделено рецептурному составу композиций. При использовании активных модификаторов в процессе отверждения эпоксидного связующего формируется сложная структура сетчатого полимера, отличающаяся природой узлов, межузловых фрагментов и их кинетической гибкостью [1, 2]. Это приводит к выводу, что при получении материалов на основе эпоксидных олигомеров с увеличенными прочностными и деформационными характеристиками, а также для удешевления готовой продукции, рекомендуется использовать более одного наполнителя, с разной природой и формой частиц [3, 4]. Такой подход позволил определить влияние пластификаторов и наполнителей, в выбранных соотношениях, на структурообразование и комплекс физико-механических свойств композитов [5]

Полученные результаты по оценке действия наполнителей, в ранее выбранных соотношениях, на структурообразование и комплекс физико-механических свойств эпоксидных композитов, отвержденных ПО-300 со смесью ПФА и КФН, для которых содержание наполнителей (по 2,5 масс. ч.), показали, что исследуемые составы характеризуются более высокой степенью отверждения (таблица 1), в сравнении с двухкомпонентным составом (ЭД-20+ПО-300).

Таблица 1.

Степень отверждения эпоксидных компаундов.

Содержание эпоксидного компаунда, масс. ч.	Степень отверждения, %		
	t=24 °C, τ=1 ч	t=90 °C, τ=1 ч	t=120 °C, τ=1 ч.
100ЭД-20+15ТЭТА	93	97	98
100ЭД-20+40ПО-300	91	93	98
100ЭД-20+40ПО-300+30ТФФ	98	99	99
100ЭД-20+40ПО-300+30ТФФ+2,5ПФА+2,5КФН	98	99	99
100ЭД-20+40ПО-300+30ТФФ+10КФН+10ПФА	96	98	98

Дальнейшее изучение физико-механических характеристик исследуемых композиционных материалов на основе ЭД-20 (таблица 2) показало, что образцы, содержащие в качестве модификатора ТФФ, имеют ударно вязкость 33 кДж/м², изгибающее напряжение 22 МПа (не разрушаются на 1,5 толщины образца) и по показателям горючести относятся к классу трудносгораемых. Это связано с отсутствием необходимости в повышении эластичности материала, отвержденного ПО-300. Дополнительное повышение устойчивости к удару с сохранением комплекса других свойств, очевидно, связано с чешуйчатой формой частиц ПФА и КФН.

Повышение содержания в композиции смеси ПФА и КФН до 10 масс. ч. (таблица 2), практически не повлияло на основные деформационно-прочностные показатели эпоксидного композита. Повышенная эластичность композиций, отвержденных ПО-300, позволила изменить их рецептурный состав, увеличив содержание наполнителей.

Таблица 2.

Физико-механические свойства эпоксидного компаунда.

Содержание эпоксидного компаунда, масс. ч.	Изгибающее напряжение, МПа	Ударная вязкость, кДж/м ²	КИ, % объем.	Потери массы, %
100ЭД-20+15ТЭТА	39	5	19	78
100ЭД-20+40ПО-300	17*	26	25	39
100ЭД-20+40ПО-300+30ТФФ	35	19	30	31
100ЭД-20+40ПО-300+30ТФФ+2,5ПФА+2,5КФН	22*	33	36	14
100ЭД-20+40ПО-300+30ТФФ+10КФН+10ПФА	20*	28	44	9

Примечание - *образцы при испытаниях не разрушились.

Однако по показателю горючести для разработанных составов КИ достигает 44 % об., что обусловлено, по данным EDX-анализа, высоким содержанием фосфора и присутствием фтора по всей области скола образца даже при введении 1 масс. ч. смеси наполнителей (рисунок 1).

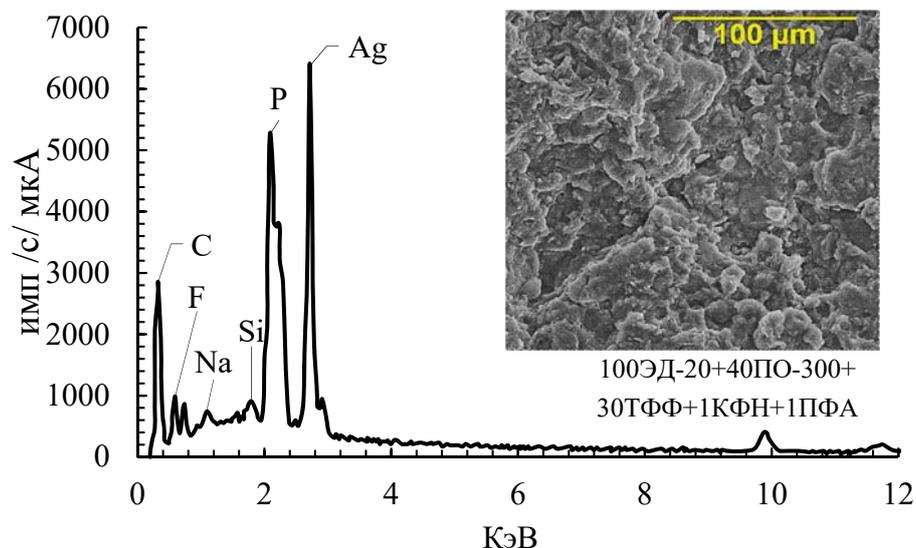


Рисунок 1. EDX – анализ химического состава, масс. ч.:
100ЭД-20+40ПО-300+30ТФФ+1ПФА+1КФН (x1000).

Учитывая, что КФН, пока не нашедшего широкого применения, относится к побочному продукту при производстве фосфорной кислоты, перспективна разработка наполненных эпоксидных композитов на его основе.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о разработке эпоксидных композиционных материалов, регулированием состава которых обеспечивается широкий диапазон эксплуатационных свойств в зависимости от областей их применения.

Список используемых источников.

- Бобович, Б.Б. Полимерные конструкционные материалы (структура, свойства, применение): учеб. пособие / Б.Б. Бобович. – М.: ИНФРА–М, 2014. – 400 с.
- Влияние разбавителей на кинетику объемной усадки и напряжений при отверждении эпоксидиановых олигомеров / А.Н. Трофимов [и др.]// Тонкие химические технологии. – 2016. – Т.11. – № 6. – С.103 – 107.
- Технология переработки полимеров. Физические и химические процессы / М.Л. Кербер, И.Ю. Горбунова, М.А. Шершнева [и др.] – М.: Издательство Юрайт, 2017. – 316 с.
- Яковлева, Р.А. Влияние наполнителей на процессы структурирования и свойства эпоксидных композиций / Р.А. Яковлева, Л.Ф. Подгорная, Т.Н. Обиженко // Пластические массы. – 1997. – №3. – С. 36–37.
- Наполнители для модификации современных полимерных композиционных материалов/ А.С. Колосова [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 10. – С. 459–

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ ОБРАЗЦОВ ИЗ ПОЛИМЕРОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ЭКСТРУДИРОВАНИЯ

Макарчук М.В., Петренко В.И., Ельчищева Т.Ф., Преображенская Е.М.
Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
vadimasias2014@yandex.ru

Перспективы замены металлических, композиционных и полимерных материалов для изготовления литых изделий на изделия, выполненные FDM-технологией, стимулируют развитие исследовательских работ в направлении улучшения их физико-механических эксплуатационных характеристик. Выявлены проблемы применения FDM-технологии для промышленного изготовления изделий: необходимо решение вопроса неоднородности структуры, изучение механизмов трещино- и порообразования и их влияния на прочностные характеристики изделий и их способность к устойчивости прочностных характеристик при динамических и температурных воздействиях в реальных условиях эксплуатации.

Таким образом, необходимо изучить физико-механические свойства образцов из различных полимеров (PEEK, PLA, PMMA, PETG, PVDF и PP) в зависимости от температуры экструдирования полимера и толщины слоя. Такие данные позволят оптимально выбрать вид полимера и режимы 3D-печати в зависимости от требуемых проектных значений. Кроме того, данные исследования позволят подвести научную базу влияния трещин и пористости на физико-механические свойства полимерных изделий, выполненных по аддитивной технологии [1,2].

Полимер PLA перед использованием для 3D-печати хранился при температуре среды 23°C и относительной влажности воздуха 50%.

Образцы для исследования прочностных характеристик изготавливались по аддитивной технологии на 3D-принтере MakerBot Replicator Z18. Печать образцов производилась при разной температуре экструдера и с различной толщиной слоя (табл. 1). Образцы печатались по 6 штук в партии на столе в вертикальном направлении с ориентацией нити поперек длинной стороны образца. Печать каждой партии производилась при одной из температур экструдера – 200, 220, 250 °C с толщиной слоя 0,2, 0,3 и 0,4 мм. Ячеистая структура во всех образцах печаталась с заполнением в 100% [3,4].

Исследования прочностных характеристик изготовленных образцов проводились на разрывной машине МР-0,5-1.

Для исследования структуры образцов оптической микроскопией из образцов, подвергшихся испытанию на разрыв, готовился шлиф путем вырезания небольшого куска материала образца поперек укладки нитей филамента и шлифования его на влажной абразивной бумаге последовательно, начиная от бумаги с крупным зерном Р100 до бумаги с мелким зерном Р2500 с дистиллированной водой. Шлифованные поперечные сечения анализировались на горизонтальном оптическом микроскопе МИМ-8 в отраженном свете при увеличении в 350 раз (рис. 1). Вид сечений образцов демонстрирует влияние температуры экструдера и толщины слоя на их структуру.

У образца №1 с толщиной слоя полимера при укладке 0,4 мм и температуре экструдирования 200°C наблюдался межслойный воздушный зазор (рис. 1, а). Взаимодействие между слоями полимера при печати небольшое, что, вероятно, приводит к значительным зазорам между ними. Было предсказуемо, что данный образец имел самый низкий предел прочности на разрыв – 0,5 МПа.

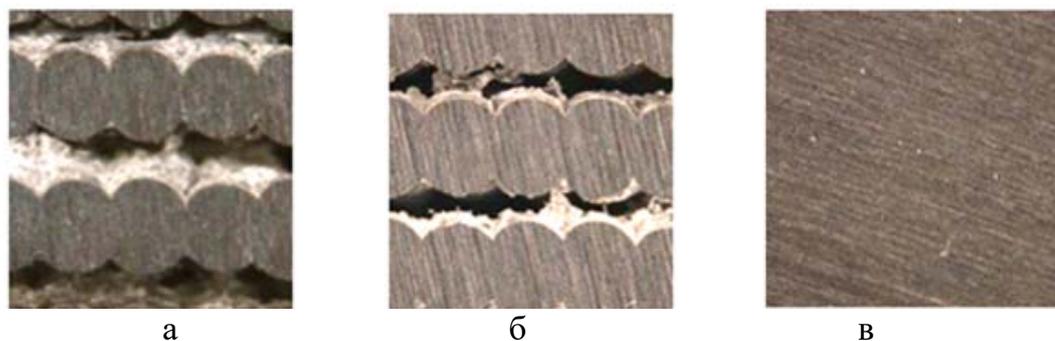


Рисунок 1. Сечения образцов из PLA, напечатанных на 3D-принтере MakerBot Replicator Z18 при температуре экструдера t , °C и толщине слоя укладки δ , мм:
a – образец №1, $t=200^{\circ}\text{C}$, $\delta=0,4$ мм; *б* – образец №2, $t=250^{\circ}\text{C}$, $\delta=0,4$ мм;
в – образец №3, $t=250^{\circ}\text{C}$, $\delta=0,2$ мм.

При увеличении температуры экструдера для изготовления образца №2 до 250°C (рис. 1, *б*) наблюдалось незначительное увеличение предела прочности – до 4 МПа. По-видимому, это связано с уменьшением межслойных расстояний в структуре образца, вызванных низкой скоростью охлаждения филомента, что приводит к более длительному его нахождению в жидком состоянии и взаимодействию каждого слоя с соседними слоями в образце.

Большое влияние оказывает уменьшение толщины слоя полимера при укладке до 0,2 мм при температуре экструдирования 250°C (рис. 1, *в*). При таком режиме 3D-печати происходит почти идеальное сцепление филомента в образце как внутри каждого отдельного слоя, так и между слоями, без видимых расстояний между ними. Образец №3 показал почти 13-ти кратное увеличение прочности при испытаниях на разрыв по сравнению с образцом №2 – до 51 МПа и 102-х кратное – по сравнению с образцом №1. На шлифе образца №3 просматривается некоторое количество дефектов в виде пор. В общей площади образца их количество незначительно, однако, для более глубокого понимания прочностных характеристик материала необходимо в будущем исследовать генезис и морфологию таких дефектов.

Список используемых источников.

1. Gebhardt, A.; Kessler, J.; Thurn, L. 3D-Drucken: Grundlagen und Anwendungen des Additive Manufacturing (AM); Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG: Munchen, 2016. DOI: 10.3139/9783446448452.fm.
2. Cole D.P., Riddick J.C., Iftekhar Jaim H.M., Strawhecker K.E., Zander N.E. Interfacial mechanical behavior of 3D printed ABS. Journal of Applied Polymer Science. 2016, 133 (30). DOI: 10.1002/app.43671.
3. Bayraktar Ö., Uzun G., Çakiroğlu R., Guldaz A. Experimental study on the 3D-printed plastic parts and predicting the mechanical properties using artificial neural networks. Polymers for Advanced Technologies, 2017, 28 (8), 1044-1051. doi: 10.1002/pat.3960.
4. Ерофеев В.Т., Ельчищева Т.Ф., Преображенская Е.М., Макаrchук М.В. Исследование физико-механических характеристик образцов из полилактида в аддитивной технологии // Региональная архитектура и строительство. 2019. № 3 (40). С. 92–101.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ФАЗОВЫМ СОСТАВОМ, МЕТОДОМ СИНТЕЗА И РАЗМЕРОМ ЧАСТИЦ В СИСТЕМЕ $\text{CaO-GeO}_2\text{-P}_2\text{O}_5$

Ветохин В.Г., Муханова Е.А.
Южный федеральный университет

1. Введение

Система $\text{Ca}_2\text{GeO}_4\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ исследована высокотемпературными методами в работе [1]. В системе установлены три промежуточные бинарные фазы переменного состава: одна из них является термодинамически устойчивой, две другие - метастабильны. Все они получены из расплава при температурах 1300-1500°C.

Таблица 1.

Соединения в системе $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{-Ca}_2\text{GeO}_4$.

Соединение	Структурный тип	Термодинамическая стабильность
A ($2\text{Ca}_2\text{GeO}_4 \cdot \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$)	Витлокит	Метастабильно
B ($\text{Ca}_2\text{GeO}_4 \cdot \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$)	Силикокарнитит	Стабильно
C ($\text{Ca}_2\text{GeO}_4 \cdot 3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$)	Гидроксиапатит	Метастабильно

Осуществление синтеза стабильной фазы при более низких температурах является важным для получения кристаллитов меньшего размера, что важно для морфологии биокерамики. Целью нашей работы стало исследование влияния метода синтеза Ge-замещённых фосфатов кальция на их структуру и размер частиц.

2. Материалы и методы исследования

Для синтеза соединения $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_2\text{GeO}_4$ было использовано три подхода:

1. Твердофазный синтез: мы использовали в качестве исходных реагентов CaCO_3 , GeO_2 и $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$. Температура не превышала 1100°C.

2. Золь-гель синтез: мы использовали в качестве исходных реагентов GeO_2 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и 2,1 М H_3PO_4 . Температура не превышала 1100°C.

3. Метод СВС: мы использовали в качестве исходных реагентов GeO_2 , CaCO_3 , H_3PO_4 (лимонная кислота и этиленгликоль, как иницирующие компоненты). Температура не превышала 1100°C.

Фазы, представленные в образцах, были идентифицированы методом порошковой рентгенографии. Для качественного анализа использовали рентгенометрическую картотеку PDF2.

Распределение размеров частиц было получено с помощью метода FW 1/5/4/5 М [2]. Предложенный метод особенно чувствителен в случае широких дифракционных максимумов, то есть для наноразмерных поликристаллов.

3. Результаты и обсуждение

Исходя из рентгенофазового анализа:

- В образцах, полученных твердофазным синтезом, основная фаза имеет структуру $\beta\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ -витлокита.

- В образцах, полученных золь-гель и самораспространяющимся высокотемпературным синтезом, основная фаза имеет структуру $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{OH}_2$ - гидроксиапатита.

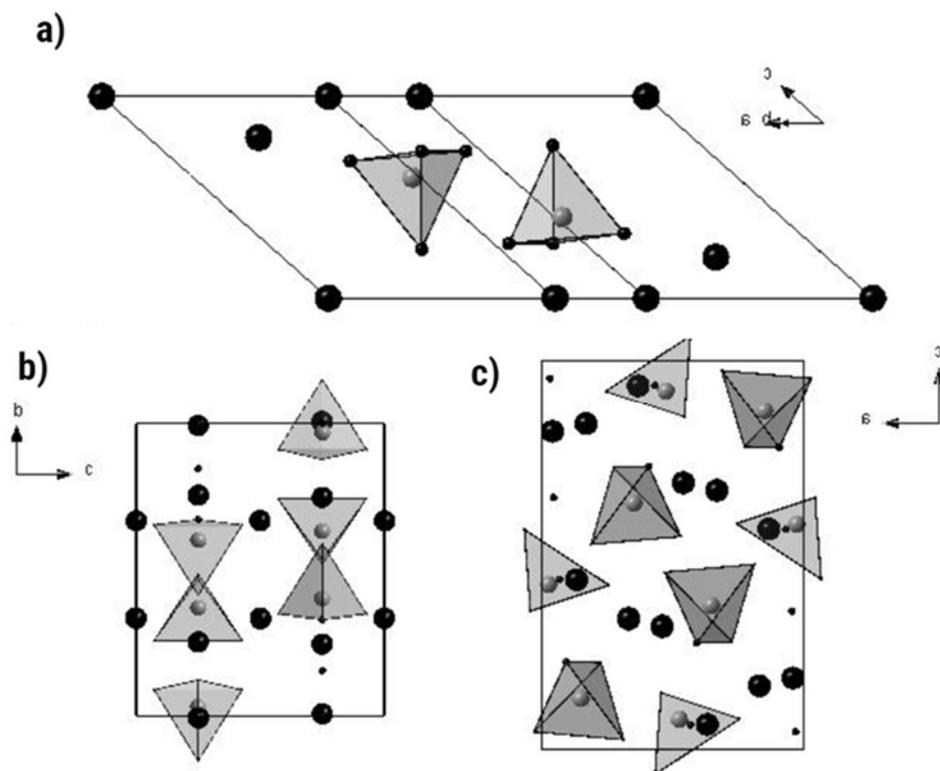


Рисунок 1. Кристаллические структуры фосфатов кальция: а) витлокит $\beta\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$; б) гидроксиапатит $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$; в) силикокарнотит $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_2\text{SiO}_4$.

Структуры отличаются координационным числом кальция. В силикокарнотите он имеет 7 ближайших атомов кислорода, в гидроксиапатите 7 и 9 соседей, а в витлоките - 10 и 12 атомов кислорода. Исходя из этого факта, фазовая диаграмма $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{-Ca}_2\text{GeO}_4$ нуждается в уточнении. Все образцы имеют одинаковый состав, и основным фактором, влияющим на устойчивость типа структуры, является метод синтеза.

Исходя из FWH15 и FW45M (ширины на 1/5 и 4/5 от максимума пика) рентгенограммы:

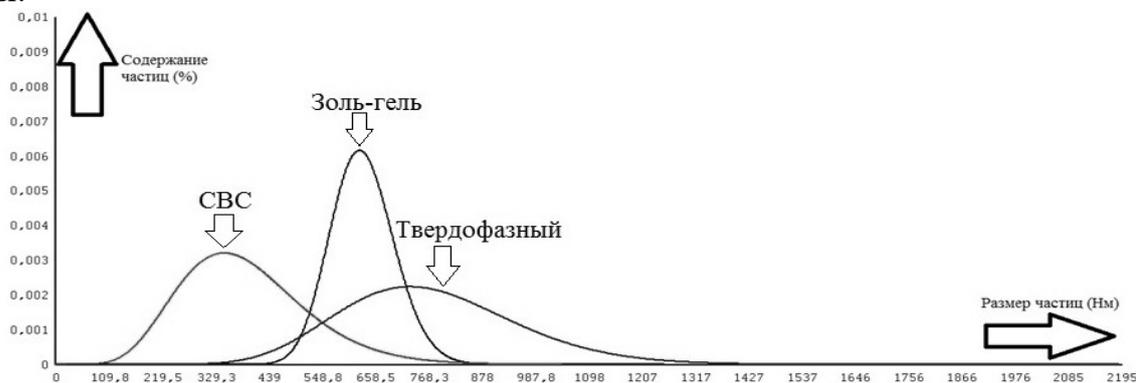


Рисунок 2. Распределение размеров частиц, полученных образцов.

- самые маленькие частицы получились в СВС, а самые крупные в твердофазном синтезе. Что коррелирует с опытами в химии наночастиц и может быть объяснено влиянием перемешивания и температурного фактора.

4. Выводы

1. Синтезы из растворов приводят к образованию структуры гидроксиапатита. Размеры частиц при этом составляют 350-650 Нм.

2. Твердофазный синтез и низкая скорость процесса делают стабильной фазу со структурой витлокита. Размеры частиц при этом составляют 750 Нм.

Список используемых источников.

1. Ширвинская А.К., Бондарь И.А. Фазовые равновесия в системе $\text{Ca}_2\text{GeO}_4\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ // Неорганические материалы. 1978. Р. 2026–2032.

2. Pielaszek R. FW 1/5/4/5 M method for determination of the grain size distribution from powder diffraction line profile // J. Alloys Compd. 2004. Vol. 382, № 1–2. Р. 128–132.

ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ СТЕРЖНЕЙ TiC-Ni и TiB-Ti МЕТОДОМ СВС-ЭКСТРУЗИИ И ИХ ДАЛЬНЕЙШЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В КАЧЕСТВЕ ТЕРМОПАР

Антипов М.С., Чижиков А.П., Бажин П.М., Столин А.М.

***ФГБУН Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения
им. А.Г.Мержанова РАН, г. Черногловка, Россия***

mora1997@mail.ru

Термопарные измерение широко применяются в металлургических сферах в целях контроля температуры расплавленных металлов, а также в исследовательских работах, например, для контроля температурных значений при самораспространяющемся высокотемпературном синтезе (СВС) материалов. Керамические термопары благодаря своей высокой температуре плавления и износостойкости, а также химической инертности по отношению к агрессивным средам керамика способна сохранять прочность, необыкновенную твердостью и упругость нашли свое широкое применение в промышленности.

Изготовление керамических изделий занимает важное место почти во всех отраслях производства, начиная от декоративных элементов заканчивая машиностроением. Керамика и композиты на основе карбидов и боридов титана предназначены для эксплуатации в экстремальных условиях и применимы, например, для изготовления износостойких деталей. Однако получение длинномерных стержней из этих материалов требует больших энергетических затрат, связанных с обеспечением высоких температур и давлений [1].

Перспективным методом получения изделий из керамических материалов является процесс СВС-экструзии, который совмещает в себе процесс синтеза материалов в режиме СВС и последующее высокотемпературное сдвиговое деформирование. Главной задачей СВС-экструзии как технологического процесса - уплотнить и придать синтезированным продуктам горения определенную форму путем экструдирования их через формующую матрицу [2]. Перспективность использования метода СВС-экструзии заключается в возможности за десятки секунд (вместо часов) получать изделие из порошков тугоплавких соединений, проводить синтез материала и формировать изделия заданного размера и формы в одну технологическую стадию. При этом благодаря сочетанию осевых и радиальных напряжений происходит интенсивное объемное деформирование синтезированного материала, что позволяет получать изделия с очень низким значением пористости.

Объектом данного исследования являются металлокерамические стержни на основе TiC-Ni и TiB-Ti. Один из самых главных плюсов использования никеля и титана, в качестве металлической связки, является повышение эксплуатационных свойств материала, а также придание вязкости керамическому композиционному материалу. Никель обладает высокой жаростойкостью в агрессивных средах, стоит отметить также высокую коррозионную стойкость и титана. Из данных стержней диаметром 2 мм был изготовлен спай диаметром 3 мм методом пайки припоем или сварка.

Особенностью строения полученного припоя, при добавлении Ni и Ti, является расплавление металла, и он проникает внутрь, соединяя абразивные частицы, он частично затекает внутрь и заполняет пустоты и промежутки среди и вокруг скелетной структуры керамики и, за счет этого, повышает механическую прочность металлокерамического спаивания [3].

Анализируя полученные значения зависимости термо-ЭДС от температуры можно сказать о том, что порядок величины совпадает с заводскими показателями керамических термопар, следовательно, они сопоставимы, что говорит о перспективности использования данных металлокерамических термопар.

Список используемых источников.

1. Истомина Е.И., Истомин П.В., Грасс В.Э., Надуткин А.В. Патент РФ № 2553111. Способ получения плотной керамики и керамических композитов на основе карбида титана. – 2014 г.
2. Чижиков А.П., Бажин П.М., Столин А.М. Получение керамического материала с наноразмерной структурой методом СВС-экструзии В сборнике: VI Всероссийская конференция по наноматериалам с элементами научной школы для молодежи Сборник материалов. 2016. С. 475–476.
3. Коизуми М., Охьянаги М., Левашов Е.А., Рогачев А.С., Спицын Б.В., Хосоми С. Патент РФ № 2184644. Алмазосодержащий слоистый композит и способ его получение. – 1997 г.

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СВОЙСТВ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ БАЗАЛЬТОВЫХ НИТЕЙ

Зубова Н.Г.¹, Герасимова В.М.¹, Устинова Т.П.²

¹Балаковский инженерно-технологический институт – филиал НИЯУ МИФИ, г. Балаково, Zubova_ARTECH@mail.ru

²Энгельсский технологический институт – филиал СГТУ им. Гагарина Ю.А., г. Энгельс

Производство полимерных материалов – быстро развивающаяся отрасль химической промышленности, которая выпускает широкий спектр товаров технического и бытового потребления. Одним из распространенных продуктов химической промышленности является базальтопластик на основе термореактопластичных связующих.

Цель научно-исследовательской работы - изучение эксплуатационных свойств композитов на основе эпоксидной матрицы и модифицированных базальтовых нитей.

Объектами исследования являлись: базальтовая техническая нить (БН), органосилановые модификаторы (3-глицидоксипропилтриметоксисилан (Silquest A-187); 3-метакрилоксипропилтриметоксисилан (Silquest A-174), эпоксидная смола (ЭД-20), отвердитель полиэтиленполиамин (ПЭПА).

В работе [1] рассмотрены структурные особенности эпоксипластиков на основе базальтовой нити, модифицированной органосиланами, которые свидетельствуют о повышении физико-химической совместимости в системе полимерное связующее/аппретированный волокнистый наполнитель.

Следствием этого, как показали исследования эксплуатационных свойств эпоксидных композиционных материалов на основе модифицированных базальтовых нитей, является повышение их механических показателей по сравнению с эпоксидно-базальтопластиком, содержащим немодифицированную нить (рисунок 1).

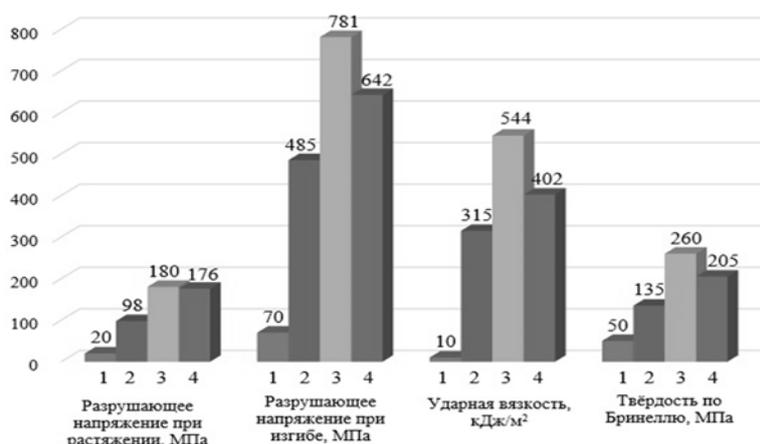


Рисунок 1. Деформационно-прочностные свойства разработанных композитов: 1-ЭД-20; 2-ЭД-20+БН; 3-ЭД-20+БН+А-187; 4-ЭД-20+БН+А-174.

В частности, значительно возрастают деформационно-прочностные характеристики разработанных эпоксидных композитов: разрушающее напряжение при растяжении увеличивается на 80-84%, при изгибе – на 32-61%, ударная вязкость – на 28-73%, твердость по Бринеллю – на 52-93%, что позволяет рекомендовать модифицированные базальтовые нити в качестве армирующих наполнителей в

технологии эпоксидных композитов.

В связи с этим проведена оценка таких физико-химических показателей исследуемых композиционных материалов как плотность, водопоглощение и потери массы при поджигании образцов на воздухе (таблица 1).

Таблица 1.

Физико-химические свойства разработанных композитов.

Состав материала	Плотность, кг/м ³	Водопоглощение за 24 ч, %	Потери массы при поджигании образцов на воздухе, %
ЭД-20	1250	0,10	78
ЭД-20+БН	1645	0,72	42
ЭД-20+БН+А-187	1651	0,61	38
ЭД-20+БН+А-174	1647	0,65	35

Из данных таблицы 1 следует, что модификация используемых в качестве армирующих систем эпоксидных композитов базальтовых нитей практически не изменяет плотность получаемого композиционного материала, но способствует снижению его водопоглощения и уменьшению потерь массы образцов под действием пламени.

Наряду с указанными характеристиками, комплексная оценка эксплуатационных свойств разработанных эпоксидбазальтопластов включала также исследование их химической стойкости к действию агрессивных сред, в качестве которых использовали

- фосфорную кислоту (H₃PO₄) 52,9±3 %
- серную кислоту (H₂SO₄) 30±2 %
- гидроокись натрия (NaOH) 40±2 %

Хемостойкость разработанных базальтопластиков определялась по изменению массы образцов после выдержки в химических реагентах. На основании этих данных были рассчитаны коэффициенты сорбции, диффузии и проницаемости разработанного материала (таблица 2).

Полученные расчётные данные свидетельствуют о достаточно низких значениях коэффициентов диффузии, сорбции и проницаемости эпоксидных композитов на основе модифицированных базальтовых нитей, что подтверждает их хорошую химическую стойкость, сопоставимую с хемостойкостью отверждённой эпоксидной смолы.

Таблица 2.

Параметры, характеризующие химическую стойкость разработанных эпоксипластов на основе базальтовых нитей.

Состав материала	Коэффициент диффузии, см ² /с	Коэффициент сорбции, г/см ³	Коэффициент проницаемости, г·см/см ² ·с
Фосфорная кислота (52,9±3%)			
ЭД-20 ненаполненная	$4,1 \cdot 10^{-7}$	$0,9 \cdot 10^{-3}$	$0,9 \cdot 10^{-9}$
ЭД-20+БН	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$5,1 \cdot 10^{-3}$	$6,1 \cdot 10^{-11}$
ЭД-20+БН+А-187	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$5,9 \cdot 10^{-11}$
ЭД-20+БН+А-174	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$	$9,6 \cdot 10^{-11}$
Серная кислота (30±2%)			
ЭД-20 ненаполненная	$1,0 \cdot 10^{-8}$	$6,0 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-11}$
ЭД-20+БН	$1,8 \cdot 10^{-8}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$4,2 \cdot 10^{-10}$
ЭД-20+БН+А-187	$6,5 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$7,2 \cdot 10^{-11}$
ЭД-20+БН+А-174	$8,2 \cdot 10^{-8}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-12}$
Гидроокись натрия (40±2%)			
ЭД-20 ненаполненная	-	-	-
ЭД-20+БН	$1,5 \cdot 10^{-8}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$4,2 \cdot 10^{-10}$
ЭД-20+БН+А-187	$5,5 \cdot 10^{-9}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-11}$
ЭД-20+БН+А-174	$1,4 \cdot 10^{-9}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-11}$

Таким образом, введение модифицированных органосиланами базальтовых нитей в эпоксидное связующее приводит к увеличению деформационно-прочностных и физико-химических свойств полученных композитов и не снижает их хемостойкости.

Список используемых источников.

1. Герасимова В.М. Структурные особенности и свойства композиционных материалов на основе модифицированных базальтовых нитей / В.М. Герасимова, Н.Г. Зубова // Материалы X Международной научно-инновационной молодежной конференции «Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент». – Тамбов: Изд-во ИП Чеснокова А.В. - 2018. – С. 86-88.

ИННОВАЦИОННАЯ УСТАНОВКА ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ МАЛОСЛОЙНОГО ГРАФЕНА

Базарбаев Б.П., Першин В.Ф., Столяров Р.А.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

В настоящее время графеновые наноматериалы в виде малослойных пластинок используются при создании новых конструкционных и функциональных материалов. Одной из наиболее масштабных областей применения малослойного графена в качестве модификатора является строительная индустрия [1-4].

Особый интерес представляет модифицирование бетона графеном, полученным жидкофазной сдвиговой эксфолиацией графита. Анализ научно-технической литературы показал, что перспективным является использование малослойного графена для модифицирования бетона и эпоксидной смолы, которая является связующим при изготовлении композитной полимерной арматуры бетонных изделий. Кроме этого, полимерная смола применяется при внешнем армировании, особенно эффективно при проведении ремонтно-восстановительных работ. Таким образом, совершенствование способа получения малослойного графена жидкофазное сдвиговой эксфолиацией и создание модификаторов строительных материалов на его основе является актуальной задачей.

Данная технология легко масштабируется, экологически безопасна и себестоимость получаемого малослойного графена в десятки раз ниже, чем полученного по традиционным технологиям из оксида графена.

Так же, как и в работе, водную суспензию малослойного графена получали жидкофазной сдвиговой эксфолиацией графита в статор-ротор аппарате. Аппарат состоит из цилиндрического статора с внутренним диаметром 40 мм и высотой 50 мм, внутри которого расположен ротор с подвижными радиальными лопастями. Учитывая результаты предшествующих экспериментов, концентрация графита в исходной суспензии составляла 50 мг/мл, а частота вращения ротора 10 000 об/мин, время обработки 25 мин.

Исследован процесс модифицирования цементных смесей малослойным графеном, полученным жидкофазной сдвиговой эксфолиацией графита. Модифицирование осуществляли путем использования в качестве воды затворения суспензии с концентрациями малослойного графена по отношению к цементу от 0,02 до 0,07%. Экспериментально установлено, что максимальная относительная прочность достигается при концентрации 0,05-0,06 мас.% (по отношению к цементу) и дальнейшее увеличение концентрации не приводит к увеличению прочности. В частности, прочность на сжатие повышается в 1,7-2,5 раза, а на изгиб в 1,2-1,5 раза. Особо следует отметить, что по мере увеличения прочности на сжатие контрольного образца (немодифицированного малослойным графеном) эффективность модифицирования снижается.

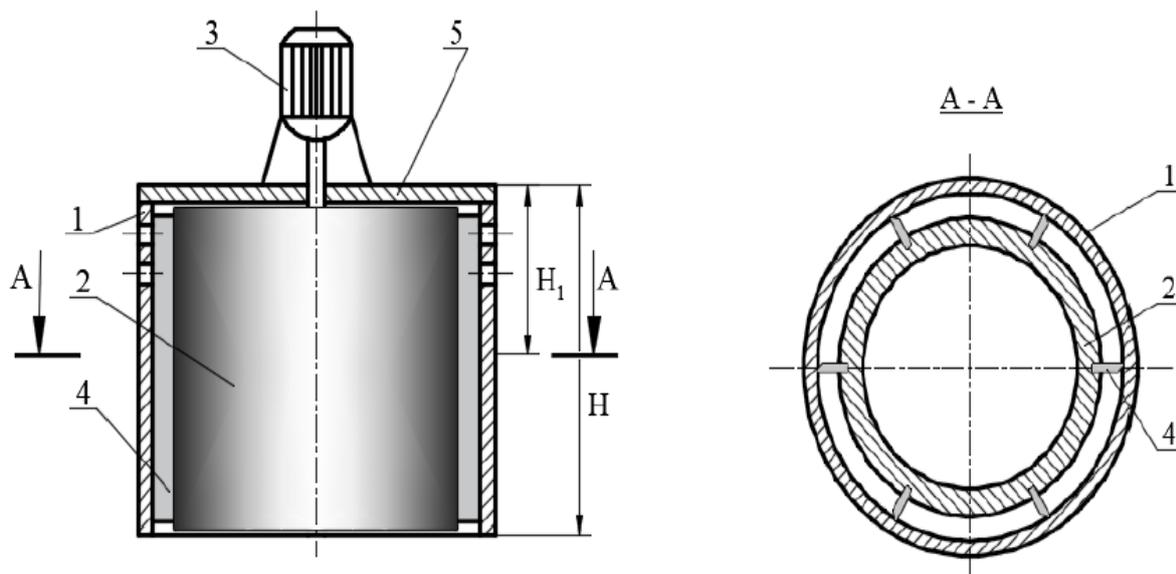


Рисунок 1. Схема аппарата «статор-ротор»:

1 – статор; 2 – ротор; 3 – привод; 4 – подвижная лопасть; 5 – крышка.

В работе на основании анализа работ по наномодифицированию бетона сделан вывод о том, что общей закономерностью модифицирования бетона наноразмерными материалами является резко выраженная экстремальная концентрационная зависимость технических свойств с максимумом при сотых и тысячных долях процента. Кроме этого отмечается, что высокая технико-экономическая эффективность применения наноразмерных частиц для модифицирования строительных материалов не вызывает сомнений.

Список используемых источников.

1. Толчков, Ю.Н. Модифицирование строительных материалов углеродными нанотрубками: актуальные направления разработки промышленных технологий / Ю.Н. Толчков, З.А. Михалева, А.Г. Ткачев, А.И. Попов // Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал. – М.: ЦНТ «НаноСтроительство». 2012. – № 6. – С. 57 – 68.

2. Кондаков, А.И. Модификация матрицы строительного композита функционализированными углеродными нанотрубками / А.И. Кондаков, З.А. Михалева, А.Г. Ткачев, А.И. Попов, С.Ю. Горский // Нанотехнологии в строительстве. - 2014. – Том 6, № 4. – С. 31 – 44.

3. Панина, Т.И. Эффективность применения комплексной наномодифицирующей добавки на основе цеолитов в строительных материалах / Т.И. Панина, Ю.Н. Толчков, А.Г. Ткачев, З.А. Михалева, Е.В. Галунинин, Н.Р. Меметов, А.И. Попов // Нанотехнологии в строительстве. – 2016. – Том 8, № 5. – С. 116 – 132.

4. Ткачев, А.Г. Промышленные технологии и инновации. Оборудование для nanoиндустрии и технология его изготовления / А.Г. Ткачев, И.Н. Шубин, А.И. Попов. – Тамбов, 2010. – 132 с.

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОСТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НОВОГО ЖАРОПРОЧНОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ

Зайнуллин Р.И.¹, Ганеев А.А.², Шахов Р.В.², Логунов А.В.³, Мухтаров Ш.Х.²

¹Уфимский Государственный Авиационный Технический Университет, г. Уфа;

zayn.rishat@yandex.ru

²Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа;

³ПАО «ОДК-Сатурн», г. Рыбинск

Введение

С повышением температуры деформации промышленных сплавов и сужением допустимого интервала температур для деформации необходим материал штампового инструмента, пригодного для длительной работы при в интервале температур 1000-1200°C. В качестве такого материала может использоваться сплав на никелевой основе с добавлением редкоземельных элементов и легированием тугоплавкими элементами, которое обеспечивало бы эффективное упрочнение твердого раствора [1-2]. Однако более высокое легирование такими элементами, особенно рением, может привести к образованию топологически плотноупакованных (ТПУ) фаз при длительном воздействии высоких температур [4-5]. В некоторых работах показывается как отрицательный, так и положительный эффект ТПУ фаз на механические свойства [5]. Таким образом, легирующие добавки должны быть точно подобраны, чтобы избежать образования нежелательных фаз.

Настоящая работа посвящена изучению микроструктуры и механических свойств нового литого сплава на никелевой основе с высоким содержанием Re и W.

Материал и методики исследования

В качестве исходного материала взят никелевый сплав состава Ni-13(Al,Ta,Ti,Nb) 27(Cr,Co,Mo,W,Re,Si,C,B) (вес. %). Материал слитка в литом состоянии подвергли обработке на твердый раствор при температуре 1290 °C и двухступенчатому старению при температурах 1050 °C и 950 °C. Из термически обработанного сплава вырезали образцы Ø8×12 мм на сжатие. Испытания на сжатие проводились в диапазоне температур 900-1150°C. Для микроструктурных исследований использовали сканирующую электронную микроскопию (СЭМ) в режиме обратно-рассеянных электронов (BSE). Анализ с помощью дифракции обратно-рассеянных электронов (EBSD анализ) с шагом сканирования 11 мкм. При этом выделения γ' фазы принимались за γ фазу. Анализ EBSD проводился с использованием программного обеспечения CHANNEL 5. Границы зерен, имеющие угол разориентации менее 2°, были исключены из рассмотрения с учетом точности измерений. Границы зерен, имеющие угол разориентации более 15°, рассматривались как границы больших углов.

Результаты и обсуждение

На рисунке 1а представлена дендритная микроструктура литого сплава. Микроструктура состояла из γ фазы с большим содержанием выделений γ' фазы размером 0,5-1 мкм, крупных частиц γ' фазы (рисунок 1в) размером до 20 мкм (рисунок 1б), выделениями ТПУ фаз (светлые вытянутые выделения, рисунок 1а,б) и карбидами размером до 5 мкм. Выделения мелкой γ' -фазы были равномерно

распределены по микроструктуре (рисунок 1в), как во всех жаропрочных никелевых сплавах [1, 2].

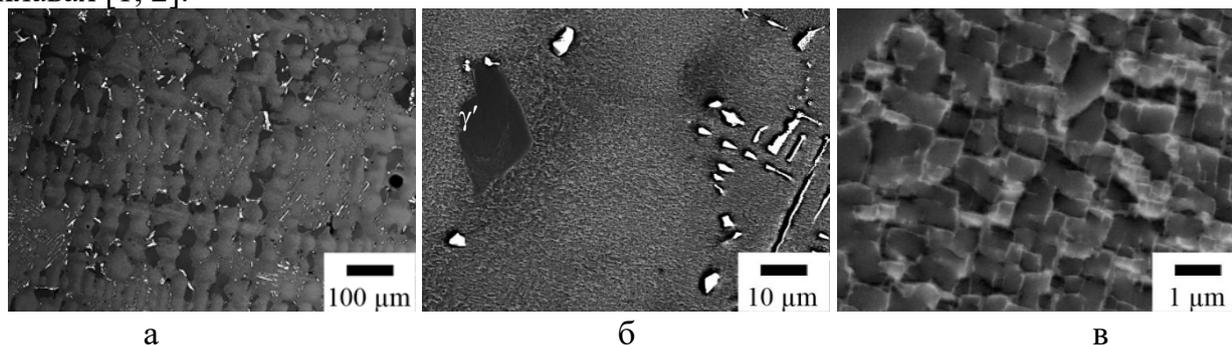


Рисунок 1. Изображения BSE сплава в исходном литом состоянии при различных увеличениях.

На рисунке 2 показаны изображения BSE сплава после термической обработки. Видно, что дендриты полностью растворились, и сформировалась крупнозернистая структура со средним размером γ зерен более 500 мкм. Выделения ТПУ фаз и карбиды, вероятно, частично растворились. По границам γ зерен крупные выделения γ' фазы выросли до 100 мкм (рисунок. 2а). Пластинчатые выделения ТПУ фаз длиной 2-3 мкм равномерно распределены по микроструктуре. Выделения γ' фазы размером 0,5-1 мкм округлились, по их границам видны, вероятно, выделения мелких карбидов [1,2], образовавшихся при высокотемпературном старении.

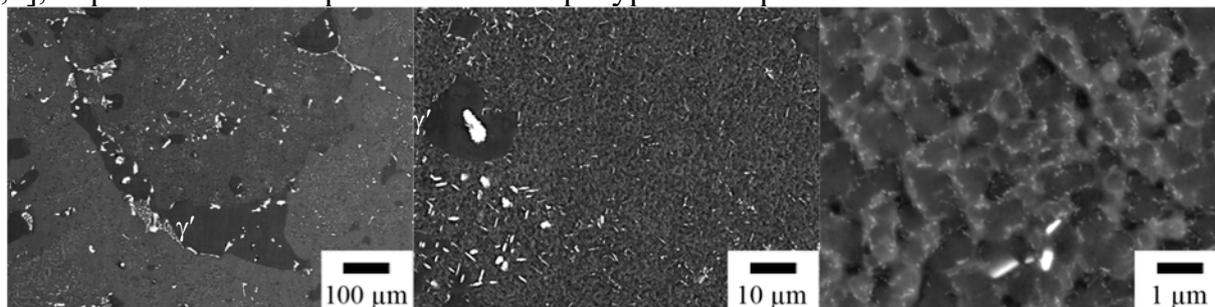


Рисунок 2. Изображения BSE сплава после ТО при различных увеличениях.

EBSD анализ подтвердил, что размер γ зерен после проведения термической обработки около 1000 мкм (рисунок 3а). На рисунке 3б показаны зависимости истинного напряжения от степени деформации сплава после термической обработки. Истинные напряжения исследуемого поликристаллического сплава при температурах 1100 и 1150°C оказались сравнимы с интерметаллидным сплавом ВКНА-1В, а при температурах 900 – 1000°C на 350- 200 МПа выше [5].

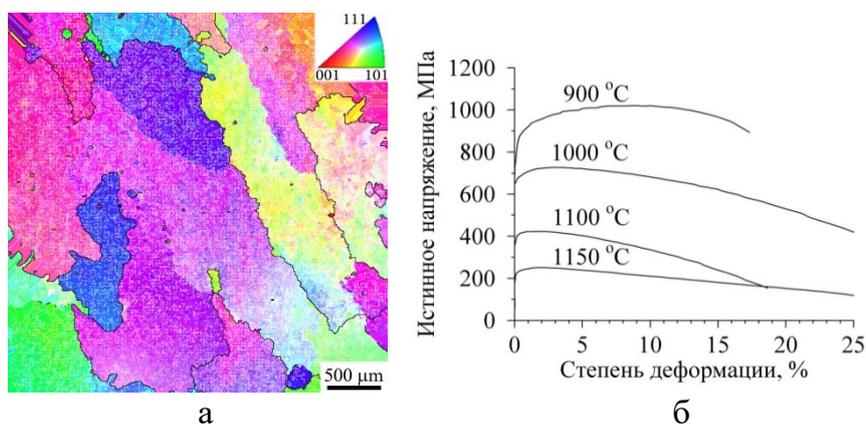


Рисунок 3. Карта ориентации EBSD сплава (а), зависимости истинных напряжений от степени деформации (б), полученные для сплава после термической обработки.

Выводы

Литой никелевый сплав состава Ni-13(Al,Ta,Ti,Nb) 27(Cr,Co,Mo,W,Re,Si,C,B) (вес. %) подвергнутый термической обработке имеет крупнозернистую микроструктуру с размером γ зерен около 1000 мкм, крупными размером до 100 мкм и мелкими около 0,5-1 мкм выделениями γ' фазы, а также ТПУ фазы. При температуре 1150°C сплав показал истинные напряжения течения на сжатии 250МПа, что достаточно для деформации перспективных высоколегированных никелевых сплавов.

Список используемых источников.

1. Reed R.C. The superalloys: Fundamentals and Applications / R.C. Reed // Cambridge University Press. – 2006. – P. 372.
2. Rae C.M.F., Karunaratne M.S.A., Small C.J., Broomfield R.W., Jones C.N., Reed R.C. Topologically close packed phases in an experimental rhenium-containing single crystal superalloy. Superalloys 2000. TMS, 2000, p. 767-776.
3. Pyczak F., Neumeier S., Göken M. Temperature dependence of element partitioning in rhenium and ruthenium bearing nickel-base superalloys, Mater. Sci. Eng. A A527 (2010) 7939-7943.
4. Darolia R., Lahrman D.F., Field R.D. Formation of topologically closed packed phases in nickel base single crystal superalloys. Superalloys 1988. TMS, 1988, p. 255-264.
5. Бунтушкин В.П., Каблов Е.Н., Бабылева О.А. Новый литейный сплав ВКНА-1В. Авиационная промышленность, №12, 1991 <https://www.viam.ru/public/files/1991/1991-200868.pdf>

Исследование выполнено в соответствии с государственным заданием ИПСМ РАН (AAAA-A17-117041310215-4). Работа выполнена на оборудовании Центра коллективного пользования «Структурные и физико-механические исследования материалов» при Институте проблем сверхпластичности металлов Российской академии наук.

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ ТУГОПЛАВКИХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В СИСТЕМЕ Ti-C, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СВС-ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Турганов З.Т., Столин А.М., Бажин П.М.

*ФГБУН Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения
им. А.Г.Мерджанова РАН, г. Черноголовка, Россия
Zangar.turganov@mail.ru*

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) является одним из перспективных направлений современного материаловедения. Отличительной особенностью получения порошков тугоплавких соединений методом СВС является проблема измельчения продуктов после синтеза, которые обычно получают в виде спека, обладающего высокой твердостью. В связи с этим требуется дополнительная технологическая операция по измельчению спека, которая осуществляется в шаровых мельницах и атриторах. Ввиду высокой твердости СВС-материалов, измельчение требует больших усилий, при этом порошок загрязняется металлом в результате выработки. В данной работе показаны перспективные возможности получения порошков тугоплавких соединений и изделий из них, открывающиеся при использовании СВС в условиях совместного действия сдвигового деформирования и давления.

Идея использования сдвига и давления для получения порошков тугоплавких бескислородных соединений реализована в так называемом процессе СВС-измельчения. Суть этого процесса заключается в том, что разогретые в ходе синтеза горячие продукты горения измельчаются за счет приложения разного рода механических воздействий. При подобном подходе появляется возможность получения порошков тугоплавких соединений в одну технологическую стадию, избегая недостатков измельчения холодных продуктов синтеза. В данной работе показаны результаты использования совместного действия механических воздействий на процесс горения в режиме СВС, приведена рентгенофазовый анализ и так же микроструктура синтезированных порошковых материалов.

По описанному методу проведены эксперименты по СВС-измельчению порошка Ti – C. Поскольку СВС протекает за секунды, большое влияние на ход постпроцессов и формирование структуры синтезированного материала оказывает время задержки перед приложением внешних воздействий. Было изучено влияние времени задержки от начала инициирования реакции горения до момента приложения внешних нагрузок на гранулометрический состав синтезированного материала. По полученным результатам сканирующего электронного микроскопа показано, что в режиме СВС с механическими воздействиями образуются карбидные макрочастицы размером до 50 – 60 мкм, имеющие губчатую структуру. Эти частицы состоят из мелких отдельных карбидных зерен размерами менее 1 мкм, как показано на рисунке 1. Частицы карбида титана округлого и оскольчатого характерного вида не встречаются, в отличие от традиционного синтеза без механических воздействий.

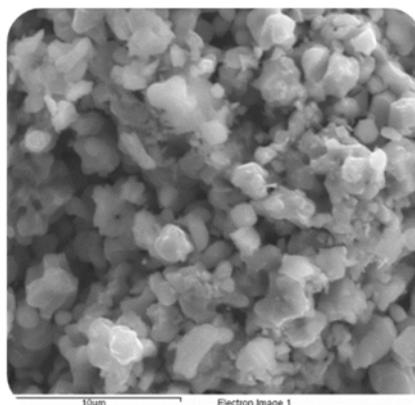


Рисунок 1. Микроструктура зерен TiC, полученных методом СВС-измельчения.

Результаты рентгенофазового анализа показали, что механические воздействия в режиме СВС-измельчения не приводят к образованию новых фаз, не изменяют параметры кристаллической решетки, которая является кубической с $a = 0,43274$ нм, рисунок 2.

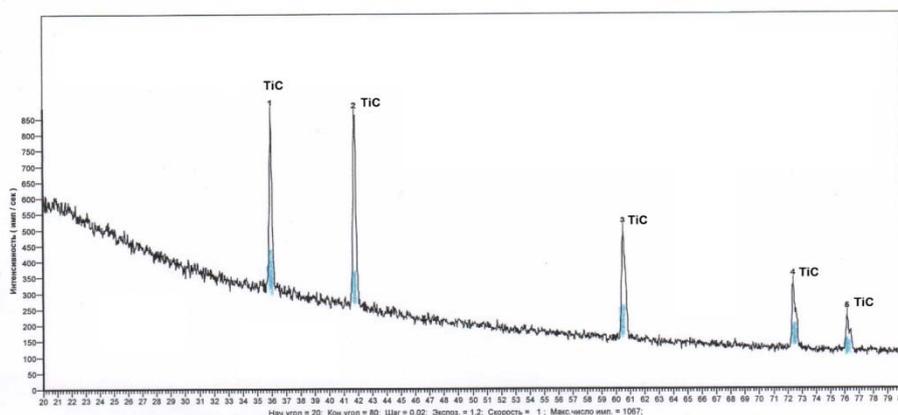


Рисунок 2. Результаты рентген фазового анализа с механическими воздействиями вращение ротора 120 об/мин, задержка времени 5 с.

Выводы

На основе проведенных экспериментов установлено, что деформационные параметры, и прежде всего, скорость деформирования, оказывают сильное влияние на структурообразование материала: изменение размера синтезированных частиц. Меняя параметры механических воздействий, таких как частота вращения ротора и время задержки, можно регулировать качество получаемого порошка и его морфологию.

Список используемых источников.

1. Stolin A.M. Mechanisms of Deformation Influences on Combustion products // Stolin A.M., Stelmakh L.S. // Abstract book. IX International Symposium on Self-Propagating High – temperature Synthesis. Dijon. – France. – 2007. – P. 1 – 5
2. Stolin A.M., Stelmakh L.S. Influence of deformation factors on the products of combustion of porous powder materials. – 2013. – P. 1 – 13.

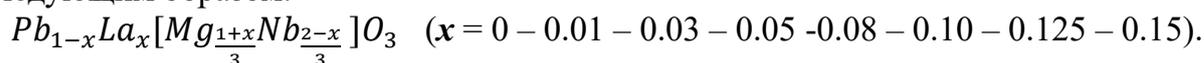
КАТИОННОЕ УПОРЯДОЧЕНИЕ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ СИСТЕМЫ МАГНИОНИОБАТ - ТИТАНАТ СВИНЦА, ЛЕГИРОВАННЫХ ИОНАМИ ЛАНТАНА

Бикяшев Э.А., Дармаева Н.Б., Побежимова А.А.
Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону,
nadezhda.darmaeva2013@mail.ru

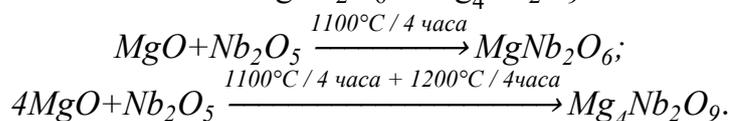
Твердые растворы на основе магнониобата свинца ($PbMg_{1/3}Nb_{2/3}O_3$; *PMN*) долгие годы остаются объектами активных исследований. С одной стороны это объясняется продолжающимся теоретическим анализом и экспериментальным изучением уникальной структуры низкотемпературной полярной фазы, система диполь-дипольных взаимодействий в которой обуславливает релаксорное поведение. Экспериментально установлен факт пространственной композиционной неоднородности магнониобата свинца.

Целью настоящей работы было изучение механизма реализации и роли термической предыстории на признаки катионного упорядочения.

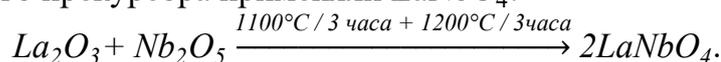
Состав материалов и концентрационный интервал легирования может быть описан следующим образом:



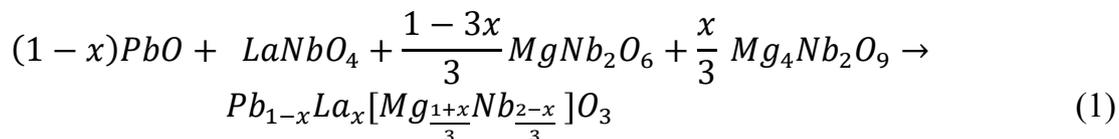
Для того чтобы предотвратить загрязнение искомым продуктом примесными пирохлорными фазами на основе ниобатов свинца, синтез материалов выполняли по модифицированной колумбитной технологии, заменив оксиды магния и ниобия предварительно полученными ниобатами $MgNb_2O_6$ и $Mg_4Nb_2O_9$:



Принимая во внимание высокую гигроскопичность оксида лантана La_2O_3 , в качестве *La*-содержащего прекурсора применяли $LaNbO_4$:



Синтез твердых растворов выполняли в ходе двухстадийного обжига ($800^\circ C$ [3 часа]/ $900^\circ C$ [2 часа] + $1000^\circ C$ [2 часа]) смеси оксида PbO и стехиометрических количеств ниобатов:



Для компенсации потерь оксида свинца в процессе синтеза и последующего спекания в реакционную смесь вводили 4масс.% избытка PbO , обжиги выполняли в присутствии PbO -содержащей засыпки.

Материалы для дифракционных исследований процессов катионного упорядочения готовились по-разному:

- с охлаждением от температур спекания ($1250^\circ C$ /4 часа) в выключенной печи;
- с программируемым охлаждением ($5^\circ C$ /мин) от температуры спекания до $700^\circ C$, затем в интервале $700-500^\circ C$ скорость охлаждения составила $25^\circ C$ /час, после чего печь отключалась.

На рис. 1 представлены фрагменты дифрактограмм систем $(1-x)PMN - xLMN$

до $x=0.15$, охлажденных от температуры спекания со скоростью остывания выключенной печи. Видно, что примененная технология синтеза твердых растворов и контроль PbO -стехиометрии в процессе спекания керамики позволили избежать появления нежелательных пироклорных фаз. После медленного охлаждения в некоторых образцах пироклорная примесь присутствовала, но её содержание не превышало 1-2%.

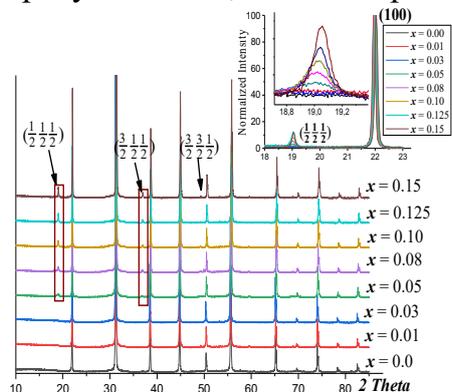


Рисунок 1. Дифрактограммы систем $(1 - x)PMN - xLMN$ до $x=0.15$.

С ростом степени легирования магнониобата свинца происходит усиление интенсивности рефлексов с $(\frac{1}{2}\frac{1}{2}\frac{1}{2})$ индексами, это говорит о постепенном увеличении степени упорядоченности и укрупнении упорядоченных областей.

Следует заметить, что при программируемом охлаждении (рис.2а-2б), во-первых, сверхструктурные отражения обнаруживаются раньше (начиная с $x = 0.02$), во-вторых, значительно растет их интенсивность, а в образцах, охлажденных со скоростью остывания выключенной печи процессы не успевают за изменением параметра состояния, и это охлаждение представляют собой жесткое и более щадящее закаливание. Соответственно, можно утверждать, что образцы с $x \geq 0.02$, полученные с программируемым охлаждением находятся в гораздо более равновесном состоянии.

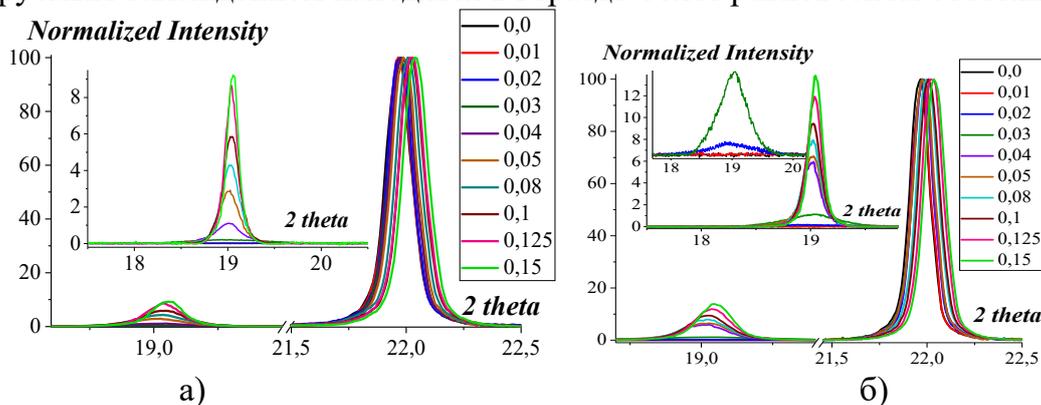


Рисунок 2. Дифрактограммы системы при программируемом охлаждении.

Их качественный анализ и результаты количественной обработки показали, что ориентировочно в интервале $0.02 \leq x \leq 0.04$ (в зависимости от термической предыстории) наблюдается активный рост средних размеров соответствующих им областей когерентного рассеяния (рис.3) и постепенному переходу от модели "spacecharge", с повышением легирования ионами La^{3+} , к полностью упорядоченной модели "random-layer".

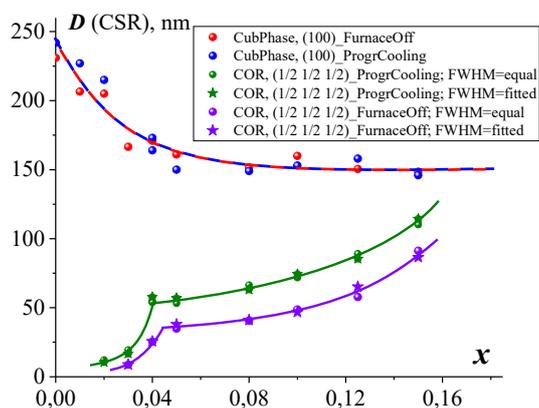


Рисунок 3. Когерентное рассеяние.

Список используемых источников.

1. Cross L. E. *Ferroelectrics* .1987. 76, 241
2. Colla E.V., Koroleva E. Yu., Okuneva N. M., Vakhrushev S. B. Long-time relaxation of the dielectric response in lead magnoniobate. *Phys. Rev. Lett.* 1995. 74.1681-1684.
3. Bobnar, V., Kutnjak, Z., Pirc, R., Blinc, R., Levstik, A. Crossover from glassy to inhomogeneous-ferroelectric nonlinear dielectric response in relaxor ferroelectrics. *Phys.Rev. Lett.* 2000.84. 5892-5895.
4. Westphal, V., Kleemann, W., Glinchuk, M. D. Diffuse phase transitions and random-field-induced domain states of the “relaxor” ferroelectric $\text{PbMg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3}\text{O}_3$. *Phys. Rev.Lett.* 1992. 68. 847.
5. Jeong, I. K., Darling, T. W., Lee, J. K., Proffen, Th., Heffner, R. H., Park, J. S., Hong, K. S., Dmowski, W., Egami, T. Direct observation of the formation of polar nanoregions in $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ using neutron pair distribution function analysis. *Phys. Rev. Lett.* 2005. 94.147602.
6. Xu, G., Shirane, G., Copley, J. R. D. , Gehring, P. M. Neutron elastic diffuse scattering study of $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$. *Phys. Rev. B* 2004. 69. 064112.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВРЕМЕНИ НА ФОРМИРОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЯ ТИТАНОВОГО СПЛАВА СО СПЛАВОМ Х2Н98 В ПРОЦЕССЕ СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ

Хазгалиев Р.Г., Имаев М.Ф., Мулюков Р.Р., Суфиярова И.И.
Институт проблем сверхпластичности металлов РАН,
г. Уфа, 450001, ул. Халтурина, 39

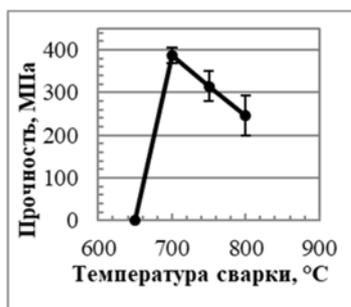
Совмещение высоких коррозионных и механических свойств титанового сплава и прочности стали в одном изделии позволит расширить технологические возможности машиностроения, аэрокосмической и химической промышленности. Диффузионная сварка при соединении как однородных, так и разнородных материалов, в частности проявляющих сверхпластичность, может быть эффективным технологическим процессом [1-4]. Однако получение надежных соединений этих сплавов связано с рядом трудностей, в частности, с образованием хрупких интерметаллидов системы Ti-Fe. Одним из способов преодоления этой проблемы является использование никелевой прослойки [5-9].

При сварке давлением на границе титанового сплава и никеля образуются сплошные слои интерметаллидов Ti_2Ni , $TiNi$, $TiNi_3$. Именно по этим слоям и происходит разрушение [5,6]. Наиболее вероятной причиной разрушения является скачок коэффициента теплового расширения при аустенитно-мартенситном превращении в слое $TiNi$, в результате которого на стадии охлаждения с температуры сварки в слоях Ti_2Ni и $TiNi_3$ образуются трещины [5,6]. Использование прослойки из сплава Х2Н98 привело к легированию слоя $TiNi$ хромом и смещению температурного интервала аустенитно-мартенситного превращения в сторону более низких температур, в результате чего прочность диффузионного соединения при комнатной температуре увеличилась [6]. Сварка давлением в 4 МПа титанового сплава ПТЗВ и нержавеющей стали 12Х18Н10Т через прослойку сплава Х2Н98 при $T = 700$ °С в течение 20 мин позволила получить соединение прочностью $\sigma_B = 390 \pm 20$ МПа.

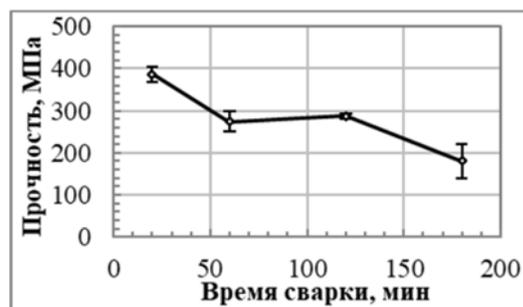
Целью данной работы было исследовать влияние температуры и времени сварки давлением на прочность соединения титанового сплава ПТЗВ и нержавеющей стали 12Х18Н10Т через прослойку сплава Х2Н98.

Повышение температуры 20-минутной сварки привело к снижению прочности соединения (рис. 1а), а увеличение времени сварки при $T = 700$ °С привело к снижению прочности соединения (рис. 1б). Рассмотрим структурные причины такого изменения свойств.

Исследование микроструктуры зоны соединения выявило следующую закономерность. После сварки при $T = 650$ °С обнаружена цепочка пор по границе $TiNi_3/X2H98$ (рис. 2а). После сварки при 700 °С пор и трещин в зоне шва не видно (рис. 2б). После сварки при 750 °С обнаружена трещина, которая располагалась в слое $TiNi_3$ и на поверхности раздела $TiNi_3 / X2H98$ (рис. 2в), а после сварки при 800 °С – в слое Ti_2Ni (рис. 2г).



(а)



(б)

Рисунок 1. Зависимость прочности соединения титанового сплава и нержавеющей стали через прослойку X2H98: (а) от температуры сварки давлением в течение 20 мин, (б) от времени сварки при 700 °С.

Исследование локального химического состава показало, что в составе интерметаллидов титана и никеля присутствует Cr. Так в слое TiNi содержание Cr после сварки при $T=700, 750$ и 800 °С составляет примерно 0,2%, 0,25%, и 0,6%, соответственно.

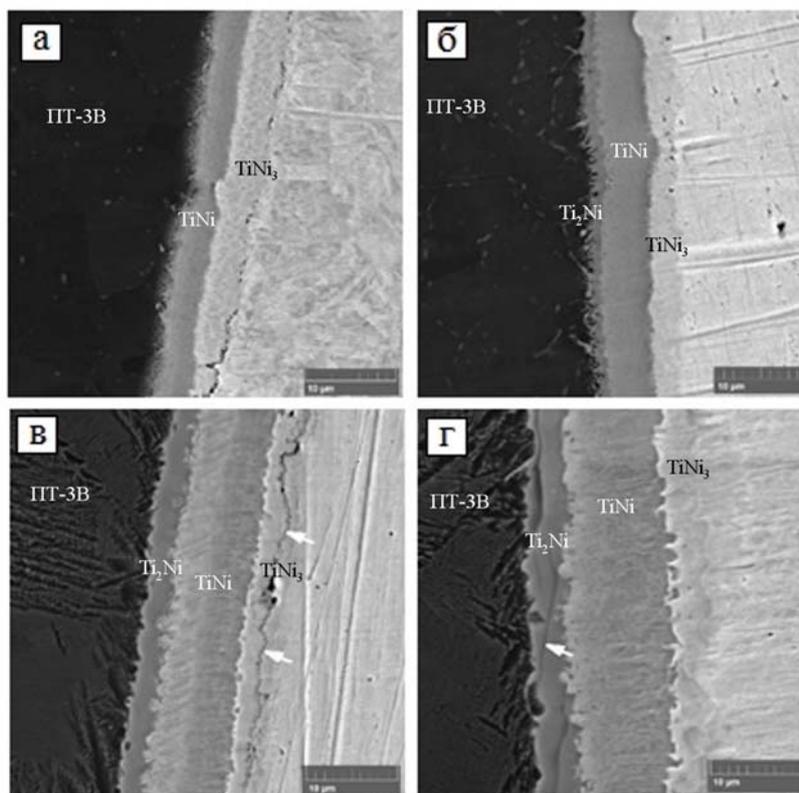


Рисунок 2. Микроструктура зоны соединения титановый сплав/X2H98 после сварки в течение 20 мин при температуре: (а) 650 °С, (б) 700 °С, (в) 750 °С, (г) 800 °С. Стрелками показаны трещины в слоях Ti₃Ni/X2H98 (в) и Ti₂Ni (г). Косой шлиф.

На рис. 3 представлены изменения толщины интерметаллидных слоев в зависимости от режима сварки. По мере увеличения температуры сварки толщина слоев медленно растет до 700°С. Выше 700°С скорость роста толщины слоев увеличивается. При 800°С общая толщина слоев не превышает 12 мкм. При сварке при 700°С толщина слоев быстрее всего растет при небольших малых временах выдержки. Выше 60 мин скорость роста толщины слоев уменьшается.

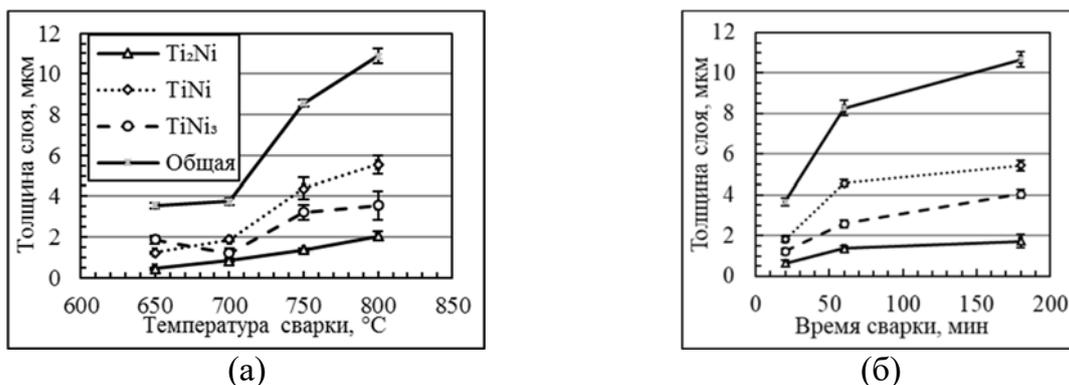


Рисунок 3. Зависимость толщины интерметаллидных слоев от: (а) температуры сварки в течение 20 мин, (б) времени сварки при 700 °С.

Наибольшая прочность, как и в случае никелевой прослойки, наблюдается после сварки при 700 °С (20 мин), и разрушение проходит по граничной зоне Х2Н98/нержавеющая сталь, тогда как при использовании прослойки из никеля разрушение проходит по интерметаллидным слоям $TiNi_3$ и Ti_2Ni , что показано в работе [6]. Ресурса для увеличения прочности соединения по поверхности Х2Н98/нержавеющая сталь путем увеличения времени сварки нет, так как увеличение времени выдержки более 20 мин при 700 °С приводит к уменьшению σ_B (см. рис.1б), при этом разрушение происходит по границе $TiNi_3$ /Х2Н98, а также слою Ti_2Ni . Снижение времени сварки в исследуемом интервале температур может привести к уменьшению качества соединения, т.к. снижается общая степень деформации в зоне контакта Х2Н98/нержавеющая сталь, по которому уже происходит разрушение. Увеличению σ_B может способствовать увеличение сварочного давления, т.к. это увеличит деформации в зоне образования соединений и снизит время сварки. Кроме того, важным параметром является толщина прослойки. Исходная толщина прослойки Х2Н98 составляла 200 мкм. Но, даже при $T=800$ °С суммарная толщина диффузионных слоев не превышает 12 мкм, а прочность соединения приблизилась к нижней границе прочности никеля (450-640 МПа). Поэтому представляется важным уменьшить толщину прослойки.

Таким образом, при использовании прослойки из сплава Х2Н98 наибольшая прочность сварного соединения на растяжение, составляющая $\sigma_B=390\pm 20$ МПа, достигается после сварки при $T=700$ °С, 20 мин. Повышение времени выдержки при 700 °С или увеличение температуры приводят к снижению прочности. Для увеличения прочности соединения, по-видимому, необходимо увеличить сварочное давление и уменьшить толщину прослойки.

Список используемых источников.

1. Сафиуллин Р.В. Сверхпластическая формовка и сварка давлением многослойных полых конструкций. Часть I. Международный опыт // Письма о материалах. 2012. Т. 2. № 1. С. 32-35.
2. Сафиуллин Р.В. Сверхпластическая формовка и сварка давлением многослойных полых конструкций. Часть II. Опыт ИПСМ РАН // Письма о материалах. 2012. Т. 2. № 1. С. 36-39.
3. Лутфуллин Р.Я. Сверхпластичность и твердофазное соединение наноструктурированных материалов. Часть 1. Влияние размера зерна на твердофазную свариваемость сверхпластичных сплавов // Письма о материалах. 2011. Т. I. № 1. С. 59-64.

4. Лутфуллин Р.Я. Сверхпластичность и твердофазное соединение наноструктурированных материалов (Обзор). Часть II. Физическая модель формирования твердофазного соединения в титановом сплаве в условиях низкотемпературной сверхпластичности // Письма о материалах. 2011. Т. 1. № 2. С. 88-91.

5. Хазгалиев Р.Г., Мухаметрахимов М.Х., Имаев М.Ф., Шаяхметов Р.У., Мулюков Р.Р. Особенности разрушения твердофазного соединения титановой сплав-никель-нержавеющая сталь // Известия высших учебных заведений. Физика. 2015. Т. 58. № 6. С. 74–79.

6. Хазгалиев Р.Г., Имаев М.Ф., Мулюков Р.Р. Исследование возможности упрочнения соединения титанового сплава с коррозионностойкой сталью, полученного диффузионной сваркой через промежуточную прослойку // Деформация и разрушение материалов. 2017. № 5. С. 18–24.

7. Р.Г. Хазгалиев, М.Х. Мухаметрахимов, Р.Р. Мулюков, Р.Я. Лутфуллин. Твердофазное соединение титанового сплава с нержавеющей сталью через наноструктурированную прослойку из никелевого сплава // Перспективные материалы. 12. 2011. С. 529-534.

8. Uchil J., Mohanchandra K.P., Ganesh Kumara K., Mahesh K.K., Murali T.P. Thermal expansion in various phases of Nitinol using TMA // Physica B. 1999. Vol. 270. P. 289–297.

9. K. Otsuka, X. Ren, Physical metallurgy of Ti-Ni-based shape memory alloys // Progress in Materials Science. 2005. Vol. 50. P. 511–678.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИПСМ РАН №АААА-А-17-117041310221-5.

МЕТОД СОЗДАНИЯ ТОНКИХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЕНОК В ВАКУУМЕ

Лоскутова А.Д.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
anya.loskutova.94@mail.ru

Проблемой создания тонких ферромагнитных пленок методом напыления в вакууме является получение требуемого химического состава и получение однородной структуры. Решения проблемы широко не описаны в литературе и часто упоминаются методы магнетронного осаждения. В работе представлен метод терморезистивного вакуумного напыления, который обеспечивает достойное качество ферромагнитных пленок.

Для создания тонких ферромагнитных пленок был использован модифицированный метод резистивного термического испарения, где испаряемый магнитный материал (мишень) находится в намагниченном состоянии (рисунок 1). Метод обеспечивает меньшие энергозатраты, чем магнетронное испарение. Магнитные свойства получаемых пленок данным методом сравнимы со свойствами пленок, создаваемых магнетронным испарением.

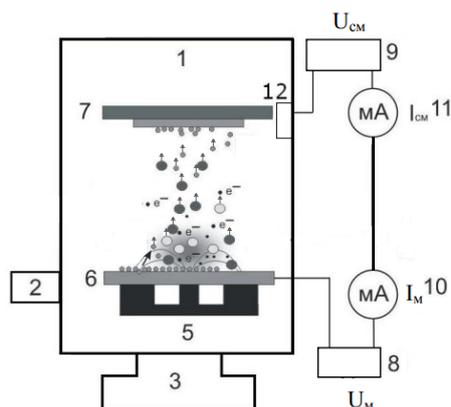


Рисунок 1. Схематическое изображение установки резистивного термического испарения: 1 – Рабочий объем, при воздушном давлении $4,8 \cdot 10^{-4}$ Па; 2 – вакууметр; 3 – масляная система откачки, состоящая из форвакуумного и диффузионного насосов; 5 – тугоплавкое основание; 6 – испаряемый магнито-твердый материал; 7 – держатель с закрепленной на нем подложки СТ-50-1; 8 – источник постоянного напряжения; 9 – источник постоянного тока для фотометрического датчика контроля толщины; 10,11 – миллиамперметр; 12 – фотометрический датчик контроля толщины.

Резистивное термическое испарение проходило при высоком вакууме ($P \approx 4,8 \cdot 10^{-4}$ Па), при напряжении нагрева испарителя $\approx 5,7$ кВ, что обеспечивает испарение мишени, но при этом температура испаряемого материала не превышает точку Кюри. Таким образом, в мишени происходит фазовый перехода II рода, а следовательно магнитное поле повышенной напряженности мишени в области существования возбужденного электрического заряда остается неизменным, что благоприятно сказывается на процессе распыления материала.

Помимо этого при формировании пленочной структуры происходит ориентация ферромагнитных частиц λ' -фазы перпендикулярно направлению внешнего магнитно-

го поля, индуцированного магнитно-твердыми вставками мишени, что также сказывается на кристаллической анизотропии.

Микрофотографии структуры мишени представлены на рисунке 2а. Получаемые пленки сохраняют фазовый состав испаряемого материала, но имеют дисперсную зерновую структуру (рисунок 2б), похожую на структуру мишени.

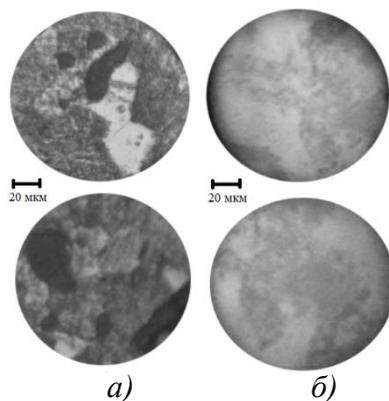


Рисунок 2. Снимки на металлографическом микроскопе:
а – снимки мишени; *б* – снимки тонкой магнитной пленки.

Это уменьшит ее коэрцитивную силу, что благоприятно скажется на свойствах магнитной пленки для использования их в различных устройствах. Структура пленок исследовалась и с применением туннельной сканирующей техники [1,2], которая подтверждает результат, полученный оптической микроскопией.

Список используемых источников.

1. Королев А.П. Исследование магнитных материалов с помощью туннельной микроскопии / А.П. Королев, И.С. Филатов, В.С. Верченков, А.В. Никитин // Международная научно-практическая конференция имени В.И. Вернадского «Инженерные технологии для устойчивого развития и интеграции науки, производства и образования», 2019.

2. Проценко, И.Г. Использование сканирующей зондовой микроскопии для изучения структуры и свойств постоянных магнитов / И.Г. Проценко, А.П. Королев, И.С. Филатов // Вестник ТГТУ. 2015. Том 21. № 4. - С.701-708.

ТЕХНОЛОГИЯ АРМИРОВАНИЯ БЕТОНА ПРОВОЛОКОЙ 5ВРП1400

Мажаров А.В., Бутягин М.А., Королев А.П.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
korolevanpal@yandex.ru

Несмотря на хорошие показатели прочности, бетонные конструкции легко деформируются, прекрасно справляясь с усадкой и сжатием, но демонстрируя ухудшение характеристик в 10-12 раз при растяжении. Неравномерные нагрузки в зонах растяжения провоцируют трещины, что в дальнейшем ведет к разрушению строения. Для повышения износоустойчивости зданий и препятствования преждевременной коррозии используется метод армирования.

Для начала нужно рассмотреть основные свойства сочетания двух материалов. Благодаря своим физическим характеристикам бетон дополняет сталь, защищает от коррозии, перегревов. А за счет арматуры в бетоне значительно повышается стойкость материала к общим и локальным деформациям, перепадам температур, правильно распределяются нагрузки. Основные показатели прочности бетонных конструкций: сжатие, растяжение, сдвиг. В разных состояниях материал демонстрирует иные значения данных параметров. Он очень прочен при сжатии, поэтому применяется при возведении перекрытий, выдерживающих постоянно сильное сжатие. Но если, кроме этого фактора, работает еще и растяжение, обязательно применяется железобетон, так как самостоятельно выдержать нагрузку бетон не может. Армированный бетон обладает большим запасом прочности на растяжение, так как используемая в его производстве арматура сделана из прочной стали. При правильном соединении двух материалов они обеспечивают максимальные показатели, делая здания и сооружения прочными и долговечными.

Прочность всей железобетонной конструкции определяется правильностью связи двух материалов. Самым важным является то, каким образом бетон отдает появляющееся в результате нагрузки напряжение стальной арматуре. Если в процессе энергия не теряется, прочность будет максимальной. Здесь нужно, чтобы не было сдвига связи – допускается показатель, равный 0.12 миллиметра. Соединение арматуры и бетона должно быть прочным, точным и полностью недвижимым. Важно правильно выполнить теоретические расчеты и верно реализовать их на практике, соблюдая все правила производства железобетонных конструкций.

Армированный бетон – это прочный и надежный материал, который используется в самых разных сферах строительства. В соответствии с поставленными задачами к армирующей системе предъявляют такие основные требования: хорошая механическая прочность, адгезия с массой бетона, малогабаритность, небольшой вес, близость коэффициента линейного температурного расширения к показателям бетона, стойкость к влиянию компонентов раствора. Стальные прутья и сетки в значительной степени улучшают свойства строительного материала, для чего бетон армируют практически всегда в процессе выполнения сложных работ. В основном усиливают балки, плиты и колонны.

Элементы, где есть нагрузки на бетон: балки – напряжение однородное, растяжение больше действует на нижнюю часть, которую укрепляют каркасом, усиливая сопротивление растяжению и передачу его стали. Плита – опирается на 2 или 4 стороны, наибольшее растяжение посередине, сетку крепят с двух сторон, укрепляя их

одинаково. Армирование бетона осуществляется несколькими методами: дисперсное, с использованием сетки, монолитное (стержневое, каркасное). Обычно армируют фундамент, конструкции жилых домов, монолитные сооружения, перекрытия и т.д.

Чтобы понять, как работает арматура в бетоне, необходимо рассмотреть особенности самой стали [1-3]. Стальные элементы изготавливают с рифленой поверхностью для увеличения адгезии с бетонным раствором. Поверхности могут быть с кольцевым, серповидным, а также четырехсторонним либо смешанным покрытием (демонстрируют наилучшую адгезию). При сооружении своими руками обязательно четко следуют нормам расхода стали и заполнителя. В зависимости от проекта показатели будут разные. Обычно для фундамента берется около 160-200 килограммов на 1 метр кубический, несущих перекрытий – около 200 килограммов. Чаще всего предпочтение отдают стальным прутьям, но сегодня рынок предлагает также суперпрочные соединения из базальта, стекла, стеклопластика. Последний, кстати, лучше всего укрепляет элементы конструкции, обеспечивая малый вес и хорошую износостойкость.

Арматура для бетона должна быть качественной: без большого слоя ржавчины (чтобы не отпадали крупные куски при обработке), с соответствующим маркировке и параметрам диаметром стержня, который может меняться в зависимости от условий хранения. Способы обработки арматуры: гнутье – осуществляется вручную, на специальном гибочном станке, обращая внимание на радиус изгиба. Вязка – элементы связывают в единый каркас на месте или отдельно, потом перемещая. Сварка – может выполняться встык или вприхватку. Чтобы понять, как правильно армировать бетон, необходимо рассмотреть свойства разных материалов и конструкций, изучить основные правила и нормы, этапы реализации задачи.

Один из способов закрепления арматуры – сварка, которая гарантирует прочность и качество исполнения железобетона. Обычно используют электродуговую сварку, правильно подобранные электроды, соединяют встык или внахлест. Второй вариант не требует особого контроля за качеством, соединение встык должно быть сделано профессионально, чтобы железобетон соответствовал заявленным механическим свойствам и выдерживал серьезные нагрузки. Сварка обеспечивает повышенную жесткость каркаса, уменьшает итоговое поперечное сечение участков соединений. До сваривания прутья зачищают, обрезают, гнут (если нужно), подгоняют по вертикали и горизонтали с использованием специального устройства, выполняют проверочное сваривание, испытывают швы на сжатие и разрыв.

Список используемых источников.

1. ГОСТ 7348-81. Проволока из углеродистой стали для армирования предварительно напряженных железобетонных конструкций [Текст]. – Взамен ГОСТ 7348-63; введ. 1983-01-01. – М.: Изд-во стандартов, [2003]. – 10 с.
2. Королев А.П. Влияние многократного отжига на структуру и свойства высокоуглеродистой стали / А.П. Королев, А.И. Буренина, М.В. Макаrchук, Н.А. Толстов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2018. – Т. 24, № 2. – С. 337 – 343.
3. Буренина А.И. Циклический отжиг высокоуглеродистой стали в среде углерода / А.И. Буренина, А.П. Королев, М.В. Макаrchук // Вестник ТГТУ. – 2019. – Т. 25, № 2. С. 329 – 333.

ПОЛУЧЕНИЕ МЕТОДОМ СВОБОДНОГО СВС-СЖАТИЯ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ TiV-20-40%Ti И ИХ ИЗУЧЕНИЕ

Константинов А.С., Антипов М.С., Бажин П.М., Столин А.М.
ФГБУН Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения
им. А.Г.Мержанова РАН, г. Черногловка, Россия
konstanta@ism.ac.ru

В связи с ростом огневой мощи оружия, требуется развитие и средств защиты. Бронежилеты постоянно упрочняют и совершенствуют. На сегодняшний день существуют различные конструкции и модификации, использующие специальные ткани (например, кевлар), металлические (титановые и стальные) прокладки, бакелит, наполнители из керамики, "склеенные" с мягким алюминием и др. Бронепластины из титана и стали применяются в современных бронежилетах 4-5 классов защиты. Такие металлы обладают повышенной стойкостью и способны выдержать многократные попадания. Серьезным недостатком является неспособность металлоэлементов защитить от броневоего действия пули, и повышенную массу таких бронежилетов до 9-12 килограмм. Конструкция бронежилета может включать в себя бронезащитные элементы из керамических материалов, которые обладают меньшим весом в сравнении со стальными и титановыми, одновременно с этим, при этом не уступая им в прочности. Броня из керамических материалов эффективно противостоит высокоскоростным (в том числе бронебойным) пулям, так как скорость распространения трещин в керамике меньше, чем скорость проникновения пули. Основным недостатком керамики при использовании в качестве броневых элементов является ее разрушение и выход из строя даже при немногочисленных попаданиях. В настоящее время ведутся работы по изготовлению многослойных бронезащитных элементов, сочетающих преимущества как металлов, так и различных композиций из керамики. Это позволяет повысить прочностные характеристики бронежилета с сохранением невысокой массы и обеспечением нужного класса защиты.

Перспективным методом, совмещающим получение макрослоев и их последующую консолидацию в одном технологическом цикле за десятки секунд, является свободное СВС-сжатие. Сущность этого метода заключается в уплотнении и формовании синтезированного материала под действием постоянного невысокого давления (~10-50 МПа) без использования специальных пресс-форм.

Настоящая работа посвящена изучению возможности получения методом свободного СВС-сжатия слоистых композиционных материалов (СКМ) на основе боридов титана и изучению особенностей их строения. Отработаны и оптимизированы такие технологические параметры свободного СВС-сжатия, как времена задержки, скорость и давление плунжера пресса. В результате проведенных экспериментальных работ были получены СКМ размерами 55x90x8 мм, 80x40x8 мм и 120x80x8 мм. На основе результатов РФА установлено что, управляя технологическими режимами можно оказывать влияние на конечный фазовый состав продукта. В пластинах повышенная пористость наблюдается в точках контакта синтезированного материала с плунжером пресса и основанием формы (400-500 мкм) из-за более быстрого охлаждения материала и потери его пластических свойств. Эта дефектная часть впоследствии удаляется механическим способом, что также характерно и СВС для прессования. Изучена структура композиционных материалов с содержанием свободного титана

(20-40) % масс., полученных методом свободного СВС-сжатия. Показано, что при содержании 20-30 % масс. свободного титана, образуется композиционный материал, состоящий из титановой матрицы с распределенными в ней частицами TiB, и слоями, состоящими из тетраборида титана Ti₃B₄. При увеличении доли свободного титана до 40 % масс. в деформированных образцах не наблюдается образование фазы тетраборида титана.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-79-10254).

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАЗЦОВ ИЗ ПОЛИЛАКТИДА ИЗГОТОВЛЕННЫХ НА 3D ПРИНТЕРЕ

Петренко В.И., Земцова Я.С.

***Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
vadimasias2014@yandex.ru, zemczova.yana@bk.ru***

На этапе создания научно-технического продукта неотъемлемой частью считается прототипирование. Одним из доступных на данный момент версии 3-D печати является метод FDM (Fused Deposition Modeling) – послойной заливки экструдированным расплавом полимера. Заданная технология позволяет использовать большое разнообразие материалов. Все они отличаются как по физико-механическим, так и по потребительским свойствам, их применение зависит от требований к образцу.

Образцы для исследования прочностных характеристик изготавливались по аддитивной технологии на двух 3D-принтерах: MakerBot Z18 и MakerBot 5G. На каждом из принтеров образцы изготавливались партиями по шесть штук в каждой партии с заполнением внутренней ячеистой структуры образцов от 10 до 100 % при назначенном шаге заполнения 10%. Было изготовлено 120 образцов. При выращивании образцов применялись настройки печати, рекомендованные производителем оборудования. В качестве материала для печати использовался полимер полилактид (PLA). [1-3]

Исследования предела прочности при растяжении образцов проводились на разрывной машине МР-0,5-1.

По результатам испытаний изменение массы происходит пропорционально изменению заполнения ячеистой структуры. Следует заметить, что образцы изготовленные на Maker Bot Z18, легче образцов, изготовленных на Maker Bot G5.

Характер изменения предела прочности образцов, изготовленных на принтерах Maker Bot Z18 и Maker Bot G5, аналогичен (рис.2). Образцы, изготовленные на принтере Maker Bot G5, прочнее образцов, изготовленных Maker Bot Z18. Результаты испытаний показали, что целесообразно применять принтер Maker Bot G5.

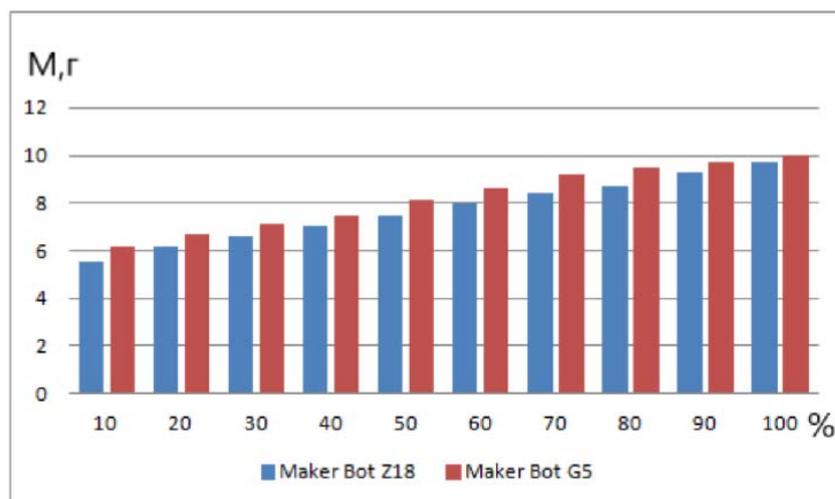


Рисунок 1. Зависимость значения массы образцов, от процента заполнения ячеек.

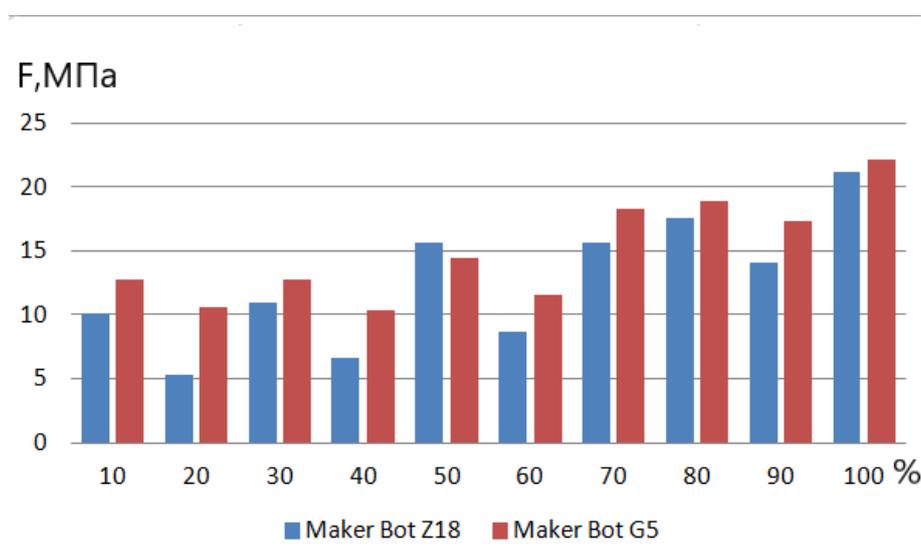


Рисунок 2. Зависимость значения силы, применяемой для разрыва образцов, от процента заполнения ячеек.

Список используемых источников.

1. Макаруч М.В. Статические испытания образцов из термопластичного полиэфира на разрывной машине / М.В. Макаруч, Т.Ф. Ельчищева, Е.М. Преображенская // Материалы XI Международной научно-инновационной молодежной конференции. 2019 "Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент. 2019 г. – С. 85 – 87.

2. Петренко, В.И. Исследование физико-механических свойств изделий изготовленных методом послойного наплавления / В.И. Петренко, М.В. Макаруч, // Материалы XI Международной научно-инновационной молодежной конференции. 2019 "Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент. 2019 г. – С. 110–111.

3. Макаруч, М.В. Повышение прочностных характеристик ячеистой структуры в образцах из термопластичного полиэфира. / М.В. Макаруч, Е.М. Преображенская // IV Всероссийская научно-практическая молодежная конференция. "Современные технологии композиционных материалов". – Башкирский государственный университет (Уфа). – 15 апреля 2019 г. – С. 186–187.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АКТИВАЦИИ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ В АППАРАТАХ ВИХРЕВОГО СЛОЯ

Ибрагимов Р.А.

*Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, rsmag007@yandex.ru*

Механическая активация является хорошо известным способом уменьшения среднего размера частиц с давних времен. Так, систематические исследования в области механохимии были зарегистрированы ещё в конце 19 века [1]. Считается, что W. Ostwald впервые ввел терминологию в области механохимии в научную литературу в 1919 году [2]. В частности W. Ostwald впервые рассматривал различные виды стимулирования химических процессов.

Одним из пионеров в механохимии считается американский химик M. Carry-Lea, который впервые установил специфику и отличие механохимических процессов от термических [3-5]. В России одним из первых ученых, занимающийся механоактивацией строительных материалов был Й.А. Хинт, сконструировавший первые дезинтеграторы [6-7]. Й.А. Хинт ввел в научную литературу понятие «силикальцит» - материал, полученный активацией извести и песка в дезинтеграторах.

С появлением новых измельчающих аппаратов и развитием существующих интерес к механохимии только увеличивается, при этом количество публикаций в этой области стремительно растет [8].

В 1967 году Thiessen P.A. предложил теорию для объяснения механохимических явлений, модель магма-плазма [9]. Согласно этой теории многие процессы активации происходят из-за механической энергии, характеризующейся различным временем релаксации [10]. После разработки данной теории в мире эта модель развивалась и дополнялась учеными Tkáčová K. и Baláz P. в Словакии [11], лауреатами государственной премии РФ в области науки и техники Болдыревым В.В. и Бутягиным П.Ю. [12], Gock E. в Германии [13], Juhasz A.Z. и Opoczky L. в Венгрии [14], Senna M. в Японии [15], Kumar R. и Kumar S. в Индии, Takacs L. в США [16].

Анализ многочисленных статей [12, 15, 17-18], посвященных вопросам механохимии и механоактивации говорит о том, что практически большинство их посвящено оптимизации стадии измельчения с целью получения максимальной поверхности твердого вещества при минимальных энергозатратах, при этом, как известно, фазовые реакции при механоактивации сильно зависят от устройств, применяемых для этих целей, и процессов в них протекающих. Именно условия протекающих процессов в измельчаемых аппаратах являются ключевыми, которые могут быть использованы для управления механохимическими реакциями.

До настоящего времени нет систематических сведений, которые бы обобщали процессы, происходящие при измельчении в аппаратах вихревого слоя (АВС). При этом такие параметры аппаратов вихревого слоя как высокая энергонапряженность, высокая плотность энергии, непрерывная подача материала, регулировка частоты вращения электромагнитного поля, количеством измельчаемых частиц и др. делают их перспективными для получения высококачественных материалов.

Принцип работы АВС состоит в том, что в немагнитную емкость трубы подается материал, который измельчается ферромагнитными частицами, приводящимися в действие вращающимся электромагнитным полем. В принципе АВС представляет собою электродвигатель, но без ротора. [19].

Основным эффектом механической активации (МА) является измельчение частиц, что приводит к изменению физико-химических свойств получаемого материала. Из-за механической активации структура материала обычно становится неупорядоченной, и можно регистрировать образование дефектов или других метастабильных форм [10]. Болдырев В.В. отмечает, что релаксация напряжений при механической обработке может сопровождаться различными процессами: выделением тепла, образованием новой поверхности, появлением дефектов в кристаллах и метастабильных полиморфных форм, аморфизацией твердого вещества и химическими превращениями

Однако для достижения таких структурных изменений обычные мельницы с низкой энергонапряженностью не подходят, поэтому необходимо применять мельницы с высокой энергией, такие как планетарные шаровые мельницы, вибрационные мельницы и аппараты вихревого слоя, чтобы обеспечить вышеуказанные эффекты.

Было показано, что АВС обладают значительной энергонапряженностью, высоким удельным значением энергии на единицу объема измельчаемого вещества. Можно предположить, что при механоактивации в АВС может аккумулироваться энергия за счет объемных концентраций линейных и точечных дефектов, что значительно повышает скорость химических (в данном случае гидратационных) процессов. Необходимо проводить дальнейшие исследования, направленные на изучение гидратационных процессов, происходящих в строительных материалах, полученных механоактивацией вяжущего в АВС, после проектного возраста твердения. Поскольку тонкое измельчение вяжущего приводит к существенному повышению степени гидратации вяжущего и требует исследования вопросов долговечности получаемых изделий.

При активации вяжущего в АВС происходит повышение температуры в камере активации до 160-170 °С. При этом помимо ударного воздействия на частицы вяжущего происходят и другие локальные: давление, сдвиг, ультразвуковое воздействие, что приводит к аморфизации частиц вяжущего.

Полученные в ходе лабораторных испытаний результаты физико-механических свойств строительных композиций (цементный камень, гипсовые и известково-песчаные изделия, плитки на доломитовом вяжущем) свидетельствуют о высокой получаемой прочности строительных композитов в начальные (до 3-х суток) сроки твердения.

Список используемых источников.

1. Takacs, L., 2013. The historical development of mechanochemistry. *Chem. Soc. Rev.* 42, 7649–7659.
2. Ostwald, W., Leipzig 1919. *Die chemische Literatur und die Organisation der Wissenschaft. Handbuch der allgemeinen Chemie 1 Akademische Verlagsgesellschaft.*
3. L.Takacs. *J. Mater. Sci.*, 39, 4987 (2004)
4. M.Carry-Lea. *Am. J. Sci.*, 141, 259 (1891)
5. M.Carry-Lea. *Am. J. Sci.*, 147, 377 (1894)
6. J.Hint. *Silikattechnik*, 21, 116 (1970)
7. J.Hint. *Aufbereitung Technik*, (2), 21 (1972)
8. Tianyu Xie, Phillip Visintin, Xinyu Zhao, Rebecca Gravina. *Mix design and mechanical properties of geopolymers and alkali activated concrete: Review of the state-of-the-art and the development of a new unified approach. Construction and Building Materials*, Volume 256, 2020, 119380

9. Thiessen, P.A., Meyer, K., Heinicke, G., 1967. Grundlagen der Tribochemie. Akademie-Verlag, Berlin.
10. Balaž, P., 2008. Mechanochemistry in Nanoscience and Minerals Engineering. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
11. Tkačova, K., Balaž, P., 1988. Structural and temperaturesensitivity of leaching of chalcopyrite with iron (III) sulphate. Hydrometallurgy 21, 103–112.
12. Boldyrev, V.V., 2006. Mechanochemistry and mechanicalactivation of solids. Russ. Chem. Rev. 75.
13. Gock, E., Kurrer, K.E., 1998. Increased efficiency of the vibratorymilling process with the eccentric vibratory mill. Aufbereitung-Technik 39, 103–111.
14. Juhasz, A.Z., Opoczky, L., 1990. Mechanical Activation of Mineralsby Grinding, Pulverizing and Morphology of Particles. Akademiai Kiado Budapest, Ellis Horwood, Chichester.
15. Senna, M., 2017. How can we make solids more reactive? Basics of mechanochemistry and recent insights. ChemTexts 3 (4).
17. Takacs, L., 2013. The historical development of mechanochemistry. Chem. Soc. Rev. 42, 7649–7659.
18. Sepelak, V., Duvel, A., Wilkening, M., Becker, K.D., Heitjans, P., 2013. Mechanochemical reactions and syntheses of oxides. Chem. Soc. Rev. 42, 7571–7637.
19. Fediuk, R.S. Mechanical Activation of Construction Binder Materials by Various Mills. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016, 125(1), 012019
20. Ибрагимов Р.А., Королев Е.В., Дебердеев Т.Р., Лексин В.В. Прочность тяжелого бетона на портландцементе, обработанном в аппарате вихревого слоя. Строительные материалы. 2017. № 10. С. 28-31.

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ НА СВОЙСТВА РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ

Ромашкина Л.В., Земсков А.Н., Кутовой А.Л., Макеев П.В.
Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
Liliyaromashkina433@gmail.com

Производство резинотехнических изделий развивается в направлении создания новых технологий [1-3], использования более производительного оборудования [4-6] и применения автоматизированных систем проектирования машин для переработки полимерных материалов [7,8]. Значительный интерес вызывают исследования в области создания энергосберегающих технологий [9,10].

Традиционно вопросы регулирования технологических свойств резиновых смесей решались с помощью молекулярного веса и молекулярно-массового распределения эластомеров, параметров процесса или методом рецептуры в соответствии с введением жидких и твердых смягчающих веществ (алифатических, ароматических, нефтяных углеводородов). Однако, повышение требований к качеству резиновых смесей и готовых изделий, энергосбережению и экономии трудозатрат при изготовлении и переработке резиновых смесей; расширение гаммы используемых каучуков, применение новых марок наполнителей при пониженном содержании мягчителей обуславливают необходимость поиска и применения технологически-активных добавок, позволяющих направленно регулировать технологические свойства резиновых смесей [5,8].

В связи со стабилизацией ассортимента каучуков и основных ингредиентов резиновых смесей для создания каучуков с новыми свойствами перспективно использование новых технологически активных добавок (ТАД) для резиновых смесей.

Технологически активные добавки включают вещества, которые при введении в резиновые смеси в очень небольших количествах приводят к изменению свойств резиновых смесей и влияют на эффективность технологических процессов: смешивание, измельчение, экструзия, вулканизация. На западном рынке коммерчески доступно более 200 марок технологически активных химических добавок [5,7,8]. Для шинной и резиновой промышленности в России и странах СНГ это относительно новый и активно развивающийся тип химических добавок [11].

Технологически-активные добавки в основном являются продуктами полифункционального действия. Добавки полифункционального действия выполняют функции пластификаторов, лубрикаторов, диспергаторов, гомогенизаторов, активаторов и вторичных ускорителей вулканизации. Применение этих химикатов в рецептуре резиновых смесей способствует снижению энергоемкости процессов изготовления и профилирования, улучшению диспергирования и равномерности распределения ингредиентов в резиновых смесях [5,7]. Применяют технологически-активные добавки либо в качестве целевого продукта - для улучшения технологических свойств резиновых смесей, либо в составе с другими химикатами-добавками для придания им новых функций [5,8].

В таблице 1 приведены изменения физико-механические свойств резин, наполненных техническим углеродом в зависимости от вида технологической добавки (стеариновая кислота (St), олеиновая кислота (Ol), этаноламид стеариновой кислоты (StA), этаноламид олеиновой кислоты (OlA), стеарат цинка (ZnSt2), олеат цинка (ZnOl2)) [8].

Таблица 1.

Физико-механические свойства резин с различными ГАД.

Показатель	Добавки						
	Без ГАД	St	StA	OI	OIA	ZnSt2	ZnOI2
Условное напряжение, МПа при удлинении 100 %	5.0						
1 масс.ч.		5,1	4,6	5,2	5,7	5,3	5,6
2.5 масс.ч.		5,5	4,7	4,7	5,5	5,5	5,7
5 масс.ч.		5,7	4,6	5,1	4,5	5,7	5,4
Условная прочность при растяжении, МПа	26.0						
1 масс.ч.		23,3	21,8	23,2	22,7	23,1	23,9
2.5 масс.ч.		23,8	22,3	20,9	23,4	23,4	23,5
5 масс.ч.		22,0	23,0	22,1	20,4	23,1	22,0
Относительное удлинение при разрыве, %	363						
1 масс.ч.		319	378	339	303	318	328
2.5 масс.ч.		308	358	328	313	311	313
5 масс.ч.		275	347	312	336	300	322
Остаточное удлинение, %	10						
1 масс.ч.		9	11	13	11	9	11
2.5 масс.ч.		10	13	12	10	10	10
5 масс.ч.		10	13	9	13	11	9

Анализ влияния добавок в смесях, наполненных техническим углеродом, на физико-механические показатели резин (табл. 1) показал, что напряжение при удлинении 100% меняется в пределах ошибки при введении добавки до 5 масс.ч., условная прочность при растяжении уменьшается тем больше, чем больше содержание добавки в резиновой смеси.

Список используемых источников.

1. Амелина Н.В., Беляев П.С., Клинков А.С., Соколов М.В. Кинетика и аппаратно-технологическое оформление процесса изготовления резиновых нитей из латекса. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015.- 80 с.
2. Беляев П.С., Клинков А.С., Соколов М.В. Расчет процесса и оборудования экструзии резиновых смесей при заданном качестве экструдата // Вестник Тамбовск. гос. техн. ун-та. 2003. Т. 9. № 3. С. 430-433.
3. Николюкин М.М., Беляев П.С., Соколов М.В., Жидков А.В. Разработка непрерывной технологии и оборудования переработки резиновой крошки в профильные изделия // Вопросы современной науки и практики. Ун-т им. В.И. Вернадского. 2012. № 5 (39). С. 190-193.

4. Kochetov V.I., Klinkov A.S., Sokolov M.V., Belyaev P.S. Optimal design of roller beds // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2006. Т. 42. № 1-2. С. 7-11.
5. Клинков А.С., Кочетов В.И., Соколов М.В., Беляев П.С., Однолько В.Г. Проектирование и расчет валковых машин для полимерных материалов. - Тамбов: Изд-во Тамбовск. гос. техн. ун-та. 2005.- 128 с.
6. Kochetov V.I., Tulyakov D.V., Klinkov A.S., Belyaev P.S., Sokolov M.V. Design of the lower gate of a rubber mixer // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2010. Т. 46. № 3. С. 201-211.
7. Клинков А.С., Соколов М.В., Кочетов В.И., Беляев П.С., Однолько В.Г. Автоматизированное проектирование валковых машин для переработки полимерных материалов. - Москва: Машиностроение-1. 2005.- 320 с.
8. Беляев П.С., Клинков А.С., Маликов О.Г., Однолько В.Г., Соколов М.В. Основы проектирования экструзионных машин предприятий полимерных материалов. - Тамбов: Изд-во Тамбовск. гос. техн. ун-та. 2012.- 144 с.
9. Соколов М.В., Клинков А.С., Беляев П.С., Однолько В.Г. Энергосберегающая технология производства длинномерных резинотехнических изделий заданного качества // *Вопросы современной науки и практики. Ун-т им. В.И. Вернадского*. 2008. Т. 2. № 1 (11). С. 99-103.
10. Клинков А.С., Соколов М.В., Полушкин Д.Л., Шашков И.В., Беляев П.С., Туляков Д.В. Применение интегральных критериев качества при переработке полимерных материалов валково-шнековым методом // *Вестник Тамбовск. гос. техн. ун-та*. 2008. Т. 14. № 4. С. 870-881.
11. Виноградов С.Д., Богомазов Д.А., Беляев П.С., Аленкин А.В. Влияние олигоэфира канифоли на свойства и перерабатываемость полиэтилена // *Пластические массы*. 2006. № 8. С. 41-44.
12. Ситникова Д.В., Буканов А.М. Влияние технологических добавок на свойства резин на основе растворного бутадиен-стирольного каучука // *Вестник МИТХТ им. М.В. Ломоносова*, 2011. Т. 6. № 5.– С. 143-145.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ ЭЛЕКТРОДАМИ НА ОСНОВЕ TiV-Ti

Жидович А.О., Столин А.М., Чижиков А.П., Константинов А.С.
*ФГБУН Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения
им. А.Г.Мерджанова РАН, г. Черногоровка, Россия*
a10012012@ism.ac.ru

Титан и титановые сплавы нашли широкое применение в промышленности благодаря сочетанию высокой удельной прочности и хорошей коррозионной стойкости, сохраняющимися при повышенных температурах. Однако ввиду высокого коэффициента трения и сильного адгезионного износа их работоспособность в условиях трения требует улучшения. Износостойкость может быть повышена путем создания защитного покрытия на поверхности детали, подвергающейся износу. Электроискровое легирование (ЭИЛ) как метод нанесения покрытий имеет ряд преимуществ: позволяет локально изменять свойства поверхности материала нанося тонкие покрытия (до 70 мкм), сохраняя при этом геометрические размеры обрабатываемой детали, простой технологический процесс, вследствие небольшого теплового фона отсутствует деформация изделия, высокий КПД 60-80%. В роле износостойких материалов для создания покрытий хорошо зарекомендовали себя керамики на основе моноборида титана TiB, обладающие высокой твердостью и износостойкостью. Необходимую степень пластичности такому материалу придает металл-связка, например, титан Ti. Помимо этого, к преимуществам моноборида титана можно отнести его низкую плотность и высокую химическую стабильность. А близкие по значению у TiB и Ti плотность и коэффициент термического расширения положительно сказываются на уменьшении остаточных напряжений в покрытии и на границе подложка-покрытие. В последние годы перспективным методом получения электродов является метод СВС-экструзии, сочетающий самораспространяющийся высокотемпературный синтез с последующим продавливанием горячего материала через формующую матрицу.

В данной работе покрытия наносились на подложку из титанового сплава ВТ6 методом электроискрового легирования в атмосфере воздуха при различных значениях энергии разряда. В качестве электрода использовался материал состава TiB - 30% Ti, полученный методом СВС-экструзии. Были изучены технологические параметры процесса нанесения, получены их оптимальные значения. Были проведены материаловедческие исследования полученных покрытий.

Покрытия при энергиях разряда ниже 0,35 Дж наносились в течение 300 с/см². При этом оптимальный режим нанесения, характеризующийся моментом, после которого наблюдается эрозия получаемого покрытия, не был достигнут. При энергиях разряда 0,44-0,74 Дж оптимальный интервал времени легирования уменьшался с 210 до 45 с/см². Коэффициент переноса материала электрода составил 50-60%. Толщина покрытия во всех случаях была примерно одинаковой 30-35 мкм, кроме режима, при котором E=0,74 Дж. В последнем случае толщина покрытия увеличилась до 40 мкм.

Было изучено влияния количества проходов электрода по участку легирования на толщину получаемого покрытия. На основании проведенных исследований был сделан вывод о том, что при проведении ЭИЛ с применением используемых в данной работе материалов можно получать покрытия заданной толщины от 15 до 60 мкм варьируя число проходов.

При нанесении электроискрового покрытия электродом TiB - 30% Ti в атмосфере воздуха на подложку VT6 энергия разряда, согласно результатам РФА, не оказывает влияние на формирующийся в защитном слое фазовый состав. Из электрода в покрытие переносится моноборид титана TiB, свободный титан-связка, взаимодействуя с азотом воздуха, образует в наносимом слое новую фазу – нитрид титана TiN, непрореагировавший в процессе нанесения и охлаждения свободный титан переносится в покрытие и представляет собой твердый раствор кислорода в нем Ti₃O. Стоит отметить, что при изменении энергии нанесения в полученном покрытии изменяется количественное соотношение фаз. Этот фактор, в свою очередь, оказывает влияние на свойства формируемых защитных покрытий, получаемых методом ЭИЛ электродом TiB - 30% Ti.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-38-90048.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНОГО ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ КЛЕЯ НА ОСНОВЕ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ

Архипов Р.С., Павлинов В.В., Просветов А.Е., Шашков И.В.
Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
dfyj10@yandex.ru

Рыночные условия работы российских предприятий повсеместно требуют внедрения энергосберегающих технологий [1,2] и более интенсивных технологических процессов [3,4]. Особенно это характерно для сектора экономики, связанной с переработкой полимерных материалов [5,6], в том числе в производстве резинотехнических изделий [7,8]. Производство изделий из каучуков и каучукоподобных полимеров характеризуется использованием достаточно сложного и энергоемкого оборудования [9]. Значительным спросом пользуются клеи на основе полимерных материалов. Большая доля в производстве клеев это растворы каучуков и резиновых смесей в органических растворителях (т.е. так называемые резиновые клеи).

Если в предшествующие годы основное увеличение выпуска этих клеев происходило за счет переоснащения производств однотипным оборудованием периодического действия [9,10], но с увеличенным рабочим объемом смесительных камер, то сейчас большое внимание уделяется непрерывным технологическим процессам [11]. Но непрерывная технология накладывает жесткие требования на стабильную подачу и точную дозировку исходных материалов. В процессах приготовления резиновых клеев они могут быть выполнены только путем придания исходному сырью гранулированного или порошкообразного вида и использованию стадии получения промежуточного продукта [12].

Для осуществления непрерывного процесса приготовления резинового клея в смеситель непрерывного действия необходимо непрерывно подавать набухший каучук. Если использовать не набухший каучук, то время пребывания его в смесителе будет недостаточным для растворения каучука. Таким образом, каучук должен непрерывно набухать и непрерывно питать смеситель, а этот процесс можно осуще-

ствить только с использованием гранулированного каучука. К тому же качество резинового клея зависит от степени пластикации каучука, что необходимо учитывать в конструкции гранулирующего устройства.

Для получения гранулированных композиционных материалов на основе каучуков с заданными степенью пластичности и размером гранул с последующим использованием их в производстве резиновых клеев предлагается конструкция валкового пластилятора-гранулятора непрерывного действия, представленная на рис.1.

Для проведения процесса набухания гранулированных композиционных материалов на основе каучуков с последующими гомогенизацией и доведением раствора до состояния готового клея в смесителе непрерывного действия предлагается конструкция камеры предварительного набухания непрерывного действия, представленная на рис. 2.

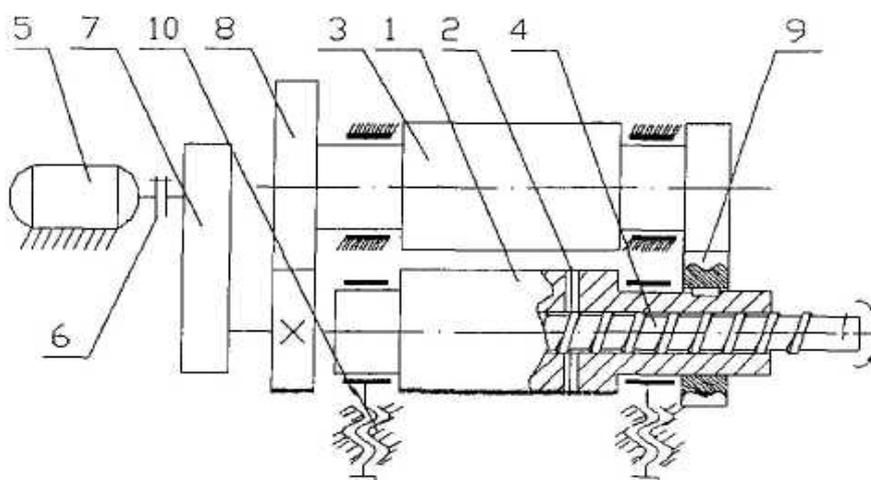


Рисунок 1. Кинематическая схема валкового пластилятора-гранулятора:
 1 – гранулирующий валок; 2 – радиальные фильеры; 3 – холостой валок;
 4 – срезающий элемент; 5 – электродвигатель; 6 – муфта; 7 – редуктор;
 8 – передаточные шестерни; 9 – фрикционные шестерни;
 10 – механизм регулировки зазора.

Камера непрерывного набухания представляет собой шнековый транспортёр. Шнек помещен в корпус имеющий подшипниковые опоры с уплотнителями, препятствующими утечке растворителя из камеры. Привод шнека осуществляется от мотора вариатора (редуктора) с регулируемой частотой вращения. Частота вращения задаётся так, чтобы гранулы проходили камеру за время достаточное для набухания.

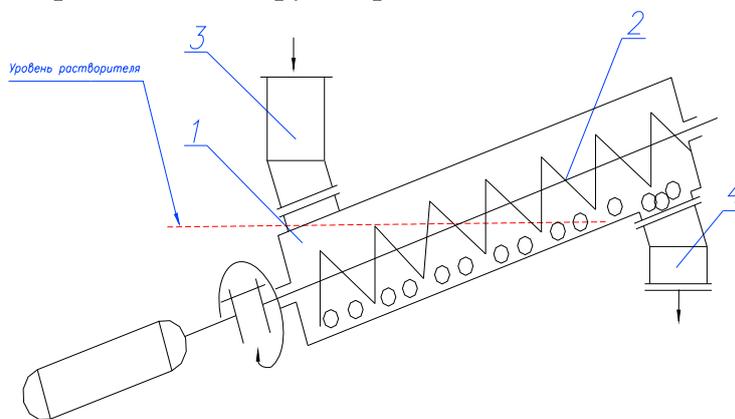


Рисунок 2. Камера непрерывного набухания:
 1-корпус; 2-транспортирующий шнек; 3-приемная труба; 4-выгрузная труба.

Проведенные исследования показали работоспособность валкового пластикатора-гранулятора и камеры предварительного набухания каучука, т.е. возможность пластикации, гранулирования и набухания каучука как предварительных стадий в непрерывном процессе приготовления клея.

Список используемых источников.

1. Полушкин Д.Л., Клинков А.С., Соколов М.В., Беляев П.С., Однолько В.Г. Энергосберегающая технология переработки отходов полимерных материалов валково-шнековым способом // Вопросы современной науки и практики. Ун-т им. В.И. Вернадского. 2008. Т. 2. № 1 (11). С. 137-141.

2. Соколов М.В., Клинков А.С., Беляев П.С., Однолько В.Г. Энергосберегающая технология производства длинномерных резинотехнических изделий заданного качества // Вопросы современной науки и практики. Ун-т им. В.И. Вернадского. 2008. Т. 2. № 1 (11). С. 99-103.

3. Беляев П.С., Клинков А.С., Маликов О.Г., Однолько В.Г., Соколов М.В. Основы проектирования экструзионных машин предприятий полимерных материалов. - Тамбов: Изд-во Тамбовск. гос. техн. ун-та. 2012. - 144 с.

4. Амелина Н.В., Беляев П.С., Клинков А.С., Соколов М.В. Кинетика и аппаратно-технологическое оформление процесса изготовления резиновых нитей из латекса. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015.- 80 с.

5. Беляев П.С., Забавников М.В., Маликов О.Г. К вопросу получения резинобитумного концентрата для асфальтобетонных дорожных покрытий из изношенных автомобильных шин // Вестник Тамбовск. гос. техн. ун-та. – 2008. Т. 14. № 2. С. 346-352.

6. Клинков А.С., Соколов М.В., Кочетов В.И., Беляев П.С., Однолько В.Г. Автоматизированное проектирование валковых машин для переработки полимерных материалов. - Москва: Машиностроение-1. 2005.- 320 с.

7. Беляев П.С., Клинков А.С., Соколов М.В. Расчет процесса и оборудования экструзии резиновых смесей при заданном качестве экструдата // Вестник Тамбовск. гос. техн. ун-та. 2003. Т. 9. № 3. С. 430-433.

8. Kochetov V.I., Tulyakov D.V., Klinkov A.S., Belyaev P.S., Sokolov M.V. Design of the lower gate of a rubber mixer // Chemical and Petroleum Engineering. 2010. Т. 46. № 3. С. 201-211.

9. Kochetov V.I., Klinkov A.S., Sokolov M.V., Belyaev P.S. Optimal design of roller beds // Chemical and Petroleum Engineering. 2006. Т. 42. № 1-2. С. 7-11.

10. Zabavnikov M.V., Belyaev P.S., Malikov O.G., Kochetov V.I. Analysis of the useable power of a dual-worm mixer with a modular impeller configuration for the production of rubber-asphalt compositions // Chemical and Petroleum Engineering. 2009. Т. 45. № 11. С. 741-746.

11. Николюкин М.М., Беляев П.С., Соколов М.В., Жидков А.В. Разработка непрерывной технологии и оборудования переработки резиновой крошки в профильные изделия // Вопросы современной науки и практики. Ун-т им. В.И. Вернадского. 2012. № 5 (39). С. 190-193.

12. Беляев П.С., Маликов О.Г., Меркулов С.А., Фролов В.А., Решение проблемы утилизации отходов резинотехнических изделий путем модификации дорожных вяжущих/ Вестник Воронежск. гос. ун-та инженерных технологий. 2014. №2 (60). С. 129-131.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НЕФТЯНЫХ ДОРОЖНЫХ БИТУМОВ С АДГЕЗИВАМИ

Фролов В.А., Красин М.А., Прокофьев А.С., Беляев П.С., Соколов М.В.
Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
vic_frolov@mail.ru

В силу специфики процессов переработки нефти в России, выпускаемые в вязкие дорожные битумы, используемые при приготовлении асфальтобетонных смесей для строительства и ремонта автодорог, обладают существенно более низкими показателями качества по сравнению с зарубежными аналогами [1]. Они не обладают свойствами эластичности, не обеспечивают смесям необходимые прочностные показатели, особенно при повышенных и пониженных температурах, плохими адгезионными свойствами к минеральным материалам, вследствие чего снижаются водостойкость, трещиностойкость покрытий и их сопротивление к воздействию динамических нагрузок, проявляется возможность колееобразования [2,3]. Для повышения качественных показателей дорожных вяжущих битум модифицируют путем использования различных веществ, чаще всего полимерных материалов [4,5]. При этом открывается перспектива широкомасштабной утилизации отходов полимерных материалов, в том числе отходов полимерной тары и упаковки, постоянный рост которых наблюдается в настоящее время [6-8]. Однако получаемое в результате модификации полимерно-битумное вяжущее, как правило, обладает низкими показателями сцепления с наполнителями асфальтобетонных смесей. Поэтому для улучшения адгезионной прочности дорожных покрытий в битум добавляются специально разработанные поверхностно-активные вещества [9]. Таким образом, полимерно-битумное вяжущее представляет собой сложную многокомпонентную систему, взаимное влияние элементов которой на битум является сложно предсказуемым, тем более общепризнанной теории нефтяных битумов до сих пор не существует.

Целью данной работы было исследование взаимодействия нефтяных дорожных битумов с поверхностно-активными веществами, используемыми в строительной индустрии в качестве адгезионных добавок [10,11]. Были исследованы несколько типов адгезионных присадок: «АМДОР-9», «АМДОР-10», «Адгезол» и «Дорос-АП». По токсикологическим свойствам данные адгезионные добавки относятся к малотоксичным веществам 4-го класса опасности по ГОСТ 12.1.007-76.

Присадка адгезионная дорожная «АМДОР-9» - катионное поверхностно-активное вещество, представляющее собой смесь полиаминоамидов и полиаминоимидозолинов (продуктов ацилирования полиэтиленполиаминов высшими карбоновыми кислотами) [10]. Распоряжением Минтранса России №ОС-358-Р от 18.04.2003 г. присадка «АМДОР-9» включена в число рекомендуемых к использованию в дорожном строительстве. «АМДОР-10» является усовершенствованным химическим аналогом присадки «АМДОР-9». За счет использования при производстве более квалифицированного сырья улучшены органолептические свойства, понижена температура потери текучести, уменьшена вязкость по сравнению с присадкой «АМДОР-9» при сохранении адгезионных свойств [10]. Введение «Амдора-10» приводит к снижению поверхностного натяжения на границе раздела битум - минеральный материал и, как следствие, значительному увеличению адгезии битума к минеральному материалу как основной, так и кислой природы.

Адгезионная дорожная присадка «Адгезол» представляет собой высококачественную органическую композицию на основе продуктов взаимодействия талового масла с полиалкилполиаминовыми соединениями [11].

Адгезионная добавка в битум «Дорос-АП» представляет собой химическое соединение класса имидазолинов. Адгезионная присадка «Дорос-АП» позволяет обеспечить требуемое сцепление битума с поверхностью минеральных материалов как ультракислых, кислых, так и основных пород одновременно, что способствует повышению водо- и морозостойкости любых асфальтобетонных материалов, в том числе и тех, в которых минеральная часть – щебень, песок и минеральный порошок – представлена материалами различной природы, а следовательно, продлить сроки службы покрытий [12].

Для проведения процесса взаимодействия битумов с адгезионными присадками были использованы лабораторные установки, имеющие в своем составе 2 вертикальных смесителя объемами 3 и 5 литров с лопастными рабочими органами [13]. Приводы смесителей обеспечивают возможность плавного регулирования частоты вращения рабочих органов.

В таблице 1 представлен фрагмент результатов исследования изменения качественных показателей нефтяного дорожного битума БНД 90/130 от содержания адгезионных добавок.

Таблица 1.

Состав дорожного вяжущего	Пенетрация при 25 °С, 0,1мм	Дуктильность при 25 °С, мм	Температура размягчения, С°	Эластичность, %
БНД 90/130	114	765	46	-
БНД + «Амдор-9» 0,1%	58	730	54	-
БНД + «Амдор-9» 0,5%	45	430	51	-
БНД + «Амдор-10» 0,1%	82	750	50	-
БНД + «Амдор-10» 0,5%	78	720	48	-
БНД + «Адгезол» 0,1%	65	380	52	-
БНД + «Адгезол» 0,5%	60	350	65	-
БНД + «Дорос-АП» 0,1%	68	470	56	-
БНД + «Дорос-АП» 0,5%	65	400	58	-

Исследования показали, что введение адгезионных присадок в битум не способствует появлению важного показателя - эластичности, но оказывают значительное влияние на пенетрацию и дуктильность модифицированного вяжущего, что необходимо учитывать при их комплексном использовании с другими модифицирующими добавками.

Список используемых источников.

1. Plewa A., Belyaev P. S, Andrianov K. A., Zubkov A. F., Frolov V. A. The Effect of Modifying Additives on the Consistency and Properties of Bitumen Binders// Advanced Materials & Technologies. 2016. No 4. Pp. 35-40.

2. Belyaev P.S., Frolov V.A., Varepo L.G., Belyaev V.P., Makeev P.V. Shashkov I.V. Equipment desing automation at asphalt-concrete production modernization // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1260 (2019) 032004

3. Беляев П.С., Забавников М.В., Маликов О.Г. К вопросу получения резино-битумного концентрата для асфальтобетонных дорожных покрытий из изношенных автомобильных шин // Вестн. Тамбовск. гос. техн. ун-та.- 2008. Т. 14. № 2. С. 346-352.
4. Belyaev P.S., Mishchenko S.V., Belyaev V.P., Belousov O.A. and Frolov V.A. Investigation of the Bitumen Modification Process Regime Parameters Influence on Polymer-Bitumen Bonding Qualitative Indicators // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 998 (2018) 012005.
5. Belyaev P.S., Mishchenko S.V., Belyaev V.P. and Frolov V.A. Monitoring of the changes in the characteristics of petroleum bitumen in its interaction with the polymer // AIP Conference Proceedings, 2017. Vol. 1876, Issue 1, 020096.
6. Клинков А.С., Беляев П.С., Однолько В.Г., Соколов М.В., Макеев П.В., Шашков И.В. Утилизация и переработка твёрдых бытовых отходов. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2015. -188 с.
7. Макеев П.В., Клинков А.С., Шашков И.В., Однолько В.Г. Анализ эффективности разработанных технологий утилизации отходов термопластов // Вестн. Тамбовск. гос. техн. ун-та. 2011. Т. 17. № 4. С. 1002-1006.
8. Макеев П.В., Клинков А.С., Шашков И.В., Полушкин Д.Л. Переработка отходов полимерных материалов на валково-шнековом агрегате // Известия Волгоградск. гос. техн. ун-та. 2013. № 1 (104). С. 119-123.
9. Беляев П.С., Маликов О.Г., Меркулов С.А., Полушкин Д.Л., Фролов В.А. Решение проблемы утилизации полимерных отходов путем их использования в процессе модификации дорожного вяжущего/ Строительные материалы. 2013.- № 10, С. 38-41.
10. <http://amdor.spb.ru/>
11. <http://адгезол.рф/>
12. <http://doros.yaroslavl.ru/>
13. Belyaev V.P., Belyaev P.S., Polushkin D.L. On the Prospects of Integrated Solutions to Problems of Ecology and Improving the Quality of Road Surfacing // Перспективы науки. -2012, № 5. – С. 186-189.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ЦСП В КАЧЕСТВЕ НАПОЛНИТЕЛЯ

Зинчук Е.А., Кутовой А.Л., Тэфанюк М.Н., Макеев П.В.
Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

Проблема создания современных материалов очень актуальна в наше время, так как развитие промышленного производства, строительства, потребности повседневной жизни человека требуют создания материалов, обладающих определенными свойствами [1,2]. К сравнительно новым материалам относятся композиционные материалы, которые постепенно занимают все большее место в нашей жизни [3-5]. Области применения композиционных материалов многочисленны и расширяются день ото дня [6,7].

Одним из перспективных направлений в области получения композиционных материалов является создание наполненных полимерных композитов с заданным комплексом свойств [8-10]. Причем, конкурентоспособность разрабатываемых материалов может быть обеспечена применением вторичных полимерных материалов в качестве полимерной матрицы и отходов промышленного производства или бытовых отходов – в качестве наполнителей [10,11]. При проведении литературного обзора было выявлено, что в качестве наполнителя могут выступать отходы производства цементно-стружечных плит (ЦСП). Сейчас в России работают восемь предприятий, производящих цементно-стружечные плиты (рис. 1), но ведущим по масштабам производства является предприятие АО «Тамак» в Тамбовской области [12].



Рисунок 1. Состав цементно-стружечной плиты.

ЦСП устойчива к влаге и биологическим факторам. Биостойкость обеспечивается специальной обработкой стружки – минерализацией. Влагостойкость – это заслуга цемента. Цементный камень не теряет прочности при любом увлажнении. Водопоглощение при длительном погружении в воду не превышает 16 %, а разбухание плиты по толщине укладывается в 1,5 %.

При увлажнении ЦСП мало впитывает воду. Этим определяется ее хорошая устойчивость к низким температурам. Морозостойкость ЦСП – 50 циклов замораживания-прогрева без видимых повреждений и при 90 % остаточной прочности. По этому параметру плиты пригодны для применения вне отапливаемых помещений при условии защиты от накопления влаги [12].

Цементно-стружечная плита – пористый материал, поскольку часть объема в ней занимает древесная стружка. Благодаря такой структуре она имеет невысокую теплопроводность – около $0,26 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С})$. Это в 1,5—2 раза меньше, чем у кирпича и примерно вдвое больше, чем у гипсокартона. Несмотря на то, что ЦСП нельзя в полной мере считать теплоизолирующим материалом, ее использование существенно влияет на результирующее тепловое сопротивление внешних ограждающих конструкций. Пористая структура обуславливает проницаемость материала для водяного пара на уровне $0,03 \text{ мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$. Такую же паропроницаемость имеет бетон. Этот параметр обязательно учитывается при проектировании многослойных стен. При применении ЦСП плиты для внутренней отделки внешних стен, она может служить пароограничивающим слоем, уменьшающим накопление влаги в стене и повышающим эффективность теплоизоляции.

По противопожарным характеристикам ЦСП относится к группе Г1: трудногорючие; группа воспламеняемости: В1 – трудновоспламеняемые; распространение пламени: РП1 – не распространяющие пламя; дымообразование: Д1 – малое количество дыма; группа токсичности: Т1 – продукты горения малотоксичны.

По сумме параметров цементно-стружечная плита относится к безопасным материалам. Ее использование позволяет повысить огнестойкость строительных конструкций и снизить класс пожарной опасности помещений.

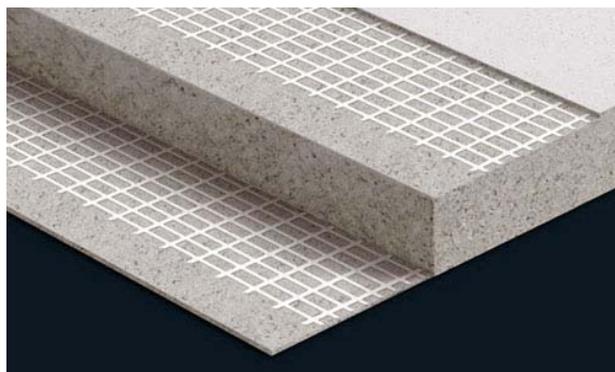


Рисунок 2. Цементно-стружечная плита в разрезе.

Все эти свойства позволяют нам говорить о том, что использование отходов ЦСП в качестве наполнителя, при производстве новых композиционных материалов является достаточно перспективным, так как их применение позволяет не только получить композиционный материал с высокими физико-механическими показателями, но так же решить проблему загрязнения окружающей среды.

Список используемых источников.

1. Патент на изобретение RU 2634013 С. Конструкционный материал / Беляев П.С., Примеров О.С., Макеев П.В., 23.10.2017. Заявка № 2016110381 от 21.03.2016.
2. Kochetov V.I., Tulyakov D.V., Klinkov A.S., Belyaev P.S., Sokolov M.V. Design of the lower gate of a rubber mixer // Chemical and Petroleum Engineering. 2010. Т. 46. № 3. С. 201-211.
3. Беляев П.С., Маликов О.Г., Полушкин Д.Л., Власов Л.С. Создание композиционных материалов с заданным комплексом свойств на основе битумов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2012. № 2 (157). С. 28-29.

4. Клинков А.С., Соколов М.В., Однолько В.Г., Беляев П.С. Проектирование смесителей периодического действия при получении композитов заданного качества из отходов термопластов. М.: Спектр, 2012. 196с.
5. Беляев П.С., Примеров О.С., Савин А.В. Разработка технологии получения композита на основе отходов термопласта и ЦСП // Вестник Тамбовск. гос. техн. ун-та. 2018. Т. 24. № 2. С. 367-373.
6. Plewa A., Belyaev P. S, Andrianov K. A., Zubkov A. F., Frolov V. A. The Effect of Modifying Additives on the Consistency and Properties of Bitumen Binders// Advanced Materials & Technologies 2016. No 4. Pp. 35-40.
7. Беляев П.С., Забавников М.В., Маликов О.Г. К вопросу получения резино-битумного концентрата для асфальтобетонных дорожных покрытий из изношенных автомобильных шин // Вестник Тамбовск. гос. техн. ун-та.- 2008. Т. 14. № 2. С. 346-352.
8. Макеев П.В., Клинков А.С., Полушкин Д.Л., Беляев П.С. Методика расчета величины сдвиговой деформации при получении профильных изделий заданного качества // Вестник Тамбовск. гос. техн. ун-та. 2012. Т. 18. № 1. С. 166-172.
9. Беляев П.С., Забавников М.В., Маликов О.Г., Волков Д.С. Исследование влияния резиновой крошки на физико-механические показатели нефтяного битума в процессе его модификации // Вестник Тамбовск. гос. техн. ун-та.- 2005.Т. 11. № 4. С. 923-930.
10. Соколов М.В., Клинков А.С., Беляев П.С., Скуратов В.К., Однолько В.Г. Методология расчета оборудования для производства длинномерных резинотехнических заготовок заданного качества. - Москва: Машиностроение. 2009.- 352 с.
11. Патент на изобретение RU 2247654 С1. Смеситель непрерывного действия для композиционных строительных материалов на основе нефтяных битумов / Забавников М.В., Беляев П.С., Маликов О.Г., Хабаров С.Н., 10.03.2005. Заявка № 2003125507/12 от 18.08.2003.
12. <http://www.tamak.ru/about/>

ВЫЯВЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ АУСТЕНИТНО-ФЕРРИТНОЙ СТАЛИ

Мордасов Д.М., Труфанов И.В., Гурьев А.В.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
mit@tstu.ru

Сталь X2CrNiMoCuN25-6-3 является аустенитно-ферритной нержавеющей сталью с повышенной коррозионной и химической стойкостью. Благодаря своей высокой кислотоустойчивости эта сталь нашла применение в судостроении, а также при производстве оборудования по переработке серной, фосфорной, азотной, уксусной и других кислот.

Требуемый комплекс физико-механических свойств стали формируется путем ее термической, либо термомеханической обработки. Оценка качества проведенной обработки осуществляется с применением металлографического анализа, который в общем случае предусматривает выполнение операций пробоотбора и пробоподготовки.

Подготовка образца для металлографического анализа включает в себя операции шлифования, полировки его поверхности, и последующего выявления структуры путем травления. Наиболее широко в металлографии применяют методики химического и электролитического травления [1].

Высокая коррозионная и химическая стойкость стали X2CrNiMoCuN25-6-3 делает неэффективным применение большинства реактивов, которые традиционно применялись для нержавеющей сталей. Таким образом, настоящая работа посвящена разработке методики металлографического травления аустенитно-ферритной стали.

В табл. 1 приведены результаты проведенных экспериментальных исследований по оценке эффективности различных способов и составов для металлографического травления изучаемой стали.

Таблица 1.

Результаты экспериментальных исследований эффективности различных способов и составов травления стали X2CrNiMoCuN25-6-3

№ состава	Способ травления	Время травления, мин	Плотность тока, А/дм ²	Состав реактива (электролита)
1	Химическое	10	—	CuCl ₂ – 1 г; HCl – 10 мл; C ₂ H ₅ OH – 10 мл; H ₂ O – 10 мл
2	электролитическое	1	0,6	13,5% водный раствор HCl
3	электролитическое	5	0,2	Ba(OH) ₂ – 10 г; H ₂ O – 200 мл

Подготовленные образцы изучались с помощью металлографического микроскопа ММР-2Р в режиме светлопольного освещения.

На рис. 1 представлены микроструктуры образцов при увеличении 1025х.

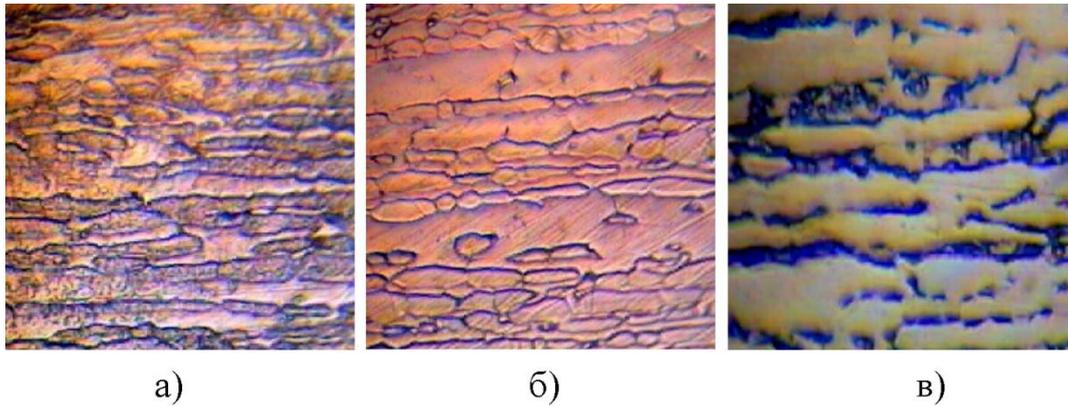


Рисунок 1. Микроструктура стали X2CrNiMoCuN25-6-3 (а – химическое травление реактивом 1; б, в – электролитическое травление реактивами 2 и 3).

Характерной особенностью аустенитно-ферритных сталей является то, что формирование аустенитной фазы происходит при резком охлаждении, а присутствие в составе стали азота способствует стабилизации γ -фазы. Первоначально структура стали преимущественно ферритная. Согласно диаграмме Шеффлера [2] структура исследуемой стали – аустенитно-ферритная, причем феррита в ней 70-80%.

Травление реактивами 1 и 2, как видно из рис. 1, позволяет выявить границы фаз, однако не является избирательным по отношению к какой-либо из них. На рис. 1, в показана микроструктура, полученная путем электролитического травления в электролите, представляющем собой водный раствор гидроксида бария. Как видно, данный раствор пригоден для избирательного травления фаз. При его использовании происходит вытравливание аустенитной фазы (темные участки), а ферритная контрастно проявляется на ее фоне в виде белых участков.

В результате проведенных исследований изучено действие различных реактивов на аустенитно-ферритную сталь X2CrNiMoCuN25-6-3 и выбран наиболее эффективный способ выявления ее структуры. Разработанная методика электролитического травления в растворе гидроксида бария может быть использована при оценке качества термической обработки изделий или сварных конструкций из стали X2CrNiMoCuN25-6-3.

Список используемых источников.

1. Мордасов Д.М. Термоциклическая обработка штампов для работы в условиях горячего деформирования из стали X12МФ / Д.М. Мордасов, С.В. Зотов // Вестник ТГТУ. 2016. Т. 22. № 3. - С. 481-490.
2. Schaeffler, A.L. Constitution diagram for stainless steel weld metal / A.L. Schaeffler // Metal Progress. - 1949. - V. 56. - No. 5. - P. 680-686.

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ СТАЛИ 03X17H14M3

Новгородов А.М.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

В современном аппаратостроении широко применяется высоколегированная, коррозионнотойкая сталь аустенитного класса – 03X17H14M3. Сталь 03X17H14M3 относится к коррозионно- и кислотостойким. При сварке такой стали возможно изменение ее структуры в зоне термического влияния. Для получения требуемых эксплуатационных свойств сварного шва, применяется термическая обработка в целях улучшения структуры и механических свойств металла сварных соединений, снятия остаточных напряжений, повышения коррозионной стойкости, а также сохранения размеров и формы изделий при последующей механической обработке [1, 2]. При выборе режима термообработки следует стремиться к сохранению свойств основного металла, в противном случае должны быть приняты меры к контролю его свойств. Одна и та же термическая обработка может выполнять несколько функций.

Для стали 03X17H14M3 рекомендованным видом термообработки является аустенизация сварных соединений из хромоникелемолибденовых аустенитных сталей и сплавов для повышения их коррозионной стойкости и пластических свойств, устранения склонности к межкристаллитной коррозии, предотвращения склонности к ножевой коррозии, снятия остаточных напряжений.

Настоящая работа посвящена металлографическому изучению стали 03X17H14M3 и сварного шва после аустенизации.

Режимы термической обработки: температура посадки в печь 700 °С, температура нагрева 1080 °С, время выдержки 1 час, охлаждение в воде.

Режимы термической обработки применены с учетом требований СТО 00220368-019-2011.

Для исследования стали в соответствии с общепринятой методикой подготовлен металлографический шлиф путем последовательной шлифовки и полировки образца.

Следующим этапом подготовки шлифа к металлографическому исследованию является выявление его структуры путем применения методики химического и электролитического травления.

Химическое травление, применяемое до термической обработки, не дало нужного результата по выявлению структуры, поэтому было применено электролитическое травление в 13,5% водном растворе HCl, плотности тока 0,6 А/дм² и выдержке 1 минута.

Подготовленные образцы изучались с помощью металлографического микроскопа ММР-2Р в режиме светлопольного освещения.

На рис. 1 представлены микроструктуры образцов сварного соединения при увеличениях 650× и 1500× до и после термической обработки.

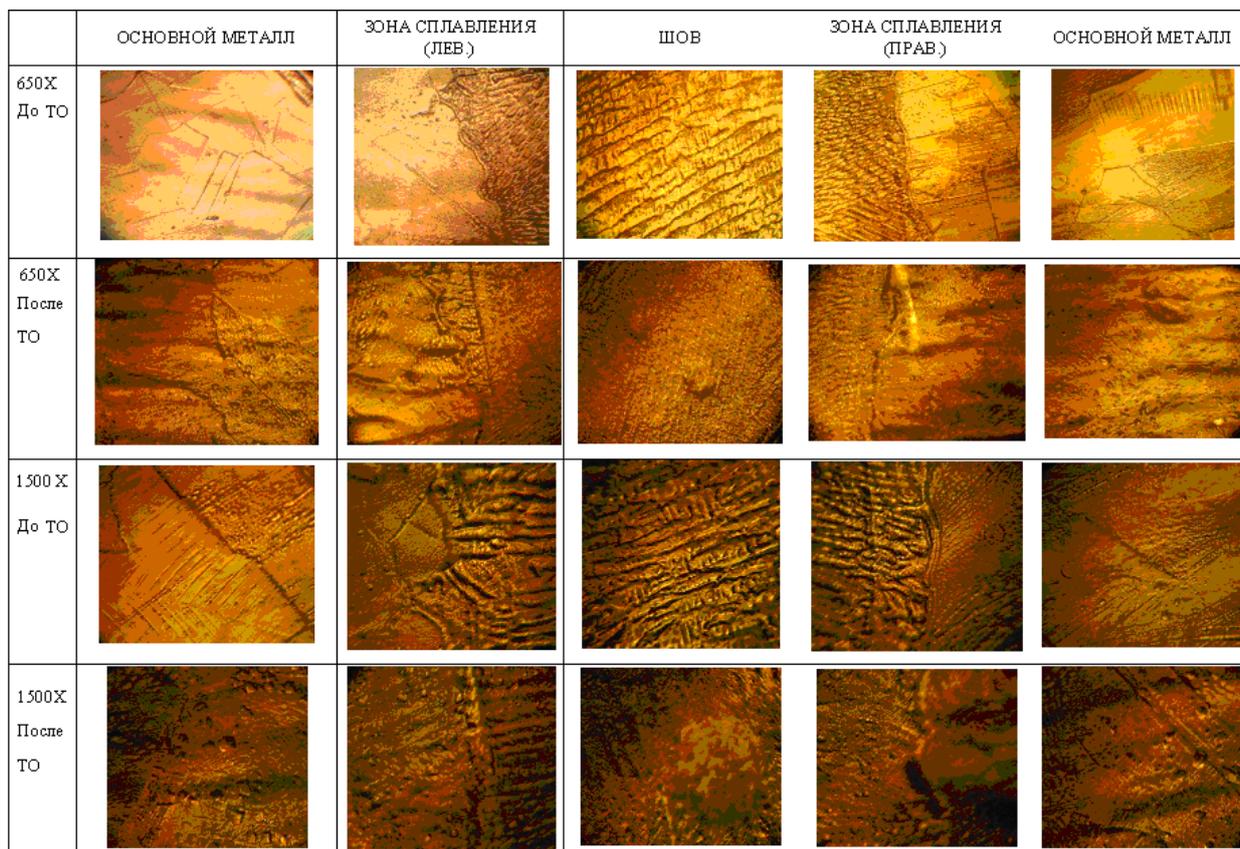


Рисунок 1. Микроструктуры образцов сварного соединения.

Анализ микроструктур (рис. 1) показывает, что изотермическая выдержка сварного соединения стали 03X17H14M3 при температуре 1080°C позволяет исправить дендритную структуру металла шва и устранить неоднородность в переходной зоне.

Список используемых источников.

1. Мордасов Д.М. Термоциклическая обработка штампов для работы в условиях горячего деформирования из стали Х12МФ / Д.М. Мордасов, С.В. Зотов // Вестник ТГТУ. 2016. Т. 22. № 3. - С. 481-490.

2. Мордасов Д.М. Исследование структуры шва сварного соединения бурильных труб из стали 32Г2 / Д.М. Мордасов, М.Д. Мордасов // Наука. Технология. Производство - 2019: Моделирование и автоматизация технологических процессов и производств, энергообеспечение промышленных предприятий - Материалы Всеросс. научно-методической конф., посвященной 100-летию Республики Башкортостан. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2019.- С. 255-258.

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ НАГРУЖЕНИЯ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА РАЗРЫВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОБРАЗЦОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ ПО АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Макарчук М.В., Петренко В.И., Ельчищева Т.Ф., Преображенская Е.М.
Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
vadimasias2014@yandex.ru

Перспективы использования аддитивных технологий (FDM) вызывают активный рост интереса как со стороны научных кругов, так и со стороны промышленности. Ключевым преимуществом использования данных технологий является возможность изготовления сложных трехмерных изделий, которые практически невозможно изготовить иным способом. Для того, чтобы изготовить изделие уникальной геометрии из требуемого материала, необходимо выполнить ряд технологических условий. Например, следует учитывать влияние технологических параметров послойного нанесения материала, к которым относятся топология укладки волокна, толщина слоя, температура экструзии, на физико-механические эксплуатационные свойства конечного изделия.

В данной работе проведены исследования механических и вязкоупругих свойств образцов из полимерных материалов в зависимости от температуры экструзии. Исследования позволят определить модуль Юнга и модуль сдвига, данные о структуре и морфологии образцов, релаксационные характеристики и вязкоупругие свойства, дефекты полимерных материалов, а также проанализировать разрушение образцов. Испытания на разрыв возможны в широком диапазоне скоростей нагружения – от 10^{-3} до 10^3 $\text{мм}\times\text{с}^{-1}$ и температуры в интервале рабочих температур полимера.

Образцы для исследования прочностных характеристик изготавливались по аддитивной технологии на 3D-принтере MakerBot Replicator Z18. Образцы печатались по 6 штук в партии на столе в вертикальном направлении с ориентацией нити поперек длинной стороны образца с заполнением в 100% [1-3].

Исследования прочностных характеристик изготовленных образцов проводились на разрывной машине МР-0,5-1.

Результаты испытаний на разрыв образцов из PLA в зависимости от скорости перемещения захвата приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Результаты испытания образцов из PLA на разрыв при различных скоростях перемещения захвата.

Материал	Скорость перемещения захвата, $\text{мм}\times\text{с}^{-1}$	Модуль Юнга, ГПа	Нагрузка на разрыв, МПа
PLA	10^1	3,2	55
	10^{-1}	3,4	50
	10^{-2}	3,3	43

Было установлено, что с увеличением скорости перемещения захвата происходит увеличение нагрузки на разрыв, тогда как значения Модуля Юнга находятся примерно на одном уровне.

Список используемых источников.

1. Gebhardt, A.; Kessler, J.; Thurn, L. 3D-Drucken: Grundlagen und Anwendungen des Additive Manufacturing (AM); Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG: Munchen, 2016. DOI: 10.3139/9783446448452.fm.
2. Cole D.P., Riddick J.C., Iftekhar Jaim H.M., Strawhecker K.E., Zander N.E. Interfacial mechanical behavior of 3D printed ABS. Journal of Applied Polymer Science. 2016, 133 (30). DOI: 10.1002/app.43671.
3. Ерофеев В.Т., Ельчищева Т.Ф., Преображенская Е.М., Макаручук М.В. Исследование физико-механических характеристик образцов из полилактида в аддитивной технологии // Региональная архитектура и строительство. 2019. № 3 (40). С. 92–101.

ИССЛЕДОВАНИЕ МАССОПЕРЕНОСА В ИЗДЕЛИЯХ ИЗ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Беляев В.П., Павлинов В.В., Земсков А.М., Беляев П.С.
Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
belvp8@rambler.ru

Пористой структурой обладают многие объекты человеческой деятельности, например, ограждающие конструкции зданий и сооружений, исходные материалы и изделия для их производства: кирпичи, блоки, панели строительного назначения, теплоизоляторы и пр. [1]. Производство изделий из пористых материалов происходит в условиях значительных затрат энергии и связано с миграцией распределенных в твердой фазе влаги или других веществ. Диффузия влаги, например, в пористых строительных изделиях во многом определяет микроклимат в помещении и эффективность теплозащитных свойств ограждающих конструкций. Для оптимизации процессов производства и эксплуатации изделий из пористых материалов требуется знание коэффициента диффузии, входящего в состав уравнений математических моделей процессов [1,2]. Большинство методов исследования этой важной характеристики массопереноса базируется на использовании образцов заданных размеров и форм, изготавливаемых на основе изучаемых изделий путем их разрушения или путем создания специальных образцов по технологиям, близким к условиям получения готовых изделий [3,4]. Например, исследование коэффициента диффузии в образцах цементно-бетонных изделий, гипса, пеносиликатных блоков, теплоизоляторов из стекла и камня и т.д. Данные методы характеризуются значительными затратами времени на подготовку образцов. Кроме того, для определения искомого коэффициента диффузии в большинстве случаев необходимо осуществлять измерение пространственных распределений диффузантов, например, влаги, а это является достаточно сложной задачей [5,6]. Дело в том, что наиболее часто применяемые закладные датчики, основанные на измерении изменения электрофизических параметров: электрического сопротивления, емкости, индуктивности и их различных комбинаций не позволяют в полной мере локализовать точки контроля [7,8]. А применяемая современная аппаратура, основанная на применении методов гаммаскопии, рентгеновских лучей, нейтронной радиографии, ядерного магнитного резонанса характеризуется высокой стоимостью и, следовательно, ограниченной доступностью, а часто и необходимостью специальной защиты персонала [9].

Целью настоящей работы было проведение исследований коэффициента диффузии в изделиях строительного назначения с апробацией информационно-измерительной системы (ИИС), обеспечивающей возможность неразрушающего контроля [10].

Программа, реализующая методику проведения эксперимента и обработку экспериментальных данных, разработана в среде LabView [10]. При этом реализовывались следующие измерительные процедуры. Исследования проводились при комнатной температуре с равномерным начальным распределением диффузанта в образце. Расчет требуемой дозы растворителя линейного источника для контроля коэффициента диффузии в массивных изделиях из пористых материалов согласно [11]. Затем на поверхности контролируемого изделия размещалось устройство с импульсным линейным источником массы. Проводилось измерение начальных значений электродвижущей силы (ЭДС) гальванических преобразователей. После этого поводилось импульсное линейное «увлажнение» поверхности исследуемого материала заданной порцией растворителя из дозатора с одновременным запуском работы ИИС. Далее система обеспечивала автоматическое измерение и регистрацию значений ЭДС гальванических преобразователей в режиме реального времени и расчет искомого коэффициента диффузии в соответствии с расчетными формулами, представленными в [12]. В таблице 1 представлены результаты двадцатикратных измерений коэффициента диффузии этанола в плитах из пеногипсобетона толщиной 50 мм, где $\bar{D} \approx 3,72 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$ – математическое ожидание, $\Delta D_i = (D_i - \bar{D})$.

Таблица 1.

Результаты экспериментальных исследований.

№ опыта, i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$D_i \cdot 10^9, \text{ м}^2/\text{с}$	3,35	3,91	4,25	3,24	2,81	4,4	3,23	3,66	2,95	3,58
$\Delta D_i \cdot 10^9, \text{ м}^2/\text{с}$	-0,37	0,19	0,53	-0,48	-0,91	0,68	-0,49	-0,06	-0,77	-0,14
$\Delta D_i^2 \cdot 10^{14}, \text{ м}^4/\text{с}^2$	1369	361	2809	2304	8281	4624	2401	36	5929	196

Продолжение таблицы 1.

№ опыта, i	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$D_i \cdot 10^9, \text{ м}^2/\text{с}$	4,67	4,31	3,14	3,44	3,81	4,27	3,11	4,64	3,26	4,37
$\Delta D_i \cdot 10^9, \text{ м}^2/\text{с}$	0,95	0,59	-0,58	-0,28	0,09	0,55	-0,61	0,92	-0,46	0,65
$\Delta D_i^2 \cdot 10^{14}, \text{ м}^4/\text{с}^2$	9025	3481	3364	784	81	3025	3721	8464	2116	4225

Проведение довольно значительного количества экспериментов объясняется необходимостью снижения случайной погрешности, возникающей из-за зависимости искомого коэффициента диффузии от концентрации растворителя и наличия контактного сопротивления.

Список используемых источников.

1. Беляев М.П., Беляев В.П., Мищенко С.В., Беляев П.С. Методы и устройства для неразрушающего контроля коэффициента диффузии растворителей в листовых изделиях из капиллярно-пористых материалов: монография.- Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО "ТГТУ", 2016.- 112 с.
2. Беляев В.П., Беляев М.П., Мищенко С.В., Беляев П.С. Проектирование измерительного устройства для определения коэффициента диффузии растворителей в тонких изделиях из капиллярно-пористых материалов // Измерительная техника. – 2013. – № 10. – С. 65 – 69.
3. Mishchenko S.V., Belyaev P.S., Gladkikh V.A, Safronova E.N. Effective Diffusion Coefficient of Active Solvents in Composite Polymeric Materials // Drying Technology.- 1999. - V. 17, № 10.-P. 2151-2167.
4. Belyaev V.P., Belyaev M.P., Mishchenko S.V., Belyaev P.S. The Design of a Measuring Instrument for Determining the Diffusion Coefficient of Solvents in Thin Articles Made of Capillary-Porous Materials // Measurement Techniques. - 2014, Vol. 56, No. 10, pp 1190-1196.
5. Мищенко С.В., Беляев П.С., Фролов А.П. Определение локальных значений содержания жидкой фазы в дисперсных материалах // Метрология. - 1988. - №8. - С.55-61.
6. Беляев В.П., Мищенко С.В., Беляев П.С. Реализация неразрушающего контроля массивных изделий при измерении коэффициента диффузии растворителей // Инж.-физ. журнал. – 2017, Т. 90, № 3. – С. 733-741.
7. Беляев В. П., Мищенко С. В., Беляев П. С. Выбор оптимальных параметров режима измерений коэффициента диффузии растворителей при неразрушающем контроле изделий из капиллярно-пористых материалов // Измерительная техника. – 2015. – № 5. – С. 68 – 71.
8. Беляев В.П., Мищенко С.В., Беляев П.С. Определение коэффициента диффузии при неразрушающем контроле тонких изделий из анизотропных пористых материалов // Измерительная техника. – 2017. – № 4. – С. 60 – 64.
9. Belyaev V.P., Mishchenko S.V., Belyaev P.S. Method of non-destructive control of the solvent diffusion coefficient in products made from anisotropic porous materials // IOP Conf. Series: Journal of Physics. 1050 (2018) 012010.
10. Беляев В.П., Варепо Л.Г., Беляев П.С., Дивин А.Г. Информационно-измерительная система для определения коэффициента диффузии растворителей в изделиях из капиллярнопористых материалов // Южно-сибирский научный вестник, 2019, № 3 (27), с. 9-14.
11. Беляев В.П., Мищенко С.В., Беляев П.С. Неразрушающий контроль коэффициента диффузии в одноосно-армированных изделиях из пористых материалов// Инж.-физический журнал. – 2019, Т. 92, № 5. – С. 2410-2414.
12. Беляев В.П., Мищенко С.В., Беляев П.С. Исследование коэффициента диффузии в тонких изделиях из пористых материалов // Журнал технической физики, 2019, Т. 89, № 10. – с. 1630-1634.

ПРИМЕНЕНИЕ КРЕМНЕЗЕМА В СОСТАВЕ ПОЛИМЕР-МИНЕРАЛЬНОГО КОМПОЗИТА

Мордасов Д.М., Мордасов М.Д.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
mit@tstu.ru

Кремнезем является одним из самых распространенных в природе веществ. В земной коре содержится 58,3% кремнезема, который встречается в природе в различных формах: кристаллический кварц; скрытокристаллический (халцедон, агат, яшма, кремень), аморфный.

Аморфный кремнезем представлен горными породы вулканического происхождения (пемзы, перлиты, обсидианы) и породами осадочного происхождения (диатомит, опока, трепел).

Наибольший интерес с точки зрения использования в рецептурах полимер-минеральных композиционных материалов (ПМКМ) строительного назначения представляет аморфный кремнезем пород осадочного происхождения. Характерной особенностью этих пород является, с одной стороны, наличие активной аморфной кремнекислоты, с другой — тонкодисперсная структура. Совокупность указанных свойств обуславливает их высокую гидравлическую активность, возможность использования в качестве структурирующих и функциональных добавок и наполнителей.

В настоящей работе проведены исследования эффективности применения трепела Краснослободского месторождения Тамбовской области в составе ПМКМ с композиционной матрицей на основе цемента, эпоксидной смолы и сополимера стирола, акриловой кислоты и бутилакрилата [1].

Трепел — легкая кремнистая тонкопористая порода, состоящая в основном из мельчайших бесструктурных частиц опала и кристобалита. Светло-серая окраска в значительной степени связана с присутствием органического материала и гидроксидов железа. Объемный вес трепела составляет 0,7 - 0,9 г/см³. Анализ химического состава трепела Краснослободского месторождения Тамбовской области, проведенный в работе [2], показывает, что доля SiO₂, представленного преимущественно аморфной фазой, превосходит его содержание в трепелах многих Российских месторождений и месторождений стран ближнего зарубежья.

В табл. 1 представлены результаты испытаний образцов ПМКМ с добавкой трепела и без нее. Образец 1 — ПМКМ на основе цемента, эпоксидной смолы и сополимера стирола, акриловой кислоты и бутилакрилата, наполнитель — песок; образец 2 — то же, но с добавкой трепела 3% от полимерной части; образец 3 — то же, но с добавкой трепела 7% от полимерной части; образец 4 — то же, но с добавкой трепела 12% от полимерной части, количество эпоксидной смолы уменьшено в 5 раз.

Анализ данных табл. 1 показывает, что применение трепела в качестве добавки в ПМКМ способствует повышению физико-механических свойств. Добавка трепела в количестве 7 % от массы полимерной части приводит к повышению модуля упругости на 51%, предела прочности и предела прочности при разрушении — на 30%, твердости — на 5%. Большой вклад в комплекс прочностных свойств, сформированный у образцов 1 — 3, оказывает присутствие в рецептуре ПМКМ эпоксидной смолы. Экспериментально доказано, что уменьшение количества эпоксидной смолы в 5 раз при одновременном введении трепела в количестве 12 % от массы полимерной части, поз-

воляет не только сохранить, но и повысить все физико-механические свойства: модуль упругости в 2,7 раза, пределы прочности и прочности при разрушении – в 1,5 раза, твердость – в 1,1 раза.

Таблица 1.

Результаты испытаний образцов ПМКМ.

№ образца	E , МПа	σ_B , МПа	σ_K , МПа	HSD
1	16,73	1,55	1,54	38
2	20,76	1,73	1,69	40
3	33,95	2,22	2,19	40
4	45,31	2,34	2,32	41

Примечание: E – модуль упругости; σ_B – предел прочности; σ_K – предел прочности при разрушении; HSD – твердость по Шору.

Таким образом, в результате проведенных исследований показано, что введение в состав ПМКМ трепела позволяет не только улучшить условия гидратации цемента, но и сократить количество дорогостоящего компонента – эпоксидной смолы, при одновременном повышении комплекса физико-механических свойств получаемого материала.

Список используемых источников.

1. Мордасов Д.М. Исследование структуры полимерного композиционного материала на основе смолы ЭД-20 и нанодисперсии сополимера стирола и акриловой кислоты / Д.М. Мордасов, П.В. Макеев, Д.Л. Полушкин, М.Д. Мордасов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. - 2019. Т. 25. № 1. - С. 136-141.
2. Мордасов Д.М. Химический состав трепела Краснослободского месторождения тамбовской области / Д.М. Мордасов, М.Д. Мордасов, А.В. Лазутин // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент: материалы XI Международной научно-инновационной молодежной конференции. – Тамбов: Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2019. – С. 233-234.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и администрации Тамбовской области в рамках научного проекта № 19–43–680003.

ИННОВАЦИОННАЯ МЕТОДИКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДА ГРАФЕНА ПОСРЕДСТВОМ ЙОДА

Пасько Т.В., Столяров Р.А., Чапаксов Н.А., Шевцова О.В.,
Горшкова П.А., Илларионов И.А.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
olyashevzova@mail.ru

По электрическим свойствам оксид графена (ОГ) можно отнести к диэлектрикам с величиной удельного объемного сопротивления $\sim 10^{15}$ Ом*см, которое зависит от количества кислородных групп, расположенных в его структуре. Возможность восстановления ОГ до графена позволяет варьировать его электропроводность в очень широком диапазоне, и тем самым обеспечивает широкое применение ОГ в качестве функциональной компоненты в электропроводящих полимерных и керамических материалах. На сегодняшний день существует большое количество как химических, так и физических методов восстановления оксида графена, каждый из которых обладает своими преимуществами и недостатками, в частности, химические способы - не экологичны, наличие остатков восстановителя в конечном продукте, но интегральны, фотохимические и термические легко реализуемы, но неприменимы для восстановления ОГ в ряде полимерных материалов.

Таким образом, цель работы заключалась в разработке нового метода восстановления ОГ, применимого для широкого диапазона полимерных материалов.

Экспериментально было обнаружено восстановление пленок оксида графена содержащих йод при НУ. С увеличением концентрации йода в пленках происходит изменение их цвета, который приобретает серебристый оттенок, а также уменьшается их электрическое сопротивление (рис. 1).

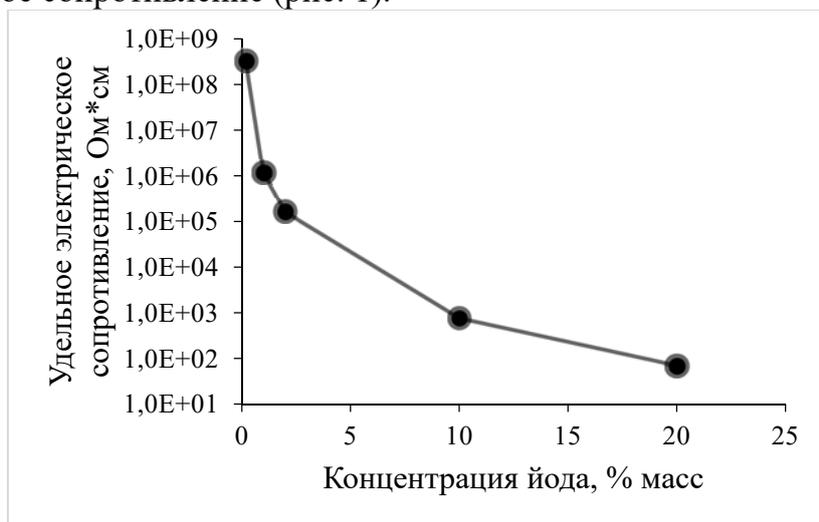


Рисунок 1. Зависимость удельного сопротивления пленок оксида графена от концентрации йода.

Исследование влияния йода на структуру пленок проведено с помощью методов рентгеноструктурного анализа, рамановской спектроскопии и энергодисперсионного анализа, которые свидетельствуют о восстановлении ОГ.

В рамках НИР разработан инновационный метод восстановления оксида графена, который является оригинальным, легко масштабируемым и экологичным. Особую привлекательность метода обеспечивает возможность, восстановления ОГ после того, как он помещен в заданный полимерный материал (например, полимерный композит) или устройство (например, электрод).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-19121.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ НАНОГРАФИТОВ В НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ

Бакунин Е.С., Образцова Е.Ю., Рухов А.В., Истомин А.М.
Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
Jack1400@mail.ru

Как известно, используя переменный ток, можно осуществлять разнообразные электрохимические реакции в растворах с участием или без участия материала электродов в окислительно-восстановительных процессах. Помимо симметричного возможно применение переменного тока с неполным выпрямлением, реверсированного, однополупериодного и др., форма которых зависит от способа выпрямления или наложения переменного тока на постоянный. Переменный ток можно накладывать непрерывно или периодически в зависимости от поставленных целей.

Установлено, что при равенстве плотностей токов напряжение переменного тока почти вдвое меньше постоянного. Это позволяет существенно сократить энергозатраты.

Наибольшее число публикаций российских и зарубежных авторов, работавших на переменном токе, посвящено катодным процессам нанесения гальванических покрытий. Нашел переменный ток свое применение и в процессах анодного растворения металлов. И, наконец, совсем небольшое количество работ посвящено органическому электросинтезу на переменном токе.

Перспективным направлением применения нестационарных режимов электролиза, и в частности переменноточкового электролиза, является синтез нанографитов методом электрохимической эксфолиации. Под нанографитом в данном случае понимается структура, состоящая из нескольких графеновых слоев, толщина которой не превышает 100 нм.

Анализ зарубежных и российских литературных источников по данной тематике показывает, что чаще всего авторами предлагается проводить синтез на пульсирующем токе. Эффективность такого режима электролиза обусловлена двухстадийностью эксфолиации. На первом этапе, во время анодного импульса, происходит либо интеркаляция анионов небольшого размера в межслоевое пространство электрода, например аниона OH^- , либо, если размер иона больше чем расстояние между слоями, окисление краев графеновой плоскости, с присоединением к ней аниона, например SO_4^{2-} , при этом присоединившиеся отрицательно заряженные частицы, отталкиваясь друг от друга как бы «расклинивают» графеновые слои облегчая их дальнейшее расщепление. На втором этапе, во время катодного импульса, происходит восстановление анионов,

сопровождающееся образованием газообразных продуктов, например SO_2 , что также значительно способствует эксфолиации. При этом варьируя напряжение, длительность импульса, плотность тока и т.д. можно управлять скоростью синтеза, степенью функционализации окисленных форм нанографита и другими характеристиками целевого продукта.

Использование нестационарных режимов электролиза в синтезе нанографита путем электрохимической эксфолиации графита можно отметить, как перспективное направление, применения переменного тока в препаративном электрохимическом синтезе.

Работа выполнена при поддержке Управления образования и науки Тамбовской области, проект №38-МУ-19(02).

КОНСТРУКЦИЯ СОЕДИНЕНИЯ ПКМ-МЕТАЛЛ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ БОЛЬШОЙ ТОЛЩИНЫ

Луговина Г.А., Чуприкова А.А., Поветкина Ю.С.
Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

В настоящее время поддержке аграрно-промышленного комплекса (АПК) в нашей стране уделяется большое внимание. Реализация Приоритетного национального проекта «Развитие АПК» [1], а также Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации [2] напрямую зависят от работоспособности машинно-тракторного парка (МТП). Старение используемых машин и оборудования значительно опережает темпы технического перевооружения. По различным оценкам для ЦФО [3-6] сокращение МТП составило 60...80%; за пределами сроков амортизации работают 50...80% техники (амортизационный срок машины 8...10 лет); коэффициент обновления техники 1,1...6,2% (оптимальный уровень 8...10%, что обусловлено средним сроком службы машины 10...12 лет). Вместе с тем стабильное увеличение стоимости природных ресурсов и их истощение, а также принятие законов по охране окружающей среды способствуют усилению вторичного рынка сельскохозяйственной техники, тем более что финансовые ресурсы большинства сельскохозяйственных товаропроизводителей ограничены.

В таких условиях для формирования оптимального МТП перспективным является развитие системы технического сервиса, а также модернизации техники, бывшей в эксплуатации. Особо следует отметить возможность ремонта и модернизации в условиях ремонтных мастерских машин, снятых с производства по разнообразным причинам, но эксплуатируемых в настоящее время.

Согласно [4]: «Анализ направлений модернизации техники в России и за рубежом, опрос экспертов и мнений ученых и специалистов показывают, что наиболее перспективными из них являются повышение производительности машин, их надежности, экономичности и комфортности обслуживания. Повышение надежности модернизированных машин должно произойти за счет использования более совершенных конструкций агрегатов и новых материалов». Одними из таких материалов являются полимерные композиционные материалы (ПКМ), которые в последние годы

находят все более широкое применение и открывают новые возможности в технологии не только ремонтных и восстановительных работ различного оборудования, но и во многих других областях.

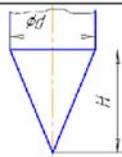
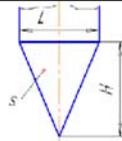
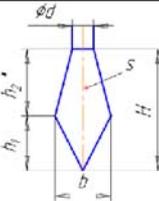
При восстановлении корпусных деталей с использованием полимерных композиционных материалов необходима хорошая адгезия срачиваемых поверхностей. При этом, наращиваемая часть из ПКМ будет более хрупкой в сравнении с металлической основой. Для качественного соединения ПКМ и металлической основы необходимо упрочнить место соединения штифтами. В ряде работ предложены штифты различной формы и приведены экспериментальные и расчетные данные о прочности таких соединений. [5-7].

В работе [8] проведены исследования соединений «сталь-ПКМ» на вырыв крепежного элемента:

Согласно приведенным данным, копьеобразная форма наконечника для закрепления в ПКМ дает наиболее прочное соединение. При укладке армирующей ткани (стеклоткани, стекломатов, углеткани и т.д.) необходимо обеспечить совпадение горизонталей ткани и наконечника для наиболее полного прилегания их друг к другу и последующей фиксации реактопластами.

Таблица 1.

Результаты исследования соединений «сталь-ПКМ» на вырыв крепежного элемента.

КТР	Вид наконечника КЭ	$j_n = \frac{F_n}{H}$
Игольчатый элемент		3,5
Треугольная пластина		5,4
Копьеобразная (лопатообразная) пластина		11,6

Список используемых источников.

1. Государственная программа Развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013 - 2020 годы. [Электронный ресурс]: - Утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 14 июля 2012 г. № 717 (в редакции постановления Правительства Российской Федерации от 19 декабря 2014 г. № 1421) / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации: [сайт]. – М., [200-?]. – Режим доступа: <http://www.mcx.ru/navigation/docfeeder/show/342.htm> (06.01.2015), свободный. - Загл. с экрана.
2. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации: [Электронный ресурс]: – Утверждено Указом Президента Российской Федерации от 30 января 2010 г. № 120/ Министерство сельского хозяйства Российской Федерации: [сайт]. – М., [200-?]. – Режим доступа: <http://www.mcx.ru/documents/document/show/12214.19.htm>(06.01.2015), свободный. - Загл. с экрана.
3. Единая межведомственная информационно–статистическая система [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fedstat.ru> (дата обращения: 30.09.2014), свободный. – Загл. с экрана
4. Инновационные направления развития ремонтно–эксплуатационной базы для сельскохозяйственной техники / С.А. Соловьев, В.П. Лялякин, С.А. Горячев [и др.] – М.: «Росинформагротех», 2014. –154с.
5. Череваченко, А.С. Конструктивно-технологические решения соединений металл-композит, работающие на отрыв / А.С. Череваченко // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – 2012. – Вып.1(73). – С.14-20.
6. Карпов, Я.С. Проектирование и конструирование соединений деталей из композиционных материалов: учеб. Пособие по курсовому и дипломному проектированию / Я.С. Карпов, С.П. Кривенда, В.И.Рябков. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1997. – 201с.
7. Корженевский, А.В. Проектирование и экспериментальное исследование прочности клеештифтового соединения деталей из композиционных материалов / А.В. Корженевский // Вопросы оптимизации тонкостенных силовых конструкций летательных аппаратов. Тематический сборник научных трудов. – Вып.4. – Харьков, 1983. – С.16-20.
8. Сорокина, И.И. Восстановление корпусных деталей сельскохозяйственной техники при ремонте полимерными композиционными материалами: дисс. на соискание уч. степ. канд.техн.н. // Калужский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана), 2017.

**Работа выполнена под руководством к.т.н., доцента кафедры «Материалы и технология» Завражина Д.О. в рамках гранта для поддержки прикладных исследований молодых ученых Тамбовской области №36-МУ-19(02) от 30.05.2019г.*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЙОДОМ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ

Столяров Р.А., Блохин А.Н., Ягубов В.С., Шевцова О.В.,
Горшкова П.А., Илларионов И.А.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
vitya-y@mail.ru

Для большинства известных модификаторов предельные показатели равномерности их распределения в полимерных матрицах и предельные значения электропроводности уже давно достигнуты. Однако, многие ученые пытаются увеличить электропроводность композитов за счет структурирования наполнителя. Например, воздействием электромагнитным полем на композит, что позволяет определенным образом выстроить перколяционную сеть, состоящую из частиц наполнителя. Под порогом перколяции электрической проводимости понимают ее увеличение более чем на 2 порядка с повышением массового содержания наполнителя [1].

Одним из самых перспективных наполнителей композитов среди углеродных наноматериалов (УНМ) являются многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ) [2]. Именно благодаря применению МУНТ в композитах наблюдаются двойные пороги перколяции, что является уникальным функциональным свойством. Учеными доказано, что наименьших значений перколяционного порога удается достичь при локализации наполнителя на границе раздела двух фаз. В целях улучшения электропроводящих свойств известны предварительные методы обработки МУНТ. Например, декорирование поверхности МУНТ драгоценными металлами (серебро, золото) [3], функционализация МУНТ электропроводящими полимерами: полипиролл, полианилин и др. Данные методы экономически не выгодны для получения промышленных партий композитных материалов с повышенной электрической проводимостью.

В связи с этим в рамках настоящей работы исследовали возможность галогенирования композитов, после введения в их состав МУНТ. Для этого использовали порошкообразный полиметилметакрилат (ПММА), а МУНТ наносили на поверхность его микрочастиц, создавая поверхностный проводящий слой, в шаровой мельнице. После чего из полученной смеси методом прессования получали образцы, которые галогенировали в газовой фазе парами йода. В качестве электропроводящей дисперсной фазы применяли МУНТ "Таунит-М", полученные от ООО «НаноТехЦентр» (Тамбов, Россия). Для галогенирования композитов ПММА и МУНТ применяли гранулированный кристаллический йод, чистотой 99,9 %. Определение проводимости образцов при температуре 25 °С проводили с помощью тераомметра «Е6-13А», по методу, описанному в работе [4].

Согласно результатам, представленным на рисунке 1 заметно, что верхняя точка порога перколяции достигалась при 2 масс.% МУНТ в ПММА. Электрическая проводимость при этом составляла $9,02 \times 10^{-4}$ См \times см⁻¹. Кривая, описывающая электрическую проводимость композитов ПММА+МУНТ+I лежит выше чем кривая, описывающая электрическую проводимость композитов не галогенированных йодом. Данный тип легирования композитов приводил к увеличению электрической проводимости в целом на 1 порядок. Для галогенированного йодом композита ПММА, модифицированного 1, 2 и 4 масс.% МУНТ электрическая проводимость увеличивалась в 7; 3,6 и 4 раза, соответственно.

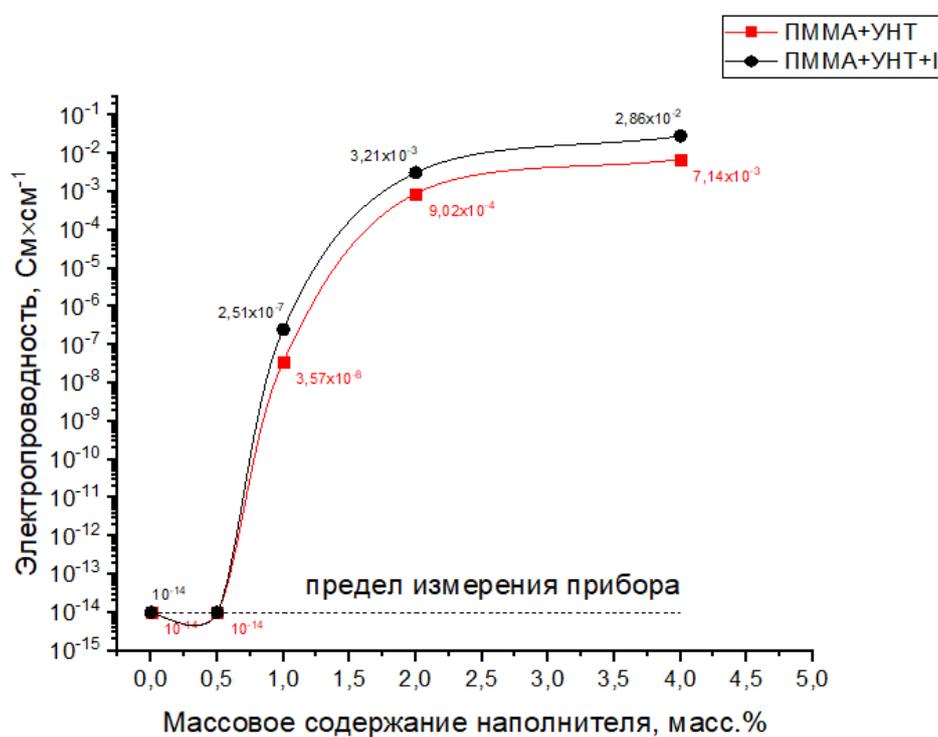


Рисунок 1. Электропроводность композитов на основе ПММА, модифицированного МУНТ.

Проведенные исследования доказывают, что легирование композитов галогенами йода является перспективным и новым направлением улучшения электрофизических свойств композитов с классическим набором наполнителей и полимерных матриц.

Список используемых источников.

1. Шестаков, А. С. Токпроводящие клеи. Механизмы проводимости / А.С. Шестаков, В.И. Привалов // Информационно-технологический вестник. – 2016. – Т. 10. – №. 4. – С. 90-96.
2. Ткачев, А.Г. Углеродные наноматериалы. Производство, свойства, применение. – Машиностроение, 2008.
3. Харламова, М.В. Донорное легирование одностенных углеродных нанотрубок путем заполнения каналов серебром /М.В. Харламова, Д. Ниу // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2012. – Т. 142. – №. 3. – С. 547-555.
4. Ягубов, В.С. Электропроводность и механические характеристики композитов на основе хлоропренового каучука, модифицированного углеродными наноматериалами / В.С. Ягубов, А.В. Щегольков // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. – 2019. – Т. 25. – №. 2.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-19121.

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО УГЛЕРОДНОГО МАТЕРИАЛА ИЗ СВЕКЛОВИЧНОГО ЖОМА

Кайдар^{1,2} Б.Б., Смагулова^{1,2} Г.Т., Мансуров^{1,2} З.А.

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан, bayan.kaidar@kaznu.kz

²РГП на ПХВ «Институт проблем горения» КН МОН РК, г. Алматы, Казахстан

Новая «эра» науки во всем мире была отмечена открытием наноматериалов. Благодаря уникальности их физико-химических свойств и перспективам практического применения углеродные материалы занимают особую позицию в промышленности. Актуальность работы обусловлена необходимостью утилизации большого количества свекловичного жома, образующегося в ходе получения кристаллического сахара из сахарной свеклы. Карбонизация и последующая химическая активация полисахарида позволяет получить наноструктурированный углеродный материал с дальнейшей перспективой использования в различных сферах промышленности. Обжиг исходного материала при оптимизированной температуре и пост-активации с помощью NaOH значительно влияют на конечную удельную ёмкость и производительность. Установлено, что NaOH можно использовать в качестве активирующего агента вместо KOH, что является более выгодным в снижении конечной стоимости продукта.

Сахарная свекла (*Beta vulgaris L. ssp vulgaris var*) является одной из разновидностей культурного вида обыкновенной свеклы (*Beta vulgaris*), относящейся к семейству Амарантовых (*Amaranthaceae*) или Маревых (*Chenopodiaceae*). Сахарная свекла относится к двулетним растениям, так как в первый год происходит формирование корнеплода, насыщенного сахарозой, и розетки листьев. А во второй год образуются генеративные органы [2]. Сахарная свекла является важнейшей технической культурой, которая используется в качестве сырья для производства 35-50% сахара в мире [3].

Производство сахарной свеклы приводит к получению побочных продуктов, таких как свекловичный жом, фильтрационный осадок и меласса. Побочные продукты переработки сахарной свеклы – жом и меласса являются ценными кормовыми добавками в животноводстве. Согласно отчётам по посевным площадям в РК в 2019 г. было посеяно 19,6 тыс. га сахарной свеклы, что приблизительно равно 980 тыс. тонн сахарной свеклы (согласно усредненным данным за 1 га ~ 500 ц.), из которой 36 % от массы свеклы составляет количество отжатого жома, что даёт нам усредненное количество перспективного получения сухого свекловичного жома в объёме 352,8 тыс. тонн в год.

Известно, что корни сахарной свеклы имеют очень высокое содержание растворимого сахара, высокое содержание пектина и гемицеллюлозы в углеводах и относительно низкое содержание лигнина [4, 5]. Таким образом сахарная свекла, а в частности свекловичный жом является перспективным растительным сырьем для производства биокompозитных материалов и сорбентов на её основе.



Рисунок 1. Процесс производства сахара из сахарной свеклы.

Экспериментальная часть

В работе использовался коммерческий свекловичный жом, производства компании «Идальго», Алтайский край, г. Барнаул. Свекловичный жом представляет собой обессахаренную свекловичную стружку коричневого цвета со специфическим запахом. Исходное сырье подвергалось промывке водой с целью отделения от механических примесей с последующей сушкой при температуре от 85 до 105 °С в течение 12 часов. Получение углеродного материала проводили путем предварительной термической обработки в атмосфере аргона в интервале температур от 100 до 700 °С со скоростью нагрева 10 °С / мин.

Процесс карбонизации свекловичного жома проводился в изотермических условиях. С целью получения микропористой структуры угля и тем самым для увеличения удельной поверхности, полученный образец подвергали химической активации с помощью NaOH. Полученный после карбонизации углеродный порошок смешивали с сухим едким натром при соотношении масс (1:2,5), затем добавляли дистиллированную воду и смесь высушивали 24 ч при температуре 120 °С. После сушки, образец направлялся в реактор для дальнейшей термической обработки в атмосфере аргона в интервале температур от 700 до 850 °С со скоростью нагрева 10 °С / мин.

Свекловичный жом после термической обработки при различных температурах анализировали с помощью оптического микроскопа Leica DM 6000 M с 20- и 50-кратным увеличением и 3D сканирующего электронного микроскопа Quanta 200i. Чтобы определить влияние термической обработки на исходный состав свекловичного жома, был проведен элементный анализ углеродных образцов, полученных при различных температурах. Также исследовали суммарный объем пор по воде согласно ГОСТу 17219-71 [6]. Определение содержания влаги адсорбентов проводили по ГОСТ Р 55956-2014 [7].

Список используемых источников.

1. Послание Президента Республики Казахстан Н. Назарбаева народу Казахстана «Построим будущее вместе!» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.akorda.kz/ru/addresses/addresses_of_president/poslanie-prezidenta-respubliki-](https://www.akorda.kz/ru/addresses/addresses_of_president/poslanie-prezidenta-respubliki)

kazakhstan-n-a-nazarbaeva-narodu-kazakhstana-28-01-2011-g_1340624589. – (Дата обращения: 28.01.2011).

2. Свекловичный жом / Е. Бианкарди [и др.] // Корнеплоды и клубнеплоды. – 2010. – №7. – С. 173-219. (in English)

3. Таблицы ежегодников сахара и подсластителей. Министерство сельского хозяйства США [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ers.usda.gov/data-products/sugar-and-sweetenersyearbook-tables.aspx>.

4. Асади, М. Справочник по свекле и сахару / М. Асади. – Нью Джерси.: Хобокен, 2007. – 97 с. (in English)

5. Алкарированное ферментативное снижение вязкости суслу сахарной свеклы для нового процесса производства биоэтанола / Х. Такахаши [и др.] // Биомасса и Биоэнергия. – 2010. – №9. – С. 1336-1341. (in English)

6. ГОСТ 17219-71. Угли активные. Метод определения суммарного объема пор по воде. –М.: Издательство стандартов, 1987. – 11-14 с.

7. ГОСТ Р 55956-2014. Уголь активированный. Стандартные методы определения содержания влаги. –М.: Стандартинформ, 2014. – 1-6 с.

УЛУЧШЕНИЕ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ И ФТОРИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Шиликов А.В., Попов М.А., Ермолов Д.Ю.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

E-mail: john4589tr98@gmail.com

В настоящее время углеродные наноматериалы, особенно одно стенные и много стенные углеродные нанотрубки широко используется в качестве наполнителей, для армирования полимерных композитов. Во многих случаях низкая полярность поверхности углеродных наноматериалов, а так же адгезия полимерной матрицы между наполнителями и полимерной матрицей слишком низка, что бы обеспечить заметное усиление. Кроме того углеродные нанотрубки имеют тенденцию агломерировать в полимерной матрице. Для увеличения поверхностной энергии и адгезионных свойств наполнители должны быть модифицированы. Большое разнообразие методов модификации применяются к модифицированным углеродным нано материалам: плазменная, плазмохимическая обработка, прививка мономеров, кислотная обработка. Одним из наиболее перспективных методов является прямое фторирование, то есть обработка газообразным фтором при повышенной температуре. [1-2]

После проведения исследования, фторированные углеродные нанотрубки более эффективны в качестве наполнителей, чем обычные. Это было подтверждено механическими испытаниями и исследованиями электронной микроскопии. Предел прочности и модуль упругости был увеличен на 66% по сравнению с УНТ в 60%. Добавление фторированных углеродных нанотрубок в эпоксидную матрицу не влияет на термостабильность композитов ниже 275 °С. Использование 0,5 масс % фторированных углеродных нанотрубок в композитах, привело к увеличению на 25% температуропроводности. Фторированные углеродные нанотрубки более эффективны при уменьшении истирания по сравнению с обычными углеродными нанотрубками [3]. Фторированные УНТ более эффективны, чем нетронутые. Цена углеродных нанотрубок со-

ставляет 60 рублей за 1 грамм, а цена фтора 214 рублей за килограмм. Добавление фтора в углеродные нанотрубки даёт нам значительный прирост при достаточно низкой цене самого фтора, что говорит нам о целесообразности проведения данного улучшения.

Список используемых источников.

1. Ростамян Ю. Экспериментальное исследование механических свойств нанокompозита на эпоксидной основе с использованием полимерных легированных и различных нано армирующих добавок: нано волокна, нано слои и нано частицы материалов / Ю. Ростамян, А. Ферейдун, А. Х. Мешхадзе // *Sci. Eng. Compos. Mater.* – 2015. – С. 591-598.

2. Шекар К. С. Эффект многослойного углеродного амина армирования нанотрубок на изгибные свойства чистой эпоксидной смолы / К. С. Шекар, Б. А. Прасад, Н. Е. Прасад, // *Механическое материаловедение.* – 2014. – С. 592-594

3. Шульга Ю. М. Масс-спектрометрическое исследование газов, выделяемых фторированными одно стенными углеродными нанотрубками при нагревании / Ю. М. Шульга, А. В. Мартыненко, А. П. Крестинин // *Международная водородная энергия.* – 2011. – Т.46. – С. 1349-1354.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ФТОРИРОВАНИЯ НА СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Ящишин Н.Ю., Блохин А.Н., Зайцев И.А.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
inikola1997@mail.ru

Вследствие значительной удельной поверхности, термостабильности, а также непревзойденным прочностным характеристикам углеродные наноматериалы обладают возможностями обширного использования в составе облегченных полимерных композитов. Данные материалы могут быть использованы в разных отраслях, таких, как авиа- и автомобилестроении, декоре, упаковке продуктов питания [1]. Но прогнозируемый результат зачастую превосходит реальный существующий и наблюдаемый на практике. Данное явление связано с небольшой величиной адгезии углеродных наноматериалов к полимерным матрицам, а также их предрасположенностью к агломерации. С целью увеличения сродства полимерных матриц с наполнителем и усовершенствования диспергируемости углеродных наноматериалов их подвергают модификации. Самым часто используемым методом считается прямое фторирование, подразумевающее под собой воздействие газовых смесей фтора при температуре от 20 °С до 500 °С. Используя данный метод наблюдается улучшение растворимости углеродных нанотрубок (УНТ) в растворителях, полимерных матрицах, что приводит к повышению прочностных характеристик, и разница этих композитов по сравнению с наполненными немодифицированными УНТ велика [2-3].

На рисунке 1 представлены Ик спектры исходных и фторированных УНТ неразбавленным фтором при давлении 0,7-0,8 атм. Температура фторирования и время обработки составляют: 150 °С и 2 часа (2); 150 °С и 10 минут (3); 250 °С и 2 часа (4).

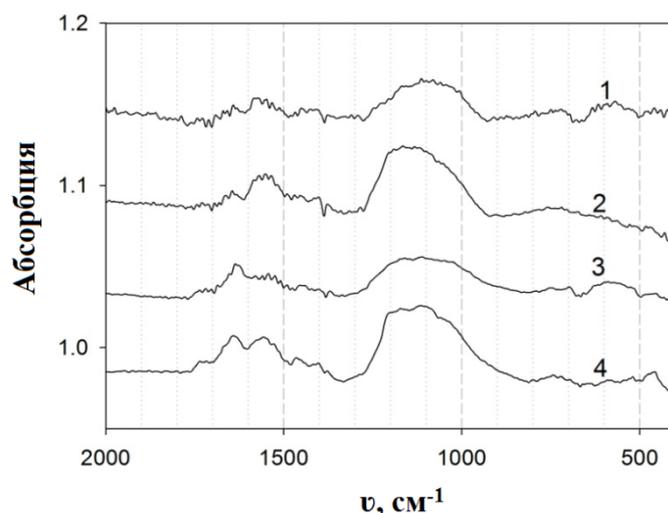


Рисунок 1. ИК спектры исходных (1) и фторированных при (2-4) УНТ. Температура фторирования и время обработки составляют: 150 °С и 2 часа (2); 150 °С и 10 минут (3); 250 °С и 2 часа (4).

Благодаря программе «Grams-32», методом многоточечной коррекции была получена базовая линия для всех исходных спектров. Над данными спектрами на рисунке 1 было проведено корректирование на поглощение по КВг таблеткам. Диффузионная полоса 1200 см⁻¹ появившаяся при фторировании УНТ, связана с поглощением ковалентных связей С-Ф [3-4], из-за этого также возрастает интенсивность полос в диапазоне от 1720 до 1550 см⁻¹. Интенсивность данных полос повышается при увеличении температуры фторирования, это объясняется увеличением степени дефектности углеродной структуры. При температуре фторирования 150°С и 250 °С концентрации связей С-Ф отличаются друг от друга не значительно, но степень дефектности углеродных нанотрубок фторированных при 250 °С выше, чем при 150 °С. Из этого следует, что фторирование рекомендуется проводить при 150 °С.

Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС) УНТ до и после прямого фторирования представлена на рисунке 2. В этом исследовании были выбраны углеродные нанотрубки обработанные фтором при давлении 0,7 атм., температура составляла 150 °С и 2-х часовая выдержка.

Таблица 1.

Составы исходных и модифицированных углеродных нанотрубок.

Исходные УНТ	С:О:F=98:2:0
Фторированные	С:О:F=78:1,3:20,7

На рисунке 2 наблюдаются 4 пика. Первому пику соответствует сигнал от атомов углерода, координированных только углеродом и он равен 285,5 эВ. Второму пику соответствует энергией связи 286,2 эВ. Третий и четвертый пик соответственно 288,1 и 289,1 эВ.

Исходя из проведенных исследований, можно сделать вывод, что связь фтор-углерод имеют определенную особенность. На рисунке заметны образования пиков, образующиеся благодаря углероду при выстраивании связей с фтором, который в свою очередь окружен атомами, также имеющими связь с фтором. Вероятнее всего это связано с исходной дефектностью УНТ и фтор сначала выстраивается в эти участки, тем самым укрепляя данную структуру. Поэтому данное влияние положительно сказывается на прочностных характеристиках и не только.

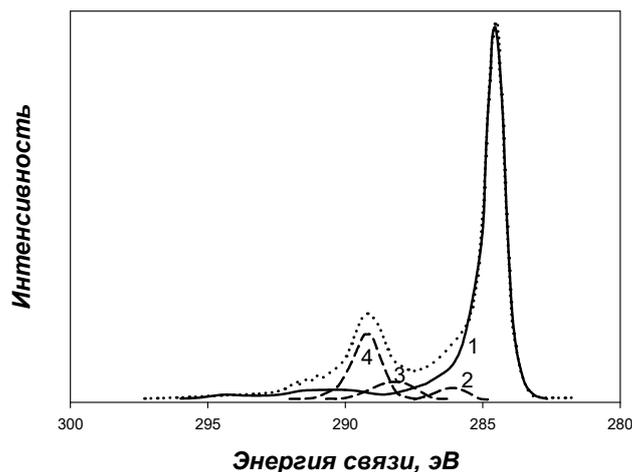


Рисунок 2. РФЭС исходных УНТ (непрерывная линия) и фторированных при 150 °С УНТ (1, точечная линия).
2, 3 и 4 – выделенные при фиттинге линии для фторированных УНТ.

Полагаясь, на проведенные исследования, можно сказать, что фторированные УНТ в сравнение с исходными обладают более улучшенными свойствами и характеристиками. Благодаря заполнению дефектных участков, они укрепляют структуру углеродного материала и положительно влияют на него. Поэтому с позиции упрочнения, фторированные УНТ, показывают себя очень хорошо. Чего не скажешь про исходные УНТ.

Список используемых источников.

1. Батаев, А.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение: учебник / А.А. Батаев, В.А. Батаев.-Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 384 с.
2. Черкасов, В.Д. Влияние волокнистых наполнителей на диссипативные свойства полимерного композиционного материала на основе эпоксидной смолы / В.Д. Черкасов, В.В. Авдонин, Н.С. Аникина // Сборник трудов конференции «Перспективные материалы». - М.: Изд-во: - 2017. – С. 12-15.
3. Миронова, С.А. Исследование композитов, модифицированных углеродными нанотрубками, на устойчивость к изгибающим и растягивающим нагрузкам / С.А. Миронова, И.А. Зайцев, А.А. Пасько, Н.Ю. Яцишин // Наука и инновации в XXI веке: актуальные вопросы, открытия и достижения, сб. ст. IX Международной научно-практической конференции. – Пенза: Изд-во «Наука и Просвещение" ИП Гуляев Г.Ю., 2018. – С. 27-30.
4. Lee, Y.-S. Surface properties of fluorinated single-walled carbon nanotubes / Y.-S. Lee, T.H. Cho, B.K. Lee, J.S. Rho, K.H. An, Y.H. Lee // J. Fluorine Chem.-2003.-V.120.-P.99-104.
5. Socrates, G. Infrared Characteristic Group Frequences / 3rd edition, Chichester; N.Y.;Brisbane; Weinheim, Toronto, Brisbane, Singapore: John Wiley & Sons, 2001.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПЕНОПОЛИУРЕТАНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ГРАФЕНОВЫМИ НАНОПЛАСТИНКАМИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Столяров Р.А., Чапаксов Н.А., Герасимова А.В., Шевцова О.В.,
Горшкова П.А., Илларионов И.А.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
tcharaxov.nikolaj@yandex.ru

На сегодняшний день проблема загрязнения окружающей среды электромагнитным излучением (ЭМИ) становится все более актуальной, ввиду его негативного влияния на здоровье человека [1, 2]. Поэтому актуальной задачей является создание материалов, способных препятствовать распространению ЭМИ [3]. Среди материалов способных адсорбировать ЭМИ особое место занимают графеновые материалы, поскольку обладают отличной электропроводностью по сравнению с другими углеродными наноструктурами [4].

Цель работы заключалась в изготовлении материала способного эффективно экранировать ЭМИ на основе графеновых нанопластинок (ГНП).

В работе были получены композиционные экранирующие материалы на основе пенополиуретана пропитанного раствором, содержащим графеновые нанопластины (ООО «НаноТехЦентр» г. Тамбов). В качестве связующего использована фенолформальдегидная смола (ФФС) (Фенотам GR-326), что способствовало не только повышению адгезии графена к полимерной матрице, но и позволило получить образцы материалов с высокой концентрацией наноматериала.

В качестве основы использованы листы пенополиуретана размером 220x220x10 мм. Перед пропиткой листов пасту ГНП/ФФС разбавляли дистиллированной водой и обрабатывали на гомогенизаторе для получения однородной суспензии. Затем методом пропитки были получены образцы содержащие 10, 2, 28, 40, 50 % масс ГНП. Сушка осуществлялась в потоке горящего воздуха с непрерывным вращением.

Измерение электродинамических характеристик (коэффициентов экранирования и отражения) композиционных пенополиуретанов проводили на установке, схема которой представлена на рисунке 2 в соответствии с методикой, описанной в работе [5].

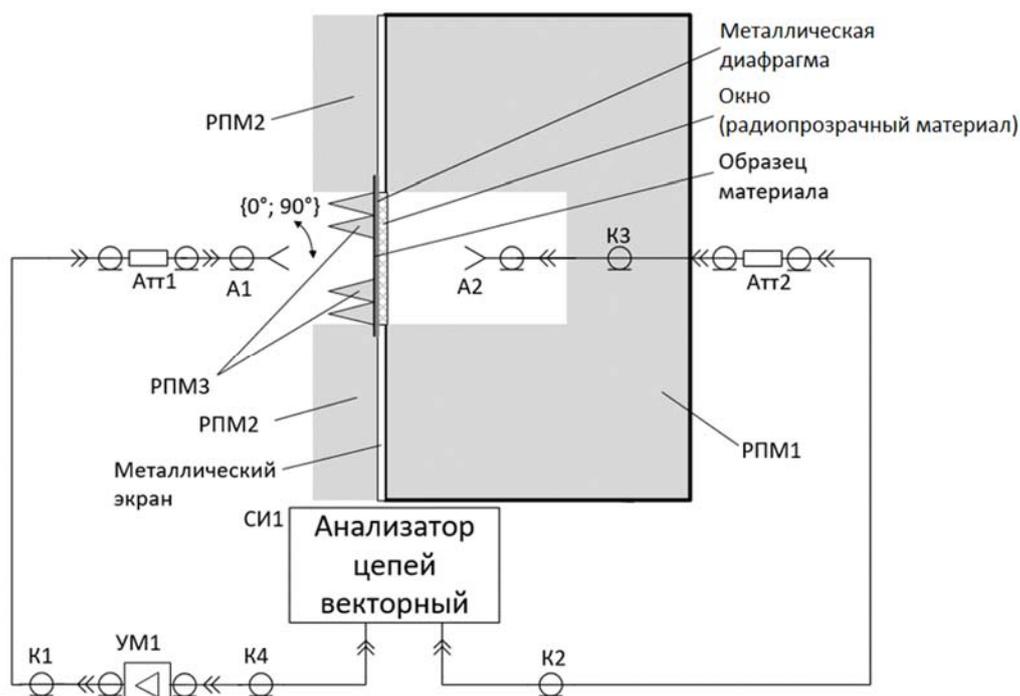


Рисунок 1. Схема установки для исследования электромагнитных параметров.

Результаты исследования электромагнитных параметров изготовленных материалов представлены на рисунке 2.

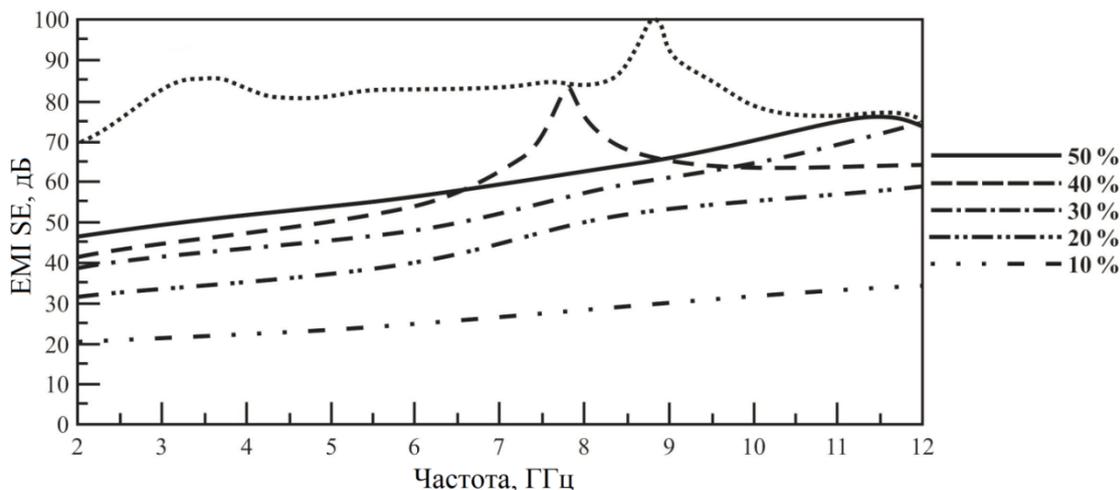


Рисунок 2. Результаты исследования электромагнитных характеристик полученных композитов.

При исследовании электромагнитных характеристик полученных композитов (рис. 2) обнаружено, что с увеличением концентрации ГНП эффективность экранирования значительно возрастает и достигает 75 дБ на частоте 12 ГГц при содержании модификатора 50 масс.%. Такой рост, вероятно, связан с увеличением электропроводности композита.

Таким образом, полученные результаты демонстрируют перспективность данного метода получения композитных материалов для защиты от электромагнитного излучения в диапазоне частот от 2 до 12 ГГц.

Список используемых источников.

1. Temperature induced in human organs due to near-field and far-field electromagnetic exposure effects / Wessapan T., Rattanadecho Ph. // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2018. V. 119. P. 65-76.
2. Measurement and analysis of human exposure to electromagnetic fields in the GSM band / Pasquino N. // Measurement. 2017. Vol. 109. P. 373-383.
3. Flexible thermoplastic polyurethane/reduced graphene oxide composite foams for electromagnetic interference shielding with high absorption characteristic / Jiang Q., Liao X., Li J., Chen J., Wang G., Yi J., Yang Q., Li G. // Composites Part A. 2019. Vol. 123. P. 310-319.
4. Electrical properties and applications of graphene, hexagonal boron nitride (h-BN), and graphene/h-BN heterostructures / Wang J., Ma F., Liang W., Sun M. // Materials Today Physics. 2017. V. 2. P. 6-34.
5. A Method for the Measurement of Shielding Effectiveness of Planar Samples Requiring No Sample Edge Preparation or Contact/ Andrew C. Marvin, Linda Dawson, Ian D. Flintoft, John F. Dawson// IEEE Transactions on electromagnetic compatibility.– May 2009.– Vol. 51, №. 2.– P. 255–262.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-19121.

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОГРАФИТОВ В ИЗОЛИРУЮЩИХ СРЕДСТВАХ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Бакунин Е.С., Образцова Е.Ю., Рухов А.В., Истомина А.М.
Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
Jack1400@mail.ru

В настоящее время большие усилия прикладываются для создания оборудования спасающего жизнь человека в чрезвычайных ситуациях. Не являются исключением и изолирующие средства защиты органов дыхания человека. Основным элементом таких систем – регенеративные поглотительные патроны, заполненные веществом, поглощающим углекислый газ (выдыхаемый человеком) и выделяющим кислород, например надпероксида щелочных и щелочноземельных металлов. В результате протекающей химической реакции выделяется большое количество тепла, которое может привести к локальному перегреву регенеративной массы и преждевременному выходу ее из строя. Естественное охлаждение затруднено низкой теплопроводностью массы поглотителя.

Решение данной проблемы видится за счет повышения теплопроводности вещества поглотителя, например, введением в него графита, обладающего хорошими тепловыми свойствами. Однако такой подход показал наряду с решением задачи нормализации теплового режима повышение массы поглощающего патрона. Решением этой проблемы может стать применение нанографита. Под нанографитом в данном случае понимается структура, состоящая из нескольких графеновых слоев, толщина которой не превышает 100 нм. Обладая высокой тепло- и электропроводностью, данный материал имеет значительную удельную поверхность. Это позволяет обеспечить высокие теплопроводные свойства поглотителя, сохранив при этом неизменными массогабаритные характеристики.

Перспективным методом получения нанографита является технология, реализующая инновационный подход - электрохимическую эксфолиацию природного графита под действием импульсного электрического тока в щелочном электролите. Данный метод не так давно привлек внимание ученых по всему миру как способ легкого, быстрого и экологически чистого производства нанографита. В настоящее время нами производится совершенствование прикладных технологических приемов данного процесса, поиск рациональных режимов его проведения, обеспечивающих наибольший выход и управляемое качество целевого продукта.

Одна из новейших методик синтеза графитовых наноструктур это применение щелочных электролитов, имеющих ряд преимуществ перед другими. Данное направление не имеет аналогов в России, его развитием в настоящее время занимается коллектив авторов. Ведутся синтезы на лабораторном пилотном электролизере, а также исследование кинетики процесса электрохимической эксфолиации графита. Изучаются различные области применения полученного материала.

Работа выполнена при поддержке Управления образования и науки Тамбовской области, проект №38-МУ-19(02).

ВЛИЯНИЕ ФТОРИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРНОГО НАНОКОМПОЗИТА

Зайцев И.А., Блохин А.Н., Ящишин Н.Ю.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

i.zayczew@rambler.ru

Среди многообразия конструкционных материалов наиболее востребованными и широко применяемыми практически в каждой сфере человеческой деятельности являются полимеры. Полимерные материалы являются основным компонентом для производства изделий, применяемых в решении разноплановых задач, начиная от изготовления декора и украшений, заканчивая использованием их в авиа- и ракетостроении. Такая широкая популярность связана с возможностью добавления в полимерное связующее разнообразных наполнителей и добавок, что приводит к созданию нового материала, свойства которого количественно и качественно отличаются от параметров каждого из его составляющих. Из-за повсеместного использования и большой конкуренции, требования, предъявляемые к эксплуатационным характеристикам полимерным материалам, становятся выше. Благодаря высокой удельной поверхности, термостабильности и уникальным механическим характеристикам, соответствовать этим требованиям могут помочь углеродные нанотрубки (УНТ), используемые в качестве модификаторов полимерных матриц.

Однако ожидаемый полезный эффект часто на порядки превосходит реально наблюдаемые на практике результаты, что связано с малой величиной адгезии углеродных наноматериалов к полимерным матрицам и их склонностью к агломерации. Одним из наиболее перспективных методов решения данных проблем является прямое фторирование, под которым подразумевается воздействие газовых смесей фтора с присоединением к поверхности или концам углеродных нанотрубок атомов фтора. В результате могут меняться физико-механические, электрофизические и другие свойства углеродных нанотрубок. Таким образом, фторирование служит мощным инструментом для ковалентного модифицирования поверхности углеродных материалов, что доказано в работе [1].

При фторировании удельная поверхность УНТ возрастает (табл.1).

Таблица 1.

Влияние фторирования на удельную поверхность УНТ.

Образец	Фторирующая смесь	Давление смеси, атм	Температура фторирования, °С	Время фторирования, час	Удельная поверхность, м ² /г
Исходные УНТ	-	0	-	0	105
Фторированные УНТ	F ₂	0,7	250	2	166
Фторированные УНТ	80%F ₂ +20%O ₂	0,7	150	2	180
Фторированные УНТ	F ₂	0,7	150	2	238

Наибольший прирост удельной поверхности – в 2,26 раза – зарегистрирован для образца, обработанного при температуре 150 °С. Повышение температуры фториро-

вания до 250 °С либо введение кислорода во фторирующую смесь дает меньший эффект. Увеличение удельной поверхности при фторировании может положительно влиять на упрочняющий эффект УНТ при введении их в эпоксидную композицию. Таким образом, фторированные при 150 °С образцы имеют такую же степень фторирования, как и фторированные при 250 °С УНТ, но более высокую удельную поверхность и меньшее количество дефектов. На основе полученных данных мы предположили, что упрочняющий эффект фторированных при 150 °С УНТ будет максимальным и в дальнейшем для упрочнения эпоксидных композитов мы использовали именно фторированные при 150 °С УНТ.

Использование углеродных нанотрубок приводит к существенному возрастанию физико-механических характеристик полимерных композитов на основе эпоксидной смолы марки BFE-170 (рис. 1-2).

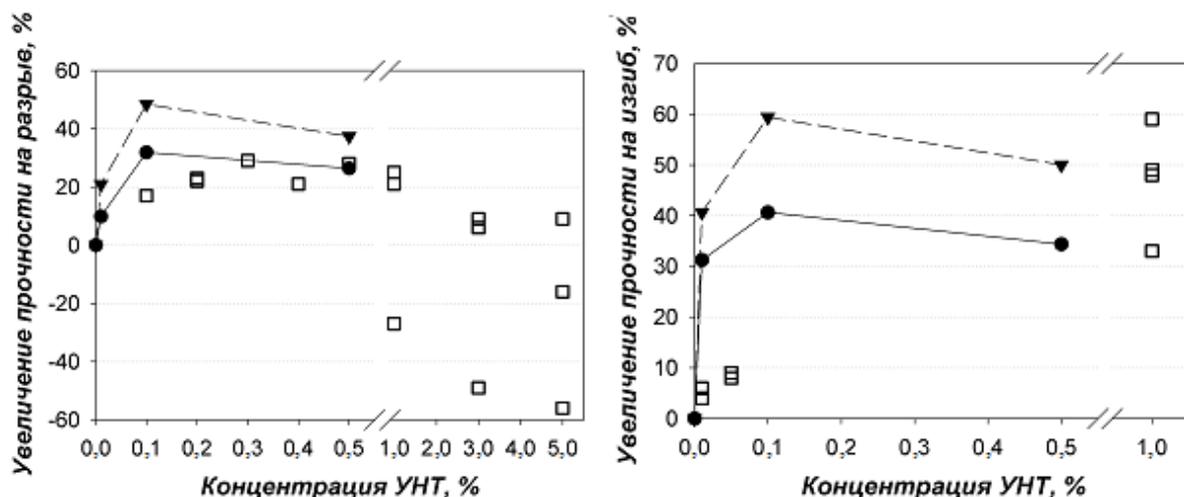


Рисунок 1. Зависимость увеличения прочности на разрыв и прочности на изгиб от концентрации исходных (окружности, непрерывная кривая) и фторированных (треугольники, пунктирная кривая) УНТ (вес. %). Незаполненные квадраты – литературные данные по упрочнению различными наноматериалами [2-7].

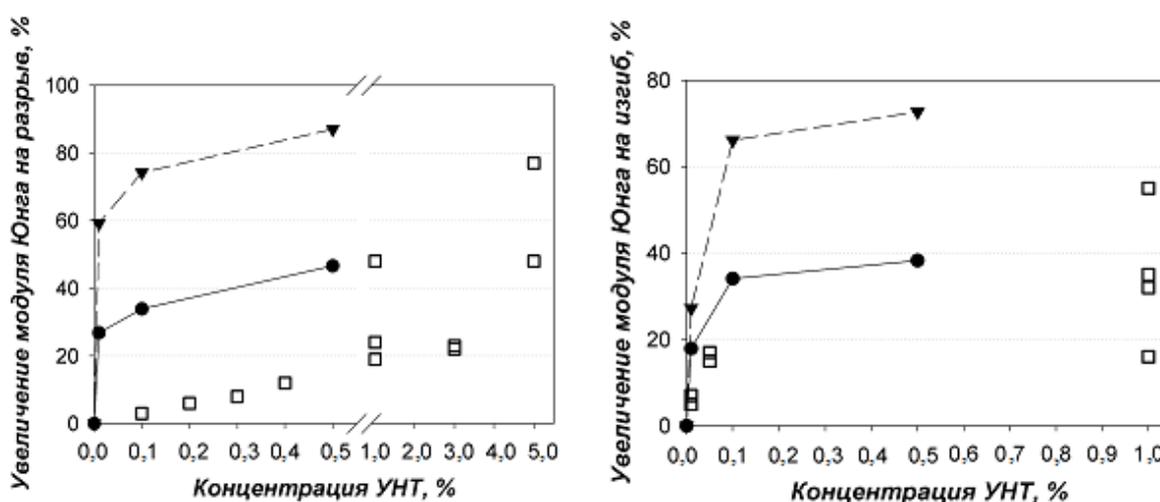


Рисунок 2. Зависимость увеличения модуля Юнга на разрыв и изгиб от концентрации исходных (окружности, непрерывная кривая) и фторированных (треугольники, пунктирная кривая) УНТ (вес. %). Незаполненные квадраты – литературные данные [2-7].

Фторированные УНТ дают лучший эффект по сравнению с исходными УНТ. Наибольший эффект достигается при содержании 0,1 вес.% фторированных УНТ в составе композита: прочность на разрыв возрастает на 50%, прочность на изгиб возрастает на 59%, модуль Юнга при разрыв возрастает на 74%, , модуль Юнга при изгибе возрастает на 66% по сравнению с ненаполненными композитами соответственно. Полученные нами увеличения прочностных характеристик, как видно из рис. 1-2, превосходят литературные данные, полученные с использованием немодифицированных одно- и многостенных УНТ, амино-функционализированных, окисленных и фторированных УНТ, модифицированных эпоксидными группами, нанополианилином [2-7]. Только в одной работе [6] получено такое же увеличение прочности на разрыв, как и наших экспериментах, однако количество введенных в эпоксидную композицию многостенных амино-функционализированных нанотрубок составляет 1%. В наших же экспериментах мы получили такой же эффект при концентрации фторированных УНТ 0,1%, т.е. в 10 раз меньше, чем в [6].

Список используемых источников.

1. Ткачев, А. Г. Упрочнение эпоксидных материалов фторированными углеродными нанотрубками / А. Г. Ткачев, А. П. Харитонов, Г. В. Симбирцева, Л. Н. Харитонova., А. Н. Блохин, Т. П. Дьячкова, В. Н. Дружинина, А. В. Максимкин, Д. И. Чуков, В. В. Чердынцев // *Современные проблемы науки и образования*. – 2014. – № 2.
2. Crassous, H. Groult. Study of the fluorination of carbon anode in molten KF-2HF by XPS and NMR investigations / Groult H. Crassous, F. Lantelme, D. Devilliers, A. Tressaud, C. Labrugere, M. Dubois // *J. Fluorine Chem.* -2009. -V. 130. P. 1080-1086.
3. Zhang, X. Flame-retardant Electrical Conductive Nanopolymers Based on Bisphenol F Epoxy Resin Reinforced with Nano Polyanilines / X. Zhang, Q. He, H. Gu, H.A. Colorado, S. Wei, Z. Guo. // *ACS Appl. Mater. Interfaces.* -2013. -V. 5. P. 898–910.
4. Wanga, Z. Effective Functionalization of Carbon Nanotubes for Bisphenol F Epoxy Matrix Composites / Z. Wanga, H.A. Colorado, Z.-H. Guo, H. Kim, C.-L. Park, H. T. Hahna, S.-G. Lee, K.-H. Lee, Y.-Q. Shang. // *Materials Research.* -2012. -V. 15. P. 510-516.
5. Wang, D. H. Nanocomposites based on vapor-grown carbon nanofibers and an epoxy: Functionalization, preparation and characterization / D.H. Wang, S. Sihn, A.K. Roy, J.-B. Baek, L.-S. Tan // *European Polymer J.* -2010. -V. 46. P. 1404-1416.
6. Zhou, Y. Experimental study on the thermal and mechanical properties of multiwalled carbon nanotube-reinforced epoxy / Y. Zhou, F. Pervin, L. Lewis, S. Jeelani // *Materials Sci. Engng.* -2007. -V. 452-453. P. 657-664.
7. Theodore, M. Characterization of epon 862 reinforced with functionalized MCNT's / M. Theodore, M. Hosur, J. Thomas, S. Jeelani // *Center for Advanced Materials.* -2007. -V. 11. P. 64-74.

ПОЛУЧЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИМЕР-УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ФТОРОПЛАСТА

Чуприкова А.А., Лутовинова Т.А., Поветкина Ю.С.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
zavrazhin-do@yandex.ru

Важной научной и прикладной задачей современного материаловедения является получение нового класса полимерных наномодифицированных и наноструктурированных материалов, предназначенных для использования в машиностроении и аппаратостроении. Эти материалы и изделия используются для повышения ресурса деталей машин, механизмов и технологического оборудования, работающих при высокой температуре, в условиях интенсивного трения, агрессивной и влажной среды [1-4].

Изучение общих закономерностей формирования молекулярно-топологического строения и свойств наномодифицированных полимер-углеродных композитов позволит выработать общие рекомендации для улучшения эксплуатационных характеристик конечных изделий.

В качестве объекта исследования использовался фторопласт марки Ф-4 (ГОСТ 10007-80). В качестве модифицирующих веществ применяли углеродные нанотрубки (УНТ) «Таунит» (производства ООО «Нанотехцентр», Россия, г.Тамбов) - одномерные наномасштабные нитевидные образования поликристаллического графита в виде сыпучего порошка с размером частиц 40-100 нм. Способ получения УНТ: газофазное химическое осаждение (каталитический пиролиз - CVD) углеводородов (СН₄, С_хН_у) на катализаторах (Ni/Mg) при атмосферном давлении и температуре 580-650 °С. Время процесса - 10-80 мин. [5]

Смешение модифицирующих веществ УНТ с порошковым фторопластом предварительно осуществляли в течение 60 сек. в планетарной мельнице Активатор 2 SL, предназначенной для тонкого помола твердых веществ и проведения механохимических реакций. Частота вращения барабанов составляет 1490 об/мин. В качестве перемалывающих элементов использовались шары диаметром 5 мм в количестве 50 шт. Масса одной навески обрабатываемого материала составляет 200 г. Модифицирующие вещества предварительно сушили в вакуумной сушилке при температуре 373 К в течение 1 часа. Полученную смесь высушивали повторно в течение двух часов при температуре 373 К под вакуумом и изготавливали экспериментальные образцы спеканием в пресс-форме.

Основной задачей при формировании композиционных материалов является качественное распределение модифицирующих материалов в полимерной матрице. Использование механоактиватора в режиме активного перемешивания и измельчения позволяет равномерно распределить даже самые малые объемы вносимого модификатора. Оценка распределения модифицирующего углеродного наноматериала производилась с помощью сканирующего электронного микроскопа. Вкрапления углеродных частиц размером не более 40 нанометров равномерно распределенные в матрице полимера на расстоянии до 20 нанометров. Связи между агломератами заметны, но прослеживаются неявно.

Оценка физико-механических свойств полученных композитов проводилась на универсальной испытательной машине УТС 101-5 в режиме одноосного растяжения по ГОСТ 11262-2017.

Полученные результаты свидетельствуют о некотором упрочнении композиционных материалов в сравнении с исходным полимером при концентрации УНТ 0,5 масс.част. и 1 масс. част. При этом, для композитов с массовым содержанием 1,5 масс.част. УНТ отмечено снижение прочностных характеристик. Данное явление можно объяснить вероятным разрыхлением структуры полимерной матрицы.

Проведенные исследования показывают возможность использования малых добавок углеродных нанотрубок (до 1,5 масс.част.) для получения модифицированных полимерных материалов с повышенными прочностными показателями. Разработка рецептур в области малых добавок модификаторов и методов получения модифицированных полимерных материалов с улучшенными эксплуатационными показателями позволит получить новые перспективные материалы с незначительным их удорожанием.

Список используемых источников.

1. Панин, С.В. Научные основы формирования высокопрочных и износостойких полимерных покрытий с наноструктурными наполнителями / С.В. Панин и др. // Физическая мезомеханика, 2006, №9. с.141-144.

2. Елецкий, А.В. Упрочнение полимеров однослойными углеродными нанотрубками // www.nanometer.ru, 2007, №9.

3. Современные технологии получения и переработки полимерных и композиционных материалов / В.Е. Галыгин и др. // Учебное электронное издание на компакт-диске / Тамбов, 2013.

4. Баронин, Г.С. Полимерные композиционные материалы на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена, модифицированного наносиликатами / Г.С. Баронин и др. // Перспективные полимерные композиционные материалы. Альтернативные технологии. Переработка. Применение. Экология: доклады Международной конференции «Композит-2016» (60-летию Энгельсского технологического института (филиала) СГТУ имени Гагарина Ю.А. посвящается). Редактор Панова Л.Г.. 2016. С. 290-294.

5. Ткачев, А.Г. Аппаратура и методы синтеза твердотельных наноструктур: монография / А.Г. Ткачев, И.В. Золотухин // М.: «Издательство Машиностроение-1», 2007. 316 с.

Работа выполнена под руководством к.т.н., доцента кафедры «Материалы и технология» Завражина Д.О. в рамках гранта РФФИ №19-43-680001 р_а от 19.04.2019г.

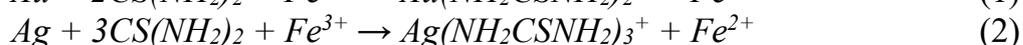
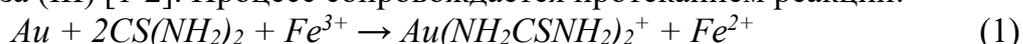
ВЛИЯНИЕ Na_2SO_3 НА ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЗОЛОТА ТИОМОЧЕВИННЫМИ РАСТВОРАМИ

Саидов Н.М., Бобоев И.Р.

Душанбинский филиал НИТУ «МИСУ», г. Душанбе, Таджикистан

Введение

Применение тиомочевина или тиокарбамида (Thio) для переработки золотосодержащего сырья является перспективным направлением [1-2]. Растворение золота в тиомочевинных растворах протекает в присутствии окислителя. Одним из наиболее эффективных окислителей для растворения золота в тиомочевинных растворах является сульфат железа (III) [1-2]. Процесс сопровождается протеканием реакций:



Целью исследования является поиск путей снижения расхода дорогостоящего реагента – тиомочевина.

Материал и методы исследования

Материал. Объектом исследования являлись золотосодержащие отвалы процессов амальгамации и цианирования с содержанием золота 2,4 г/т, а серебра 7 г/т, соответственно.

Методы исследования. Для тиомочевинного выщелачивания использовалась агитационная мешалка верхнеприводного типа.

После выщелачивания пульпа фильтровалась на воронке Бюхнера, подключённой через колбу Бунзена к вакуумному насосу.

Содержание золота в кеках определялось путем пробирной плавки, а также по способу царско-водочного растворения с последующей сорбцией и анализом сорбента на РФА спектрометре.

Результаты и их обсуждение

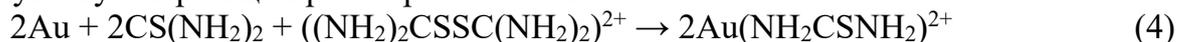
В связи с тем, что в пробе отвалов имелись сорбционно-активные минералы, было проведено сорбционное тиомочевинное выщелачивание.

Установлено, что при минимальной загрузке сульфата железа (III) на уровне 1 кг и тиомочевина на уровне 2 кг, извлечение золота не опускается ниже 60 %. Расход тиомочевина составляет 2,84 кг/т, что является не приемлемым.

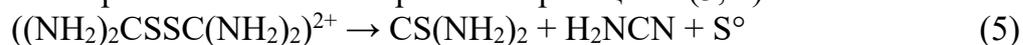
Известно, что высокий расход тиомочевина объясняется разложением её до дисульфатформамина в кислой среде по следующей реакции:



В свою очередь, дисульфатформамин являясь сильнейшим окислителем, активно участвует в реакции растворения золота

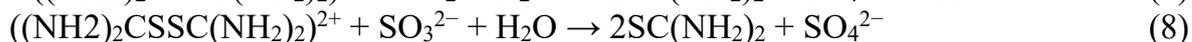
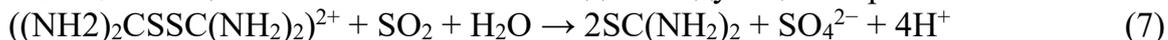


в то же время, дисульфатформамин не устойчив в кислой среде, следовательно, не прореагировавшая часть разлагается по необратимым реакциям (3, 4):



с образованием элементной серы и сероводорода. Элементарная сера пассивируя поверхность золота приводит к снижению извлечения золота, а сероводород к образованию нерастворимых соединений золота в виде AuHS_2^{3-} , AuHS , и AuS^- . Для восста-

новления дисульфатформамина до тиомочевина предлагается вводить в раствор SO₂ или Na₂SO₃. Реакция восстановления выглядит следующим образом:



Учитывая изложенное, были проведены исследования при следующих условиях:

1. Кислотная обработка - концентрация кислоты - 0,5 %, продолжительность - 1 ч.;
2. Сорбционное выщелачивание - загрузка тиомочевина - 4,5 кг/т и сульфата железа (III) - 9 кг/т, загрузка угля 10 г/кг, продолжительность 2 ч.

В качестве восстановителя дисульфатформамина в процессе сорбционного выщелачивания использована Na₂SO₃. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Влияние Na₂SO₃ на степень извлечения золота и расход тиомочевина.

Расход Na ₂ SO ₄ , кг/т	4	8	10	12	14
Извлечение Au, %	81,4	82,7	87,5	88,4	88,5
Расход Thio, кг/т	2,7	1,5	1,1	0,8	0,6

Ввод Na₂SO₃ в раствор в процессе сорбционного выщелачивания значительно снижает расход тиомочевина. Кроме того, это положительно сказывается на извлечение золота, достигая 88,4 %. Кроме того были проведены исследования по установлению технологических параметров процесса сорбционного выщелачивания с учетом ввода Na₂SO₃ в раствор. Установлено, что наиболее оптимальным является проведения процесса сорбционного выщелачивания при загрузке тиомочевина - 2 кг/т, сульфата железа (III) – 7 кг/т и соды (Na₂SO₃) – 12 кг/т. Степень извлечения золота при этом не менялась.

Заключение

Исследование по изучению зависимости извлечения золота от загрузки реагентов показывает, что наиболее высокие показатели достигаются при загрузке тиомочевина на уровне 2 кг/т, сульфата железа (III) - 7 кг/т и соды – 12 кг/т. Расход тиомочевина составляет 0,8 кг/т. Извлечение золота составляет ~ 89 %.

Список используемых источников.

1. Панченко А.Ф., Лодейщиков В.В., Хмельницкая О.Д. Изучение нецианистых растворителей золота и серебра. // Цветные металлы. 2001. №. 5. С. 17-20.
2. Радомская В.И., Лосева О.В., Радомский С.М. Применение тиомочевина для концентрирования золота из вторичного сырья. // Вестник ДВО РАН. 2004. №. 1. С. 80-86.

УСТАНОВКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ПЛАСТИНЫ ХЕМОСОРБЕНТА НА ОСНОВЕ ПЕРЕКИСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ В УСЛОВИЯХ ВЫНУЖДЕННОЙ КОНВЕКЦИИ

Рязанов И.В.¹, Балабанов П.В.²

¹ПАО «Электроприбор», г. Тамбов, senior.ryazanov2012@yandex.ru

²Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

В настоящее время актуальна проблема очистки воздуха от загрязнений. Это связано с возросшей техногенной деятельностью и участвующими природными явлениями, сопровождающимися выделением примесей, оказывающих негативное влияние на здоровье человека. Для очистки воздуха и защиты органов дыхания широко применяют средства, содержащие фильтрующе-поглощающие элементы (ФПЭ) на основе твердых сорбентов. Своевременная замена ФПЭ обеспечивает качественную очистку воздуха и надежную защиту органов дыхания. При этом практика показывает недостаточную эффективность средств защиты при замене ФПЭ по расписанию, поскольку в процессе эксплуатации параметры очищаемого воздуха могут существенно меняться.

Для повышения надежности и безопасности использования средств защиты необходимо применять системы мониторинга ресурса защитных свойств (РЗС) ФПЭ. В основе работы таких систем используют различные физические принципы измерения РЗС. В частности, в работах [1, 2] используется химический индикатор, изменяющий свой цвет с увеличением концентрации поглощенного вещества. В работах [3, 4] использована взаимосвязь между диэлектрической проницаемостью ФПЭ и количественной величиной сорбции. При увеличении концентрации поглощенного вещества меняется резонансная частота колебания сорбента, что является мерой его остаточного ресурса. В работе [5] применяют метод измерения сопротивления слоя сорбента вследствие поглощения компонента (химрезисторы). В работе [6] используются полупроводниковые датчики, измеряющие концентрацию поглощаемого компонента на входе и выходе из ФПЭ. Для контроля РЗС также известен тепловой метод [7], предусматривающий бесконтактное измерение температуры поверхности сорбента, являющейся функцией скорости поглощения и остаточной емкости по поглощаемому компоненту.

В качестве ФПЭ использовали химические сорбенты на основе надпероксидов и гидроксидов щелочных и щелочноземельных металлов (Na, K, Ca), которые применяются в качестве основных компонентов изолирующих дыхательных аппаратов и установках регенерации воздуха коллективного типа, для шахтеров, пожарных и военных. Для контроля и управления процессами регенерации воздуха фильтрующе-поглощающими элементами в форме пластин, преимуществами обладает бесконтактный тепловой метод. Это объясняется тем, что бесконтактный тепловой метод позволяет с удовлетворительной погрешностью определять степень исчерпания защитных свойств ФПЭ, являясь, в то же время, неразрушающим. Практическая реализация метода требует знания математической модели процесса теплопереноса в пластине хемосорбента. Задачей данной работы является разработка стенда для экспериментального изучения процесса теплообмена в пластине хемосорбента в условиях ее конвективного обдува газовой смесью, содержащей поглощаемый компонент.

В условно-герметичной камере 11 (рис. 1) объемом 0,17 м³, поддерживается постоянная влажность и температура воздуха, концентрация углекислого газа. Для кон-

троля указанных параметров используются термогигрометр 4 CENTER 313, газоанализатор 12 ХОББИТ-Т-СО2. Подача диоксида углерода осуществляется из баллона 1, оснащенного вентиляем 2 с редуктором 3. В камере размещают пластину хемосорбента с размерами 95×95×0,8 мм. Посредством вентилятора, питаемого от источника 8 Б5-8, пластину обдувают газовой воздушной смесью. С заданным интервалом времени регистрируют температуру поверхности пластины, для чего используется тепловизионная камера 6 Flir A320, передающая данные на компьютер 5 Lenovo.

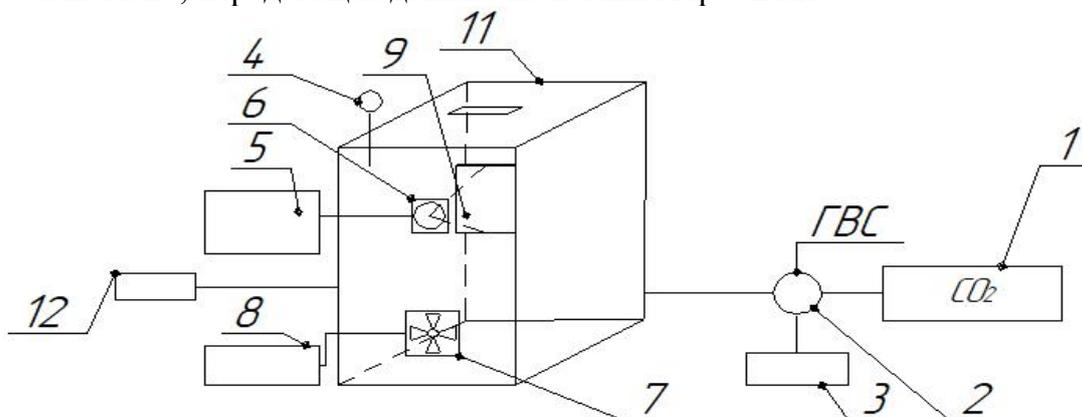


Рисунок 1. Функциональная схема экспериментального стенда.

Были получены экспериментальные кривые зависимости температуры поверхности пластины от времени (рис. 2). Полученные экспериментальные результаты были использованы для определения математической модели пластины ФПЭ в виде передаточной функции, для чего использовался метод Симою [8]. Динамические свойства объекта приближенно представлены передаточной функцией следующего вида,

$W(p) = \frac{k}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}$, где $k = 0,103$ - коэффициент передачи объекта, $T_1 = 0,078$ и $T_2 = 0,234$ - постоянные времени.

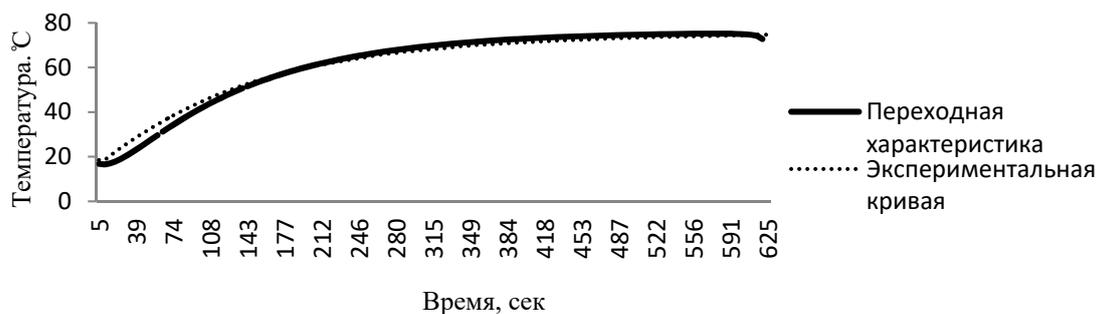


Рисунок 2. График зависимости температуры поверхности ФПЭ от времени.

Результатом работы является экспериментальный стенд, в котором создаются условия для процесса поглощения диоксида углерода пластиной хемосорбента, а также обеспечивается возможность бесконтактного контроля ее температуры. Получены экспериментальные зависимости температуры поверхности пластины от времени, использованные для получения математической модели пластины в виде передаточной функции.

Список используемых источников.

1. Lee A. Greenawald., Gerry R. Boss., Aaron Reeder., Suzanne Bell., Development of a hydrogen sulfide end-of-service-life indicator for respirator cartridges using cobinamide. //

Sensors and Actuators B: Chemical Volume 230, 2016, PP. 658-666
DOI.org/10.1016/j.snb.2016.02.129.

2. Громов О. Б., Дьяченко А. Н., Зернаев П. В. Способ диагностирования состояния сорбента. // Пат. 2459204 РФ.

3. Mason A., Wylie S., Shaw A., Al-Shamma'a A. I., Thomas A., Keele H. Determination of Activated Carbon Residual Life using a Microwave Cavity Resonator // Journal Physics: Conference Series. 2011.Vol. 307. №. 1. PP. 1-6.DOI:10.1088/1742-6596/307/1/012041.

4. Cerro G., Ferrigno L., Ferdinandi M., Laracca M. Metrological Characterization of a Novel Micro sensor Platform for Activated Carbon Filters Monitoring. // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2018. PP. 1-12. DOI: 10.1109/TIM.2018.2843218.

5. Bernard P., Caron S., St. Pierre M., Lara, J. End-of-service indicator including porous waveguide for respirator cartridge // Pat. 6375725 US.

6. Hajime H., Ishidao T., Ishimatsu S. Development of a New Respirator for Organic Vapors with a Breakthrough Detector Using a Semiconductor Gas Sensor // Applied Occupational and Environmental Hygiene.2003. Vol. 18. №2. PP. 90–95. DOI:10.1080/10473220301438

7. Кондронов С.Н. Способ автоматизированного неразрушающего контроля теплофизических свойств фильтрующе-поглощающих систем // Пат. 2419783 РФ.

8. Давыдов Р.В., Петрович М.И. Теория автоматического управления.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТРАНСМЕМБРАННОГО ДАВЛЕНИЯ НА ПРОЦЕСС КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ БЕЛКОВЫХ РАСТВОРОВ, ОБРАЗУЕМЫХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СЫЧУЖНЫХ СЫРОВ

Родионов Д.А., Лазарев С.И., Ромашкина Л.В.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

dimok-407@mail.ru

Молочная сыворотка является вторичным молочным продуктом, образующимся в ходе переработки молока в сыр. При этом, объемы полученной молочной сыворотки могут достигать 80-90% от массы исходного продукта. Из-за короткого срока хранения молочную сыворотку чаще всего сливают в сточные воды, но при этом молочная сыворотка богата белками, минеральными веществами и витаминами [1]. При использовании необходимых технологий полезные вещества из молочной сыворотки можно извлечь. На данный момент широко применяются выпаривание, криоконцентрирование, а так же мембранные методы. Мембранные методы в отличие от термических способов концентрирования молочной сыворотки менее энергозатраты. В своих исследованиях мы используем ультрафильтрационную установку трубчатого типа, технологическая схема, а так же работа установки описана в работе [2,3]. В качестве фильтрующих элементов использовали трубчатые ультрафильтры типа БТУ 05/2 с внутренним расположением мембраны производства ЗАО НТЦ Владипор [4]. В качестве материала мембраны применялись фторопласт и полисульфон. На данной установке мы можем получить экспериментальные значения коэффициента задержания и выходного удельного потока.

После проведенных исследований по влиянию трансмембранного давления на процесс концентрирования молочной сыворотки, мы получаем следующую зависимость, предоставленную на рисунке 1.

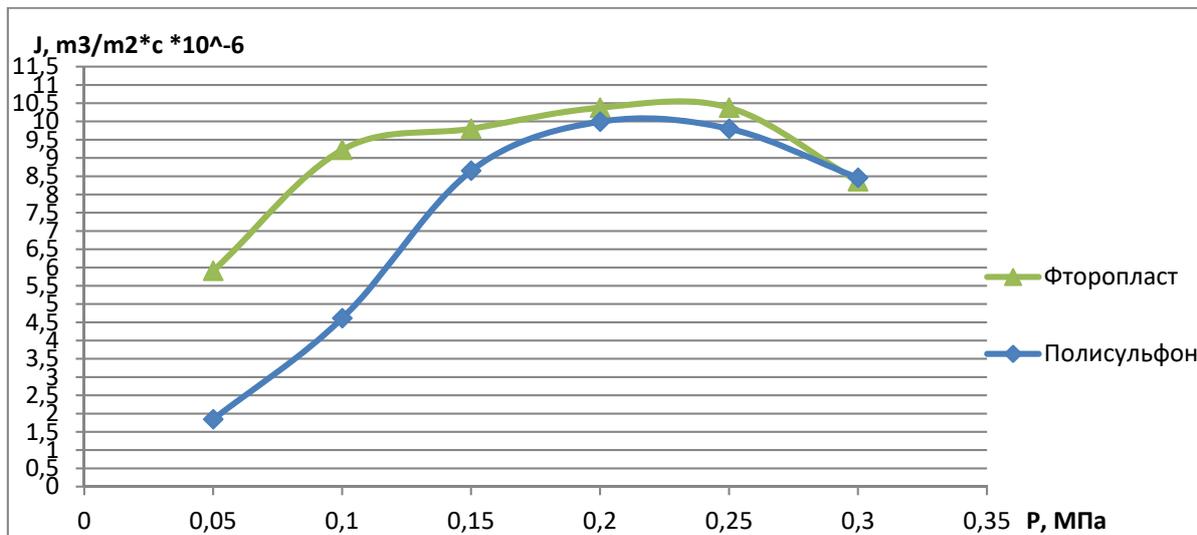


Рисунок 1. Зависимость выходного удельного потока от трансмембранного давления для фильтрующих трубчатых элементов типа БТУ 05/2 с материалом мембран из фторопласта и полисульфона.

Как видно из рисунка 1 оптимальным значением давления является от 0,2 до 0,25 Мпа, в этом диапазоне достигается максимальное значение выходного удельного потока для ультрафильтрационных фильтрующих элементов.

Стоит отметить, что время эксперимента проходило в течение 360 минут при работе ультрафильтрационной температура молочной сыворотки не превышала $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рисунок 2).

Как видно из рисунка 2, наблюдается зависимость роста температуры от времени работы проведения процесса ультрафильтрационного концентрирования. Для двух потоков видно плавное снижение температуры, в данном отрезке времени проходила замена трубчатого элемента с материалом мембраны фторопласт на полисульфон с последующим ее обжатию, после чего эксперимент с новой мембраной продолжался. Стоит отметить, что максимальная температура сыворотки не превышала $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, что согласно данным в работе [5], не приводит к термодеструкции молочной сыворотки, и осуществлять процесс концентрирования возможно без дополнительных систем охлаждения молочной сыворотки.

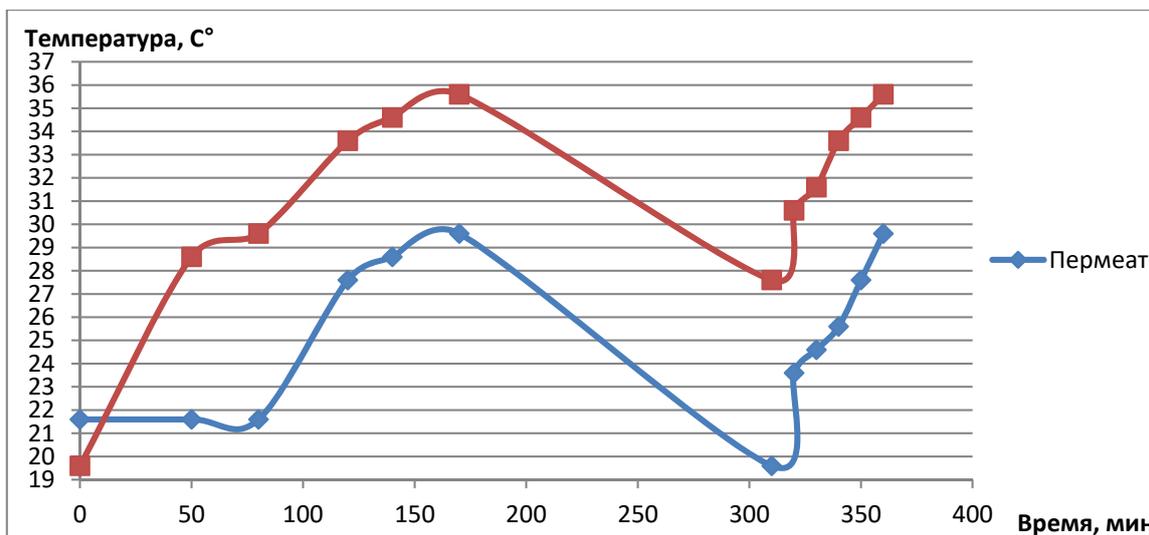


Рисунок 2. Зависимость температуры от времени эксперимента для фильтрующих трубчатых элементов типа БТУ 05/2 с материалом мембран из фторопласта и полисульфона.

Таким образом, концентрирование молочной сыворотки методами мембранной технологии позволяет удалить большую часть влаги, а так же температура молочной сыворотки не повышается выше 40 С°, что не приводит к термодеструкции молочных белков.

Список используемых источников.

1. Храмцов, А.Г. Феномен молочной сыворотки [Текст] / А.Г. Храмцов. –Спб.: Профессия, 2011. – 804 с.
2. Родионов Д.А., Лазарев С.И., Эккерт Е.В., Полянский К.К. Ультрафильтрационная установка для концентрирования молочной сыворотки // Сыроделие и маслоделие. – 2020. – № 1. – С. 40-41.
3. Родионов Д.А. Полупромышленная установка трубчатого типа для концентрирования технологических растворов молокоперерабатывающих производств // Импортозамещающие технологии и оборудование для глубокой комплексной переработки сельскохозяйственного сырья – Тамбов, 2019. – 206-209.
4. ВЛАДИПОР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vladipor.ru/catalog/show/&cid=010&id=1>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 10.05.2020)
5. Попов А.М., Турова Н.Н., Стабровская Е.И., Васильченко Н.В., Коняев А.В. Особенности использования прямого нагрева при концентрировании сыворотки // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2-10. – С. 2124-2128;

ПОИСК И АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МОЛЕКУЛЯРНОГО ИМПРИНТИНГА

Ермолов Д.Ю., Шиликов А.В., Попов М.А.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
ermolov.d.i.m.a.n@yandex.ru

Молекулярный импринтинг — метод получения «молекулярных отпечатков», основанный на полимеризации функциональных мономеров в присутствии специально введенных целевых молекул-темплатов.

Самые впечатляющие результаты получены на органических полимерах, поскольку в этом случае легко варьировать мономеры, сшивающие агенты, а также управлять структурой полимера. Конструирование минеральных матриц пока остается на втором плане. С ними удобно работать, но их трудно контролируемо изменять, а главное — отпечатки, которые на них получаются, зачастую соответствуют шаблону только по форме.

На сегодняшний день существует достаточное количество полимерных материалов принципиально подходящих для молекулярного импринтинга. Также существуют самые различные способы применения веществ с молекулярными отпечатками.

По данным результатам [1] можно сделать вывод, что мембраны на основе одной аминокислоты (лейцина) более перспективны для прочного связывания темплата в молекулярном импринтинге, чем мембраны на основе смеси аминокислот.

Данные статьи [2] показывают, что использование акриламида и метакриловой кислоты в качестве функциональных мономеров является перспективным в качестве разработки сорбентов.

Анализ источника [3] показал, что полимер с молекулярными отпечатками на основе частично имидизированной полиаминокислоты лучше всего сорбирует пальмитиновую кислоту.

В работе [4] полученные результаты указывают на то, что варьируя различные факторы на стадии синтеза полимеров, можно получать сорбенты с различной сорбционной способностью.

Авторы источника [5] пришли к выводу, что биополимеры не подходят для массового производства сорбентов, полученных методом молекулярного импринтинга, так как требуют высоких затрат и имеют низкий импринтинг фактор.

В статье [6] своим заключением авторы подтверждают, что МІР сорбенты гораздо более эффективны по сравнению с их полимерами сравнения и могут составить конкуренцию уже имеющимся сорбентам, таким как углеродный сорбент на основе графена.

В статье [7] авторами, были получены следующие данные:

Таблица 1.

Сополимеризация МАК с ГЭМА и 25 мол.% ДМЭГ. Ненастроенные сорбенты (NIP).

№п/п	МАК, мол.%	ГЭМА, мол.%	Выход, %	ρ , г/см ³	ПОЕ.мг-экв/г		K _{наб.}	
					Вычислено	Найдено	вода	50%ИПС
1	3	72	99	0.75	0.21	0.21	5.0	5.5
2	6	69	99	0.76	0.42	0.41	5.1	5.6
3	9	66	99	0.76	0.63	0.61	5.2	5.8
4	12	63	98	0.74	0.85	0.84	5.2	6.1
5	15	60	98	0.74	1.07	1.04	5.2	6.2

Таблица 2.

Сополимеризация МЭ с ГЭМА и 25 мол.% ДМЭГ.
Молекулярно импринтинговые полимеры (MIP).

№ п/п	МЭ, мол. %	ГЭМА, мол. %	Выход, %	ρ , г/см ³	ПОЕ.мг-экв/г		K _{наб.}	
					Вычислено	Найдено	вода	50% ИПС
1	3	72	93	0.75	0.21	0.28	6.0	8.0
2	6	69	70	0.77	0.42	0.50	3.0	8.0
3	9	66	53	0.75	0.63	0.62	3.2	11.0
4	12	63	53	0.76	0.85	0.78	2.7	8.0
5	15	60	42	0.76	1.07	0.87	2.5	9.2

По данным таблиц 1 и 2 видно, что MIP сорбенты являются более эффективными по сравнению с NIP сорбентами.

Исследования показали, что MIP сорбенты эффективны. А их главное преимущество заключается в направленности сорбента на поглощение конкретного материала. Как сказано в [5] белки и органические биополимеры не подходят для массового производства MIP сорбентов. Поэтому лучше всего использовать простые и не дорогие полимеры и мономеры. По данным статей, они показывают хорошие результаты. Главное подобрать полимер или мономер, а также условия синтеза MIP сорбентов. Лучше всего для этих целей подходят лейцин и смесь аминокислот [1], 1,2,4,5-бензолтетракарбоную кислоту и 4,4'-диаминодифенилоксид [10], акриламид и 2-(диметиламино)-этилметакрилат [4], акриламид и метакриловую кислоту [2].

Список используемых источников.

1. Agilent: Chemical Analysis, Life Sciences, and Diagnostics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: - https://www.agilent.com/cs/library/brochures/Collection_MSU_2013_2014.pdf - МАТЕРИАЛЫ ЛУЧШИХ КУРСОВЫХ РАБОТ ПО АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ М.В.ЛОМОНОСОВА. – (Дата обращения: 2.1.2020)

2. ИСТИНА - Интеллектуальная Система Тематического Исследования НАукометрических данных [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://istina.msu.ru/publications/article/1978674/> - Влияние соотношения функциональный мономер–темплат в предполимеризационной смеси на сорбционные свойства полимеров с молекулярными отпечатками органических соединений. - (Дата обращения: 16.1.2020)

3. Научный журнал "Сорбционные и хроматографические процессы" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: - <http://www.sorpchrom.vsu.ru/articles/20140613.pdf> -

Исследование сорбции пальмитиновой кислоты полимерами на основе частично имидизированной полиамидокислоты. - (Дата обращения: 19.1.2020)

4. Живой Ангарск - Ангарский городской информационно-развлекательный портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: - <http://images.liveangarsk.ru/files/commentuploads/31162e5571d64c0f97e84c65ebf91014-156.pdf> - Синтез и исследование сорбционных свойств полимеров с молекулярными отпечатками кверцетина. - (Дата обращения: 20.1.2020)

5. ИСТИНА - Интеллектуальная Система Тематического Исследования НАукометрических данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: - <https://istina.msu.ru/projects/36240980/> - Молекулярный импринтинг красителей и фенолов в белок, иммобилизованный на поверхности кремнезема. - (Дата обращения: 1.2.2020)

6. ResearchGate. Share and discover research [Электронный ресурс]. – Режим доступа: - https://www.researchgate.net/publication/328592303_Sorbcia_triarylmetanovyh_krasitelej_polimerami_s_molekularnymi_otpecatkami - Сорбция триарилметановых красителей полимерами с молекулярными отпечатками. - (Дата обращения: 8.2.2020)

7. Научный журнал "Сорбционные и хроматографические процессы" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: - <http://www.sorpchrom.vsu.ru/articles/20110612.pdf> - Синтез новых гидрофильных полимерных сорбентов, несущих импринт-сайты эритромицина. - (Дата обращения: 4.2.2020)

ТЕНДЕНЦИЯ РАЗВИТИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА МЯГКИХ СОРТОВ СЫРА

Штиль А.Н.

*Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
anastasya.shtil@yandex.ru*

Многие исследования признают, что сыр – это очень питательный, биологически полноценный, легко усваиваемый продукт. Это незаменимый и обязательный компонент рациона питания человека. В последние годы рынок сыра сильно изменился. Изменения произошли во взаимоотношениях между производителями молока, молочной промышленностью и торговлей, а также необходимостью резкого увеличения объемов производства сыров, которые требуют решения задачи поиска рациональной технологии, ассортимента и систем организации их производства.

Сегодня известна главная роль пищевых продуктов в обеспечении здоровья населения. Сбалансированное питание способствует укреплению иммунитета человека, улучшению самочувствия и созданию условий для продления жизни [1].

Главное требование к таким изделиям – их функциональность и безопасность. В связи с этим в последние годы основным направлением развития российского сырного рынка является разработка и внедрение новых технологий в производство сыров, что позволит увеличить ассортимент производимых в нашей стране сыров и повысить качество их производства[2].

Согласно аналитическим исследованиям за период с января по май 2019 года количество потребляемых сыров увеличилось на 9,8 %, в то время как продукция из сыра упала на 20 %. Также за последние два года на территории государства активно реализуются крупные сырные проекты. По мнению экспертов, потенциал для производства сыра велик, а перспективы производства высококачественной продукции могут значительно увеличиться[3].

Среди широкого ассортимента сыров одно из ведущих мест занимают мягкие сыры. Их главным преимуществом является рациональное использование сырья, возможность реализации определенных видов такого сыра без созревания или с коротким периодом созревания, высокая пищевая и биологическая ценность продукта[3].

Состав и свойства обработанного молока определяют появление мягких сыров, а также способы его подготовки к переработке, способ свертывания молока и обработки полученного осадка, условия образования и созревания сыра. В то же время микрофлора, используемая при их производстве, оказывает значительное влияние на органолептику мягких сыров.

Из мягких сыров в особую группу отбираются сыры, в основе которых лежит свертывание молока с кислотой и сычужным ферментом. Они характеризуются чистым вкусом и кисломолочным запахом, а также мягкой и пластичной консистенцией. Такие сыры пользуются заслуженным спросом у потребителей.

При разработке мягких сыров важное место отводится температурному режиму, применяемому на разных стадиях производства. Это температура созревания, пастеризации, свертывания молока, переработки сырных зерен, самопрессовки и прессования сыра, а также его созревания и хранения.

Основой для производства мягких сыров является свертывание молока. Это происходит под воздействием двух реагентов (молокосвертывающий фермент и бактериальная закваска). Продолжительность свертывания молока определяется по кислотности получаемого сгустка, количества сыворотки, выделившейся при обработке сгустка, а также содержания в сыворотке сухих веществ, во многом зависящих от температуры[4].

Температура в производстве мягких сыров играет не маловажную роль. В таблице 1 приведены среднестатистические показатели, характеризующие показатели молока при 25, 35 и 45 °С в интервале доз фермента от 0,0 до 3,0 г на 100 кг молока для одного уровня закваски (30 %).

Свертывание связано с изменением активной кислотности молока. Особенно существенно этот фактор влияет при незначительных дозах фермента.

С повышением температуры происходит ускорение процесса свертывания молока. При повышении температуры с 25 до 35 °С – в среднем на 24,7 %, а с 35 до 45 °С – в среднем на 15,5 %.

Таблица 1.

Влияние температуры на продолжительность свертывания молока.

Доза фермента, г на 100 кг молока	Продолжительность свертывания молока (в минутах) при разных температурах, °С		
	25	35	45
0,0	-	380	310
0,5	200	165	140
1,0	100	85	75
1,5	66	55	47
2,0	50	40	35
2,5	40	35	30
3,0	33	20	25

Анализируя полученные данные, следует отметить, что свертывание молока является сложным многофакторным процессом и на динамику развития молочнокислой микрофлоры в температурном режиме оказывает гораздо большее влияние, чем ферменты молокопереноса. Суть основных законов позволяет конкретно контролировать этот процесс, что влияет на технологию производства сыра, его качественные показатели, а также расход сырья.[4-5].

Список используемых источников.

1. Б.К. Асенова, К.Ж. Амирханов., М.Б. Ребезов Технологии производства функциональных продуктов питания для экологически не благоприятных районов. Торгово-экономические проблемы регионального бизнес-пространства / Асенова Б.К., Амирханов К.Ж., Ребезов М.Б. – Научная статья.
2. Тенденция развития производства сыра. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – <https://moluch.ru/archive/69/11781/>
3. Анализ потребления сыров и сырных продуктов в России. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – <https://ssnab.ru/ru/analytics/analiz-potrebleniya-syrov-i-syrnyh-produktov-v-rossii-sravnitelnye-pokazateli-v-ssha-i-kitae>
4. Л.А. Остроумов, И.А. Смирнова, Л.М. Захарова Особенности и перспективы производства мягких сыров / Остроумов Л.А., Смирнова И.А., Захарова Л.М. – Научная статья.
5. Влияние температуры на свертывание молока. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-temperatury-svertyvaniya-i-vidamolokosvertyvayuschego-fermenta-na-intensivnost-razvitiya-molochnokislyh-mikroorganizmov/viewer>

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОМЕМБРАННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ РАСТВОРОВ ЭЛЕКТРОЛИТОВ МЕДНЕНИЯ

Левин А.А., Абоносимов О.А., Лазарев Д.С., Котенев С.И.
Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
geometry@mail.nnn.tstu.ru

Производства, связанные с химической и электрохимической обработкой металлов, являются одними из наиболее вредных для окружающей среды. Попадание неочищенных сточных вод и других отходов, содержащих тяжелые металлы, в природную среду приводит к большому экологическому ущербу. Поэтому вопросы эффективной очистки сточных вод в процессах обработки металлов в настоящее время весьма актуальны. Для уменьшения экологической опасности этих производств разрабатываются и находят применение различные способы извлечения металлов из промышленных растворов [1, 2].

Наибольший успех в отношении эффективности и технологичности выделения тяжелых металлов из водных растворов достигнут при использовании методов мембранного разделения, в частности обратного осмоса, ультра- и нанофильтрации [3,4]. Для расчета процесса мембранного разделения необходимо иметь экспериментальные данные по кинетическим параметрам и характеристикам процесса. Одним из основных параметров, характеризующих эффективность процесса при электромембранном разделении, является выходная удельная производительность мембраны.

Цель настоящей работы состояла в исследовании эффективности электромембранного разделения растворов электролитов меднения.

При проведении экспериментальных исследований кинетических характеристик процесса электромембранного разделения использовались ацетатцеллюлозная мембрана МГА-95П, полиамидные ОПМ-К и ОПМН-П, промышленно выпускаемые ЗАО НТЦ «Владипор».

В качестве объектов для проведения экспериментальных исследований были взяты реальные промышленные электролиты меднения, используемые в процессах на линиях АО «Тамбовмаш» (г. Тамбов).

Полученные экспериментальные данные зависимостей удельного потока растворителя от плотности тока и концентрации при электромембранном разделении исследуемых растворов и мембран представлены на рис. 1-3.

Как видно из представленных зависимостей для всех исследуемых образцов мембран при увеличении концентрации исходного раствора отмечается уменьшение величины удельного потока растворителя, так как с ростом концентрации раствора усиливается интенсивность формирования пограничных концентрационных слоёв [4], а также поры мембраны закупориваются и блокируются, что, в дальнейшем и ведёт к уменьшению удельного потока растворителя.

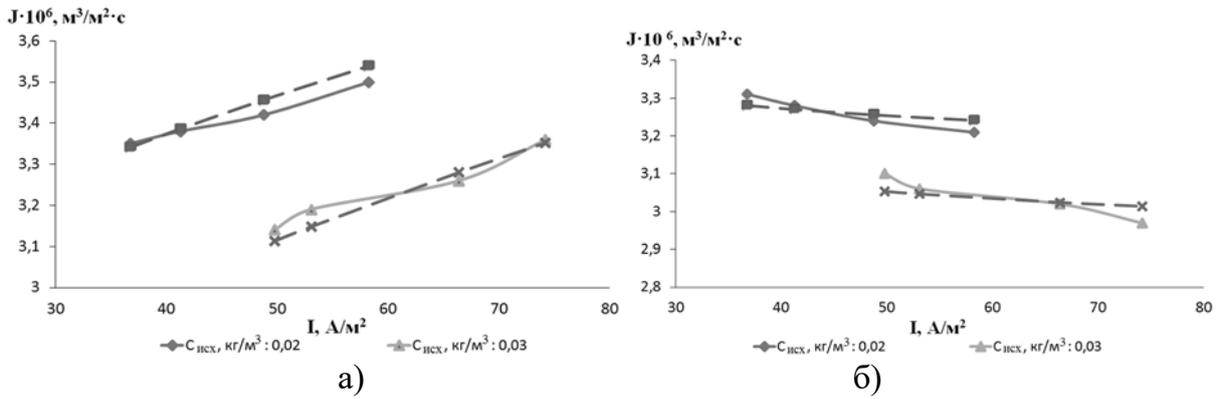


Рисунок 1. Зависимости удельного потока растворителя от плотности тока при $P = 2 \text{ МПа}$ и различных концентрациях меди для прикатодной (а) и прианодной (б) мембраны МГА-95П (сплошная линия - экспериментальные данные, пунктирная - расчёт).

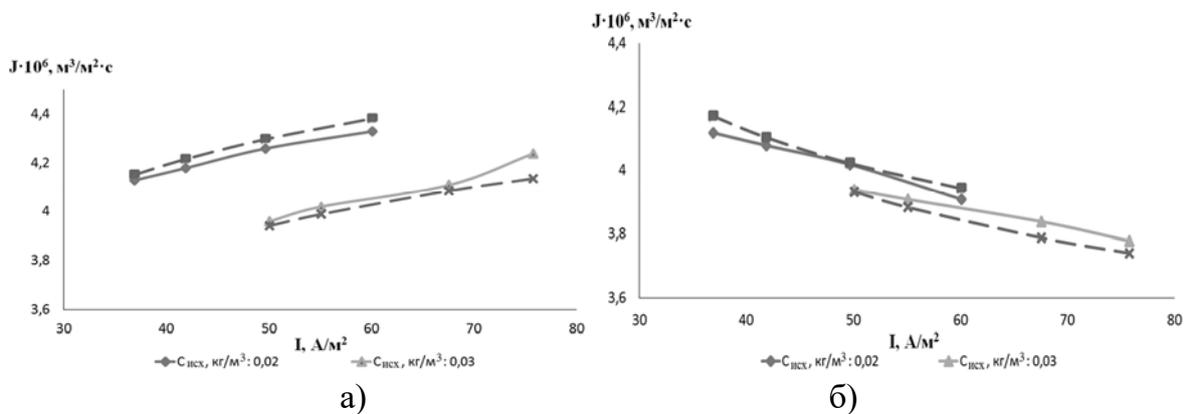


Рисунок 2. Зависимости удельного потока растворителя от плотности тока при $P = 2 \text{ МПа}$ и различных концентрациях меди для прикатодной (а) и прианодной (б) мембраны ОПМ-К (сплошная линия - экспериментальные данные, пунктирная - расчёт)

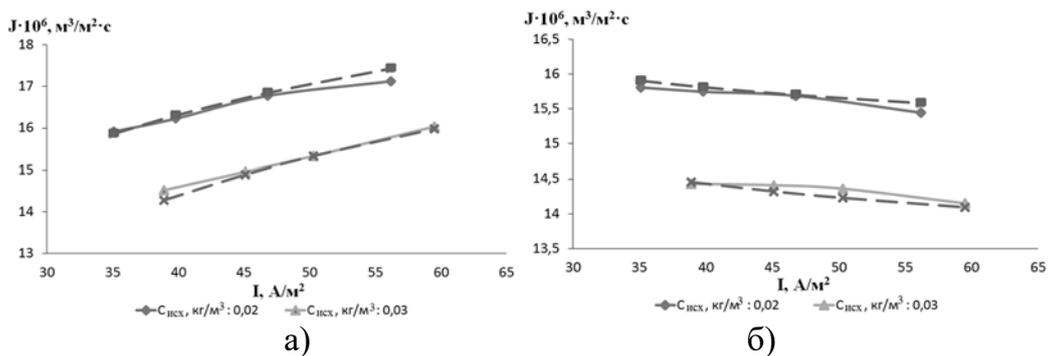


Рисунок 3. Зависимости удельного потока растворителя от плотности тока при $P = 2 \text{ МПа}$ и различных концентрациях меди для прикатодной (а) и прианодной (б) мембраны ОПМН-П (сплошная линия - экспериментальные данные, пунктирная - расчёт).

Следует отметить, что рост концентрации растворённых веществ может привести к формированию пространственных структур из ионов растворённого вещества в растворе и на поверхности мембран и уменьшению количества переносимого растворителя.

Рассматривая зависимости удельного потока растворителя от плотности тока необходимо отметить неоднозначное поведение кривых для прикатодных и прианодных мембран, что связано с различными величинами групп ионов различных зарядов, влияющих на перенос воды через исследуемые мембраны.

Для теоретического расчёта удельного потока растворителя нами было предложено уравнение следующего вида [4]:

$$J = k \cdot (\Delta P - (k_1 + i^m \cdot k_2) \cdot C) \cdot \exp(k_3 \cdot C^n) \cdot \exp\left(\frac{A}{T}\right), \quad (1)$$

где k_1, m, k_2, k_3, n, A – эмпирические коэффициенты, C – концентрация растворенного вещества в исходном растворе, кг/м³; ΔP – перепад трансмембранного давления, МПа; k – коэффициент водопроницаемости мембраны, м/с·МПа; $T = T_p/T_o$.

Таблица 1.

Значения эмпирических коэффициентов для уравнения 1.

Мембрана	k_1	m	k_2	k_3	n	A
МГА-95П (прианодная)	-1,43	-0,39	-113,36	2,93	-0,09	9,29
МГА-95П (прикатодная)	-16,35	0,87	-0,52	3,98	-0,1	7,67
ОПМН-П (прианодная)	0,16	-0,41	-55,28	1,92	-0,12	9,46
ОПМН-П (прикатодная)	-116,09	-0,26	251,55	1,66	-0,16	9,32
ОПМ-К (прианодная)	-52,80	-0,70	-446,97	-7,62	0,11	16,26
ОПМ-К (прикатодная)	-155,83	-0,37	247,04	0,57	-0,36	8,96

На основании проведённых исследований можно сделать вывод о том, что с помощью наложения электрического поля можно эффективно управлять процессом электромембранного разделения исследуемых растворов электролитов меди.

Список используемых источников.

1. Gogina, E., Makisha, N. Information technologies in view of complex solution of waste water problems // Appl. Mech. Mater. 2014. Vol. 587-589. P. 636–639.
2. Колесников, В.А., Ильин, В.И., Кучеров, А.А. Очистка сточных вод на металлургических предприятиях // Экология производства. 2010. № 3. С. 31–36.
3. Шапошник, В.А. История мембранной науки. Ч. 2. Баромембранные и электромембранные процессы // Крит. технологии. Мембраны. 2001. № 10. С. 9–17.
4. Абоносимов, О.А., Кузнецов, М.А., Ковалева, О.А., Поликарпов, В.М., Дмитриев, В.М. Кинетические зависимости и технологическая эффективность электрохимического мембранного разделения сточных вод на предприятиях // Вестн. ТГТУ. 2017. Т. 23. № 4. С. 641–655.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №19-38-90117).

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ АСФАЛЬТЕНОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Кузнецова Д.О.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

На сегодняшний день экологическая обстановка в мире ухудшается с каждым днем. Потребление продуктов нефтегазовой промышленности увеличивается, а с этим возрастает количество отходов их переработки. Перегонка нефти и газа осуществляется по трубопроводам.

Многие люди не знают, что существуют сотни и тысячи километров очень больших «трубопроводов», транспортирующих огромное количество сырой нефти, нефтепродуктов и газа. Не знают они этого потому, что большинство из них надежно скрыто от глаз человечества под землей или под водой.

подавляющее большинство критических инженерных конструкций изготавливаются из черных металлов. В связи с этим появляется такая проблема, как их коррозия. Коррозия - процесс самопроизвольного разрушения металлов и сплавов при их физико-химическом взаимодействии с окружающей средой. Наблюдаются ситуации, когда металлические конструкции повреждены настолько сильно, что их ремонт или замена обойдутся потребителю достаточно дорого.

Коррозия не только приводит к разрушению трубопровода, но и ухудшает качество перекачиваемого продукта.

На сегодняшний момент известно ряд способов снижения негативного влияния коррозии, отличающиеся разной эффективностью и сложностью (стоимостью) реализации. Наиболее действенным и универсальным является нанесение защитных неметаллических покрытий и подавление влияния коррозионноактивной среды на изделие. В данном случае в роли защитного покрытия применяется битумная грунтовка. Она служит в качестве предварительного защитного покрытия металлов перед нанесением декоративного слоя.

Битумная грунтовка – это строительный материал, представляющий собой суспензию пигментов или смеси пигментов с наполнителем в пленкообразующем веществе. В данном случае в качестве пигментов применяются асфальтены. После высыхания образуется не прозрачная однородная пленка, проявляющая хорошие адгезионные свойства.

Также при изготовлении данного продукта решается проблема по утилизации асфальтенов.

В данной работе приведены результаты физико-механических и коррозионных испытаний.

Для проведения испытаний была изготовлена пробная партия грунтового состава

В состав покрытия входят следующие компоненты:

- Лак ПФ-060
- Асфальтены (10% раствор)
- Октат Zn
- SD-1
- Микромрамор КМ2
- Сиккатив НФ-1

- Сиккатив Со5%
- МЕКО

Диспергирование проводилось около 1ч. Число оборотов 2200 об/мин.

Результаты испытаний (таблица 1):

Таблица 1.

Наименование показателя	Норма
Степень перетира, мкм, не более	40
Условная вязкость при $(20,0 \pm 0,5)$ °С по вискозиметру ВЗ-4, с, не менее	75
Время высыхания до степени 3, не более при (20 ± 5) °С, ч	24
Адгезия пленки, баллы, не более	1
Твердость пленки по маятниковому прибору М-3, условные единицы, не менее	0,06
Прочность пленки при ударе на приборе типа У-1, см, не менее	50

Образец успешно прошел физико-механические испытания. После чего была изготовлена следующая партия битумной грунтовки и проведены коррозионные испытания.

Для проведения коррозионных испытаний используется 3% раствор хлорида натрия и минеральное масло. Результаты испытаний приведены на рисунках 1 и 2 соответственно.

Таблица 2.

Наименование показателя	Испытание
Стойкость пленки к статическому воздействию 3%-ного раствора хлористого натрия,	В качестве эксперимента образцы выдерживались в растворе около 7 суток. Образец испытания прошел. Видно незначительное изменение цвета покрытия.
Стойкость пленки к статическому воздействию минерального масла при (20 ± 2) °С	В качестве эксперимента образцы выдерживались в растворе около 7 суток. Образец испытания прошел.



Рисунок 1. Стойкость пленки к статическому воздействию 3%-ного раствора хлорида натрия.

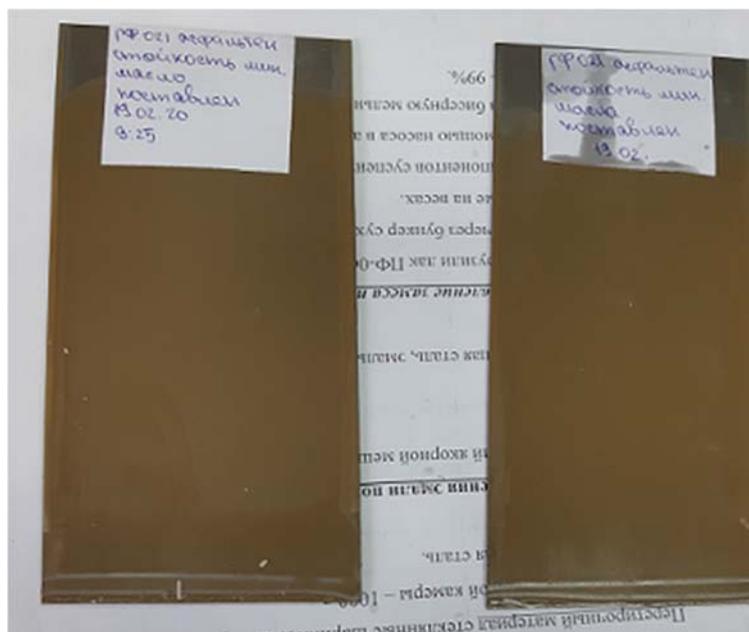


Рисунок 2. Стойкость пленки к статическому воздействию минерального масла.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ СОЗДАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Родина А.А., Шурыгина Э.В.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
ant.rodina1209@yandex.ru; feder68@mail.ru

По мнению Виноградова С.С. экологическая технология предполагает уже на этапе производства не допускать появления загрязняющих веществ. Поэтому следует различать традиционную форму охраны окружающей среды и стратегию экологичной технологии, направленной не на нейтрализацию получившихся отходов, а на допущения их образования.

В гальваническом производстве существуют два источника отходов: обработка поверхности и промывка детали (см. рис.1).

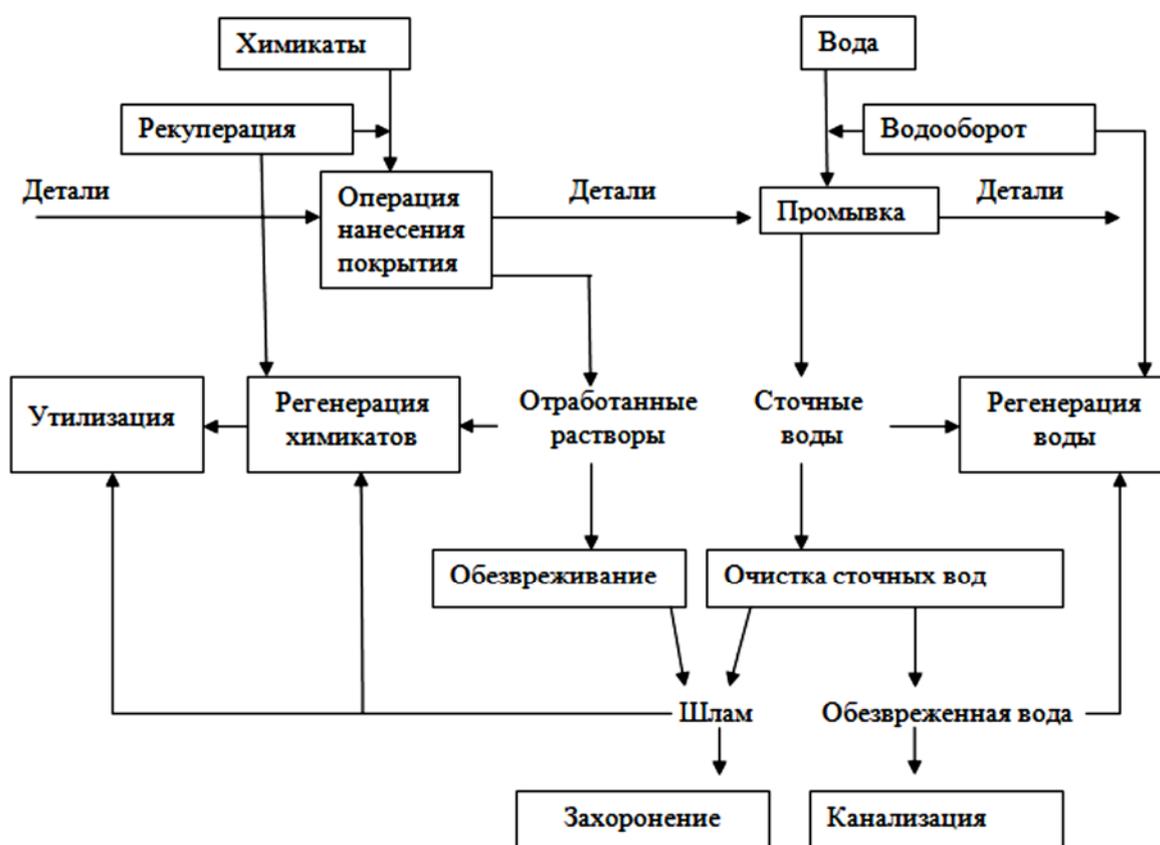


Рисунок 1. Схема создания экологически безопасного гальванического производства.

Экологическая опасность технологических операций зависит от срока эксплуатации растворов и электролитов и количеством технологических растворов, осевших на поверхности детали. Промывных операций – от объема потребляемой воды. Поэтому все мероприятия по снижению безопасности должны быть направлены на снижение отходов и их токсичности. Такие как:

1. замена токсичных растворов и электролитов менее токсичными;
2. продление сроков службы растворов;
3. сокращение растворов воды на промывочные операции;
4. улучшения условий для последующей очистки сточных вод;

5. организации систем локальной обработки промывных вод;
6. организации систем очистки сточных вод, которые можно либо утилизировать, либо выделить ценные компоненты;
7. внедрение средств и методов переработки нерегенерируемых отработанных технологических растворов и твердых отходов (шламов) с выделением ценных компонентов в виде, пригодном для утилизации и образование нетоксичных продуктов;
8. внедрение средств и методов контроля технологических параметров обработки отходов, а также контроля за предельно допустимыми величинами сбросов и выбросов [1-2].

Эффективное решение этой задачи требует применение экономико-математических методов и моделей оптимизации процесса выбора решений, который должен осуществляться с учётом степени экологической опасности технологии, а также с минимальными затратами и максимальным эффектом от инвестирования средств. Задача может быть продуктивно решена на основе системного подхода к оценке риска и к управлению опасностью химических производств. Для этого необходимо интегрировать в систему принятия решений на производстве определение и учет показателей его экологической опасности. Оценка экологической опасности прежде всего должна производиться исходя из технологических, технических и прочих производственных характеристик гальванических линий, а именно назначения покрытия, толщины покрытия, мощности производства, типового технологического оборудования, очистного оборудования и др. Немаловажным является учет морального и физического износа данных линий, уровень подготовки персонала, структура размещения линий в цехе относительно вентиляционных систем и окон, возможность дальнейшего использования данных линий и выпуска новой продукции на имеющемся оборудовании и др. Наиболее эффективным и оперативным способом сбора исходных данных в целях оптимизации производства является инструмент внутреннего экологического аудита (ВЭА), особенно это актуально для тех предприятий, где внедрена система экологического менеджмента (СЭМ), в соответствии со стандартом ISO 14001 – 2004 или ГОСТ Р ИСО 14001-2007. На рис. 2, представлена блок-схема процедуры принятия и поддержки решений оптимизации гальванического производства. Он описывает ключевые стадии самого процесса оптимизации и предшествующих этапов. При осуществлении производственного процесса, часто уже после аварийных происшествий, происходит выявление и оценка актуальных проблем и анализ текущей деятельности. Становится понятна необходимость внесения оперативных изменений, в т.ч. в систему управления производством, технологические линии и подготовку персонала [3-4].

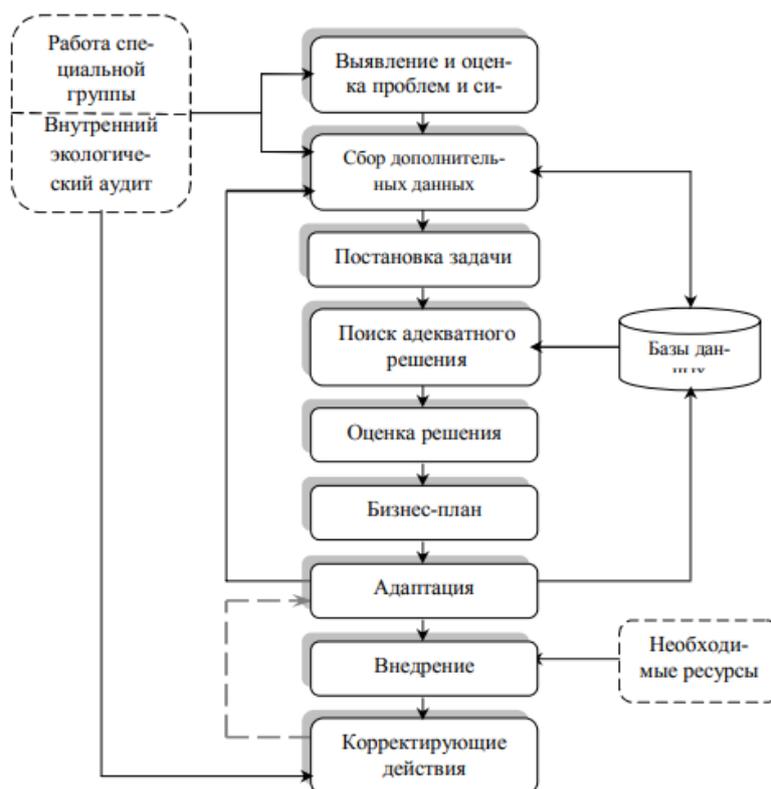


Рисунок 2. Блок-схема процедуры принятия и поддержки решения о повышении экологической и экономической эффективности гальванического производства.

Список используемых источников.

1. Аппаратурно-технологическое оформление процесса ионно-обменной очистки сточных вод гальванических производств/ С.И. Пестрецов, А.А. Родина // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. - 2012. - № 2 (40). - С. 327-332.

2. Виноградов, С.С. Экологически безопасное гальваническое производство./ Под редакцией проф. В.Н. Кудрявцева. – М.: Производственно-издательское предприятие «Глобус», 1998. – 302 с.

3. Современные методы повышения экологической безопасности гальванического производства/ Е.В. Колоярцева, Н.В. Бирюкова, Б.В. Ермоленко // Успехи в химии и химической технологии. Том XXIV. - 2010. - №11(116). – С. 57-62

4. Немтинов, В.А. Проектирование системы очистки сточных вод гальванических производств / В.А. Немтинов, А.А. Родина, Ю.В. Немтинова. - Palmarium Academic Publishing OmniScriptum GmbH&Co.KG, Germany. 2016. 99. с.

РАСЧЕТ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОБАРОМЕМБРАННОГО МЕТОДА РАЗДЕЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ

Хорохорина И.В., Лазарев С.И., Михайлин М.И.
Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
kotelnikovirina@yandex.ru

Сточные воды металлообрабатывающих производств содержат большое количество тяжелых металлов и рассматриваются как серьезная экологическая проблема с высоким воздействием на окружающую среду. На смену традиционным методам очистки сточных вод приходят более эффективные электробаромембранные методы, позволяющие повысить экологическую и экономическую рентабельность процесса.

Рассмотрена инженерная схема очистки сточных вод ОАО «Тамбовполимермаш», с внедрением в нее электробаромембранного аппарата комбинированного типа, разработанного авторами статьи. Существующая технологическая схема очистки сточных вод гальванической линии предприятия ОАО «Тамбовполимермаш» не предусматривает возможности использования очищенной воды в производственном процессе.

Для проведения оценки эколого-экономической эффективности разработанной инженерной схемы очистки сточных вод ОАО «Тамбовполимермаш» были проведены расчёты по методике [1], используя известные технические и технологические данные традиционного процесса очистки, используемого на предприятии, и полученные результаты по кинетическим и сорбционным параметрам электробаромембранных процессов в процессе разделения промышленных растворов.

Отходы производства на гальванической линии поступают на собственные очистные сооружения завода, где очищаются реагентными методом. Очищенная вода сбрасывается в канализацию, которая контролируется Водоканалом ежеквартально. Себестоимость очистки по данным завода составляет 162 руб./т. Объем технологических растворов предприятия 6200 т/месяц, или 8008 м³ с учетом коэффициента перерождения для шламов (1,3). Рабочий режим предприятия: 1 смена, 22 рабочих дня в месяц.

Производительность электробаромембранного оборудования составляет примерно 250 тонн технологических растворов в сутки. Известно, что среднесуточный объём сточных вод на предприятии 280 т. Следовательно, выбранное оборудование в достаточной мере подходит для технологического процесса. Расчёт затрат на очистку сточных вод ОАО «Тамбовполимермаш» при электробаромембранной технологии (в ценах 2020 г.) представлен в таблице 1.

Себестоимость очистки сточных вод после внедрения электробаромембранного оборудования в технологическую линию в расчете на 1 т. отходов равны: 137 руб./т

Для более эффективного использования отходов металлообрабатывающих производств (ОАО «Тамбовполимермаш») предложено концентрирование ретентата с помощью разработанного электробаромембранного аппарата комбинированного типа [2].

Таблица 1.

Расходы:	Расходы на очистку 1 тонны /рублей	Расходы на очистку в месяц /рублей
реагенты	38	235 600
энергоносители	74	459 360
Зарплата персонала	14	85 760
обслуживание мембранного оборудования	1	6 000
амортизация	11	66 666
себестоимость	137	853386

Для расчета прибыли от продажи концентрата осадка (средняя цена на Российском рынке 9600 руб./т), содержащего ценные ионы металлов, используем формулу:

$$П = C_{\text{рын}} - C_{\text{полн}} = 2900 \text{руб.} \quad (1)$$

где P – прибыль от реализации 1 т. концентрата, руб.; $C_{\text{рын}}$ – рыночная цена за 1 тонну концентрата, руб.; $C_{\text{полн}}$ – полная себестоимость 1 тонны концентрата, руб.

Отходы ОАО «Тамбовполимермаш» относятся к 1 классу опасности, по которым норматив платы за размещение отходов производства и потребления установлен 1739,2 руб./т.

Расчёт суммы платежа за размещение отходов:

$$P_{\text{лим.отх.}} = \sum_{i=1}^n N_{\text{баз}} \cdot M_{\text{факт}} \cdot K_{\text{экол}} \cdot K_{\text{инф}} \cdot K_{\text{расп}}, \quad (2)$$

где $N_{\text{баз}}$ – базовый норматив платы за размещение 1 т. отходов i -го вида в пределах установленных лимитом, руб./т., $M_{\text{факт}}$ – фактическое количество размещенных отходов i -го вида в пределах установленных лимитом; $K_{\text{экол}}$ – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости состояния почв в рассматриваемом регионе = 2 (для ЦЧР); $K_{\text{инф}}$ – коэффициент учитывающий инфляцию в 2020 г. = 3; $K_{\text{расп}}$ – коэффициент месторасположения объекта размещения отходов = 0,3 (так как объект размещения отходов расположен на территории завода).

Годовой лимит на размещение отходов, установленный для завода, равен 0,8 т. Рассчитаем общую сумму платы за размещение отходов $P_{\text{отх}}$:

$$P_{\text{отх}} = 0,8 \cdot 1739,2 \cdot 3 \cdot 0,3 \cdot 2 = 2504,16 \text{руб.}$$

Уменьшение суммы платы за производственные отходы после внедрения проекта: экономия в сумме платы за размещение отходов (ΔP) находится по формуле:

$$\Delta P = P_{\text{отх}}^{\text{баз}} - P_{\text{отх}}, \quad (3)$$

где $P_{\text{отх}}^{\text{баз}}$ – плата за выбросы при существующей технологии очистки, руб.; $P_{\text{отх}}$ – плата за выбросы при внедрении мембранной технологии, руб.

По данным завода плата за размещение отходов составляет в среднем за год 8460 руб.

Тогда экономия за год от внедрения программы составит:

$$\mathcal{E} = 2504,16 - 8460 = -5955,84 \text{руб.}$$

Используя доходный подход в расчёте экономической эффективности проекта электробаромембранной очистки технологических растворов на заводе, рассчитаем:

Денежный поток за первый год реализации проекта найдём по формуле:

$$ДП_1 = П + \mathcal{E} + P_{\text{ут}} + П_1^{\text{ед}} = 1571955,84 \text{руб.}, \quad (4)$$

где P – прибыль от реализации всего объема концентрата за год, руб.; \mathcal{E} – экономия в сумме платы за размещение отходов, руб.; $P_{\text{ут}}$ – расходы на сторонние организации,

утилизирующие осадок сточных вод, руб.; $\Pi_1^{ед}$ – прибыль единовременная от реализации всего объёма концентрата за базовый год, руб.

Индекс доходности: анализируя соотношения суммы приведённых экономических эффектов к величине приведённых капитальных вложений найдём индекс доходности:

$$\text{ИД} = \frac{1}{K_{доп}} \sum_{i=1}^n ДП_1 \cdot \frac{1}{(1+E)^i} = 1,31 \quad (5)$$

где E – норма дисконта = 11%, обычно принимается на уровне среднего банковского процента, %; $K_{доп}$ – дополнительные капиталовложения, руб.;

Рентабельность продукции рассчитывается по формуле:

$$P_{прод} = \frac{100 \cdot \Pi}{C_{полн}} = 43,28\% \quad (6)$$

Чистый дисконтированный доход:

$$\text{ЧДД} = \sum_{i=1}^1 ДП_1 \cdot \frac{1}{(1+E)^1} - K_{доп} = 5248062 \quad (7)$$

Срок окупаемости капитальных вложений ($T_{окуп}$) – это время, в течение которого капитальные вложения окупятся приростом прибыли, вызванной данными капитальными вложениями. Он определяется по формуле:

$$T_{окуп} = \frac{T \cdot K_{доп}}{\sum_{i=1}^T ДП_1 \cdot \frac{1}{(1+E)^i}} = 2,28 \quad (8)$$

где E – норма дисконта %; T – количество шагов расчёта.

Проект внедрения электробаромембранного аппарата в технологическую схему очистки сточных вод металлообрабатывающего предприятия рентабелен и окупится в течении двух с половиной лет.

Список используемых источников.

1. Дмитриевская Т.А., Громова В.С., Денисова Г.П., Ткаченко О.А. Экологоэкономические расчеты: учебное пособие. 2004. 47 с.

2. Пат РФ 2712599 МПК В01D 61/18. Электробаромембранный аппарат комбинированного типа / Лазарев С.И., Хорохорина И.В., Ковалев С.В., Михайлин М.И., Лазарев Д.С. 29.01.2020.

ПРОБЛЕМА ПОЯВЛЕНИЯ РАСТВОРЁННОГО ЖЕЛЕЗА В КОНДЕНСАТЕ ОТ ПАРОВОЙ ЛИНИИ И СПОСОБЫ ЕЁ ОЧИСТКИ

Дымов И.Ю.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

akenagm@gmail.com

В силу большей дешевизны, в промышленности используют тепловую энергию, полученную в котлах от углеродного топлива. И в качестве теплоносителя используется пар, который доставляется по паровым трубам к установкам. На самой установке пар может отдать свою энергию путём прямой подачи пара, например обдувом или барботажем: при таком контакте с более холодным продуктом, пар, передав энергию, конденсируется, и этот конденсат остается в продукте. Но в случае передачи энергии через радиатор конденсат остаётся в нём же. Это приводит к тому, что часть энергии пара будет расходоваться на нагрев конденсата, к тому же запуск паровой системы после её отключения, в случае наличия там конденсата приведёт к гидроударам, что может повредить трубы и клапана. Поэтому на таких системах устанавливаются конденсатоотводчики [1], на которых происходит отделение конденсата от пара. Далее уже полученный конденсат утилизируют или же повторно используют в технологии, что более выгодно, учитывая отсутствие расхода на утилизацию, и что конденсат по своим качественным показателям является дистиллированной водой [2].

Однако, в таком конденсате может быть примесь ржавчины: двухвалентное железо, или же выпавший в нерастворимый осадок окисленное трёхвалентное железо. Связано это с тем, что в паровой системе есть участки из углеродистой стали. На этих участках конденсат вызывает коррозию труб, откуда уже ржавчина и вымывается с конденсатом. Ржавчина образуется и скапливается в системе во время простоя, поэтому большое содержание ржавчины в конденсате происходит после пуска системы.

Методы удаления растворённого железа из конденсата подбираются в зависимости от требований к качественным показателям конденсата, объема получаемого конденсата, частоты остановок паровой системы, пиковые и средние значения содержания растворённого двухвалентного железа. Но кроме сфер применения конденсата, выпавшее в осадок трёхвалентное железо может со временем закупоривать фильтры и клапана, что ухудшит работу паровой системы или приведёт к её аварии.

Из вышесказанного рассмотрим методы получения чистого конденсата:

1) Слив конденсата до выхода на режим – в случае малого объема конденсата или редких остановок паровой системы ржавый конденсат можно утилизировать, вручную или через клапан с электроприводом, работающий по данным датчика электропроводности, который будет в конденсате будет реагировать только на примеси металлов.

2) Замена паровой системы - иногда экономически выгодным (например в связи с непригодностью к ремонту изношенных участков системы) может быть замена паровой системы на трубы и радиаторы из нержавеющей стали или цветных металлов.

3) Реагентный - растворённое двухвалентное железо под воздействием атмосферного кислорода переходит в трёхвалентную форму и оседать на дне отстойника. Такой процесс можно производить например в открытых отстойниках. Для интенсификации процесса устанавливается аэратор. Проблема заключается в дальнейшей

попытки разделения конденсата и осадка трехвалентного железа: часть железа в мелкодисперсной форме будет находиться в воде и простое разделение каналов по высоте установки приведёт к тому, что часть осадка останется в очищенной воде. Поэтому для увеличения степени очистки в емкость добавляются коагулянты и флокулянты, которые связывают мелкие частицы воедино, что позволяет им осесть или же задержаться на фильтре для микрофльтрации

4) Каталитический - в этом методе используется фильтр, состоящий из гранул фильтрующей загрузки, например песок, цеолит в которые введет диоксид марганца. Также используются алюмосиликаты, которые кроме каталитических свойств имеет и окислительно-восстановительные свойства. Такой тип фильтрующей загрузке требует регенерации [3].

5) Ионнообменный – удалить из конденсата железо можно и при помощи ионитов - как природных, так и синтетических. Заодно исходная вода очищается и от других двухвалентных металлов, даже при высоких концентрациях. Основной недостаток этого метода в том, что присутствие трехвалентного железа сильно снижает его эффективность. Также ионообменные фильтры уязвимы к органическому засорению, эффективны лишь в определенном диапазоне рН; есть трудности и с деминерализацией.

6) Обратный осмос и нанофльтрация – этот метод подразумевает фильтрацию конденсата через фильтр с размером фильтровальной ячейки 0,001 микрон. Этот метод требует большое количество электроэнергии для поддержания насосом давления от 10 атмосфер. Кроме того, есть вероятность постепенной закупорки фильтра, что приведёт к его неисправности. Как правило такой метод используется для очистки от любых растворов и обеззараживания воды.

Список используемых источников

1. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением" (с изменениями на 12 декабря 2017 года) [Текст]: Приказ от 25 марта 2014 года N 116 // Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. – 2014.

2. ГОСТ Р 58144-2018. Вода дистиллированная. Технические условия. -Введ. 2019-07-01.-М.: ЗАО "ЦИКВ", 2018. -11 с.

3. Скитер, Н.А. Природные и модифицированные сорбенты для деманганации и обезжелезивания подземных вод: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.04/ Н.А. Скитер. – 2004. -176 с

СИНТЕЗ ПОЛИАЛЮМОФЕНИЛСИЛОКСАНА НА ОСНОВЕ ДИФЕНИЛСИЛАНДИОЛА И АЦЕТИЛАЦЕТОНАТА АЛЮМИНИЯ В УСЛОВИЯХ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ

Побожев К.В.

Кафедра общей, неорганической и элементоорганической химии ШЕН ДВФУ

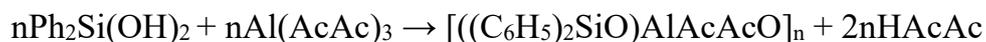
Одним из направлений развития химии элементоорганических соединений является изучение методов синтеза и строения элементоорганосилоксанов.

Полиалюмоорганосилоксаны обладают рядом ценных свойств. Использование огнезащитных покрытий на основе полиалюмосилоксанов, которые при нагревании переходят в керамический материал, позволяет значительно расширить температурный интервал эксплуатации таких конструкций [1]. Создание высококачественных защитных покрытий с комплексом заранее заданных свойств, для обеспечения надежной эксплуатации конструкций, при воздействии высоких температур и огня является актуальным.

Кремнийорганические соединения являются термостойкими, проявляют адгезию к металлам, обладают хорошими электроизоляционными характеристиками, механической прочностью и устойчивостью к холоду и воде [1]. Это обуславливает их применение в различных отраслях техники и технологии. Важной задачей является поиск новых методов синтеза, позволяющих получать данный класс соединений с меньшими энергетическими и временными затратами. К таким методам относится метод механохимической активации, позволяющий получать полиэлементоорганосилоксаны за короткий промежуток времени и в отсутствие органических растворителей [2-5].

Целью настоящей работы является изучение возможности синтеза полиалюмофенилсилоксана в условиях механохимической активации.

Механохимическую активацию дифенилсиландиола и ацетилацетоната алюминия с соотношением Si/Al= 1:1 осуществляли в планетарной шаровой монмельнице «Pulverisette 6» с частотой 600 оборотов в минуту в течение трех минут. Соотношение массы насадки к массе полезной нагрузки равнялось 1,8. Предполагаемая схема реакции взаимодействия дифенилсиландиола и ацетилацетоната алюминия:



После активации реакционная смесь представляла собой порошок желто-оранжевого цвета. Продукт синтеза полностью растворялся в толуоле. Фракция 2 представляла собой оранжевые кристаллы образовавшиеся на дне колбы через 24 часа после растворения продуктов механохимической обработки. Фракция 1 (порошкообразное вещество желто-оранжевого цвета) выделена после отделения фракции 2 и отгонки растворителей.

Результаты элементного анализа и выходы фракций представлены в таблице 1.

В первой фракции соотношение кремния к алюминию в 2 раза превышает заданное, массовая доля этой фракции 63,3 %. Во второй фракции (36,7%) соотношение кремния к алюминию практически равно заданному.

Полученные соединения изучены методами ИК-, ЯМР-спектроскопии. В ИК-спектрах присутствуют сигналы, соответствующие колебаниям связей Si-O-Si, Si-O-Al, C-O и C=O в ацетилацетонатном кольце.

Таблица 1.

Результаты элементного анализа и выходы фракций.

Фракция	Si/Al	Найдено %			Вычислено %		
		Si	Al	C	Si	Al	C
Фракция 1	2,2/1	12,4	5,4	60,7	12,6	5,5	65,5
Фракция 2	1/1	6,5	6,0	53,4	7,2	6,9	44,6

ЯМР- спектр на ядрах ^{27}Al содержит сигналы от 1 до 15 м.д., соответствующие октаэдрическому окружению атома алюминия. Это подтверждает наличие молекул ацетилацетона, координированных на атоме алюминия. Сигнал при 11,28 м.д. соответствует атому алюминия, соединенному с тремя силоксановыми фрагментами и ацетилацетонатным радикалом, сигнал при 9,9 м.д. - атому алюминия, соединенному с двумя силоксановыми фрагментами и двумя ацетилацетонатными радикалами, сигнал при 1,28 м.д. свидетельствует о наличии атома алюминия, соединенного с одним силоксановым фрагментом, гидроксильным радикалом и ацетилацетонатными радикалами.

Таким образом, в результате механохимической активации дифенилсиландиола и ацетилацетоната алюминия образуется растворимый полиалюмодифенилсилоксан с заданным соотношением кремния к алюминию с выходом 36,7%. Вторым продуктом реакции является так же растворимый полиалюмодифенилсилоксан с соотношением Si/Al равным 2,2. Предполагаемые формулы фракций:

Фракция 1 $[(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{SiO}]_{2,2}\text{AlO}_{1,5}$;

Фракция 2 $[(\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2)\text{AlO}(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{SiO}]_2$.

Список используемых источников.

1. Донцов, А. А. Хлорированные полимеры. / А. А. Донцов, Г. Я. Лозовик, С. П. Новицкая – М.: Химия, 1979 – с. 35-55.
2. Капустина, А.А. Изучение взаимодействия хлорида кобальта с полифенилсилоксаном в условиях механохимической активации / А.А. Капустина, Н.П. Шапкин, Н.А. Баданова // Изв. вузов. Химия и химическая технология. – 2011. – Т. 54, №1. – С. 61-65.
3. Капустина, А.А. Синтез полиборфенилсилоксанов методом механохимической активации. / А.А. Капустина, Н.П. Шапкин, В.В. Либанов // Журнал общей химии. – 2014. – Т. 84, № 7. – С. 1124-1128.
4. Mechanochemical Interaction of Boron Difluoride Acetylacetonate with Organosilicon Derivatives of Different functionality / V.V. Libanov, A.A. Kapustina, N.P. Shapkin, A.A. Rumina // Silicon. – 2019. – Vol. 11, Issue 3. – P. 1489-1495. DOI: 10.1017/s12633-018-9969-y.
5. Studies of Interaction of Poliphenylsiloxane with Vanadyl Bis-Acetylacetonate / N.P. Shapkin, A.A. Kapustina, S.V. Gardionov, I.G. Khal'chenko, V.V. Libanov, E.A. Tokar // Silicon. – 2019. – Vol. 11, Issue 5. – P. 2261-2266. DOI: 10.1007/s12633-017-9551-z.

Работа выполнена под руководством к.х.н., доцента А.А. Капустина.

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДИФИЦИРОВАННОГО СОРБЕНТА С МОЛЕКУЛЯРНЫМИ ОТПЕЧАТКАМИ МЕТИЛОВОГО ОРАНЖЕВОГО

Ермолов Д.Ю., Попов М.А., Шиликов А.В.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

ermolov.d.i.m.a.n@yandex.ru

Введение

Метод молекулярного импринтинга позволяет получать органические и неорганические материалы с особыми свойствами. В них формируются участки (так называемые отпечатки), распознающие только те молекулы, которые использовали в качестве шаблонов при синтезе этих материалов. Распознавание предполагает, что молекула-шаблон будет соответствовать своему отпечатку не только по форме и размеру, но и как-то связываться с ним.

Экспериментальные исследования будут проводиться при помощи спектрофотометра ПЭ-5400 УФ

Способ получения материалов

В качестве основы для импринтированного материала была взята смола ДЭГ-1 как недорогой, органический, воднорастворимый полимер. Для придания ей соответствующей формы и молекулярного строения будет использоваться отвердитель УП-606. Также, для создания отпечатков в веществе, нам понадобится то вещество, которое мы хотим извлекать из водной среды. В качестве этого вещества (адсорбата) мы используем метиловый оранжевый. Это вещество представляет из себя краситель. Имеет форму оранжево-жёлтых листочков или порошка, чешуек. Само по себе вещество применяется в качестве кислотно-основного индикатора, титранта при определении сильных окислителей, спектрофотометрическом определении окислителей, но является аналогом намного более опасных загрязнителей.

Пропорции при создании импринтированного вещества следующие:

- 1)30,72 гр. смолы ДЭГ-1 121 мк.;
- 2)3 гр. отвердителя УП-606/2;
- 3)20 мл. воды;
- 4)0,2 гр. метилового оранжевого.

Пропорции при создании исходного вещества:

- 1)14,98 гр. смолы ДЭГ-1 121 мк.;
- 2)1,43 гр. отвердителя УП-606/2;
- 3)10 мл. воды.

Смесь тщательно перемешать, поставить в вакуумно-сушильный шкаф на 3 часа при температуре 80 °С. Дать веществу остыть 1 день при комнатной температуре. Затем сорбент размолоть и промыть несколько раз. Далее разделить вещество на фракции для более точных результатов экспериментов и изучения количества и объёма пор.

По данным, полученным в результате экспериментов можно сделать вывод, что модифицированный материал обладает лучшей адсорбцией по сравнению с исходным, что видно из графиков 1 и 2. Было предположено, что на величину адсорбции влияют фильтры, расположенные в установке для предотвращения попадания материала в систему циркуляции жидкости. Вследствие этого были проведены дополни-

тельные эксперименты на значение влияния фильтра на величину адсорбции. По результатам этих экспериментов были сделаны выводы, что присутствие фильтра значительно не влияет на величину адсорбции, что видно из графика 3.

Материалы изготавливались из смолы ДЭГ в присутствии органического красителя (метилоранжевый) для создания в смоле молекулярных отпечатков.

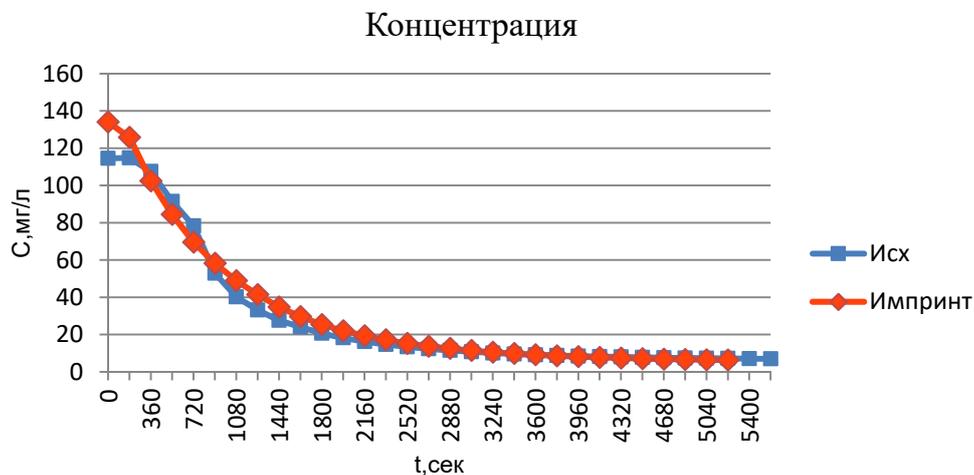


Рисунок 1. График концентраций модифицированного и исходного материалов.

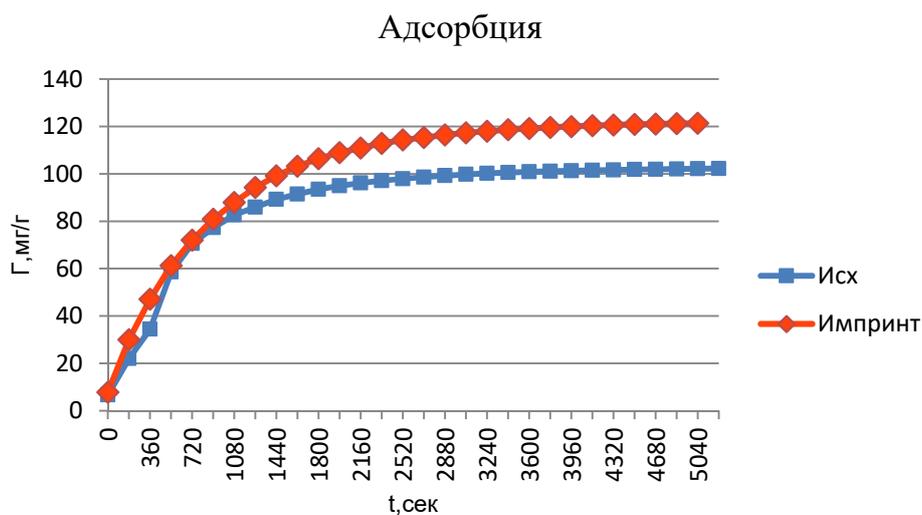


Рисунок 2. График адсорбции модифицированного и исходного материалов.

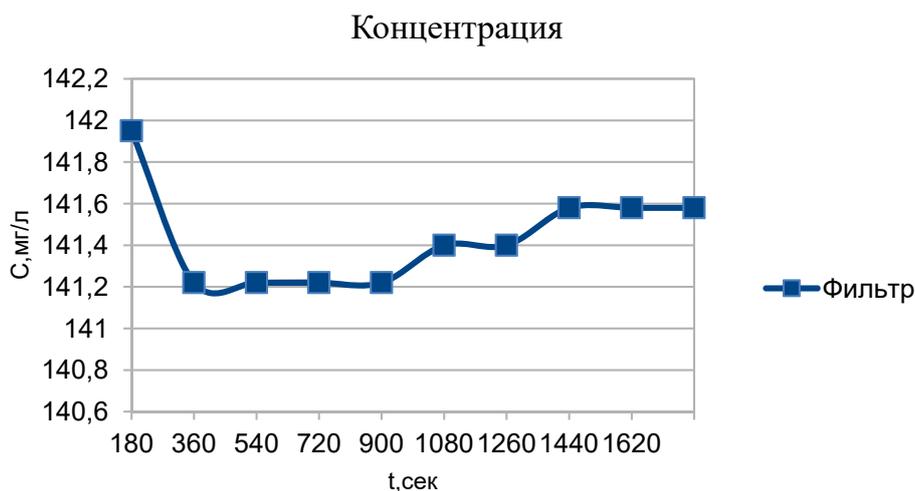


Рисунок 3. График концентрации фильтра.

Список используемых источников.

1. Лисичкин Г. В., Крутяков Ю. А. Материалы с молекулярными отпечатками: синтез, свойства, применение // Успехи химии. Т. 75. 2006. С. 998.
2. Гендриксон О. Д., Жердев А. В., Дзантиев Б. Б. Молекулярно импринтированные полимеры и их применение в биохимическом анализе // Успехи биологической химии. – 2006. – Т. 46. – С. 149-192.
3. Касымова Э. Д. Получение полимерных молекулярных отпечатков // Известия Национальной Академии наук Кыргызской Республики. – 2010. – №. 3. – С. 122-125.

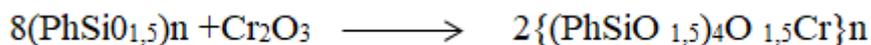
СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИГЕТЕРООРГАНОСИЛОКСАНОВ, СОДЕРЖАЩИХ В СВОЕМ СОСТАВЕ ХРОМ В СТЕПЕНИ ОКИСЛЕНИЯ +3

Саратовская И.И., Грибова В.В.

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток

Воздействия окружающей среды негативно действуют на эксплуатационные характеристики различных конструкций. Защитные свойства хроматных пленок обусловлены главным образом присутствием в поверхностном слое пленки растворимых соединений хрома, являющихся сильным ингибитором коррозии цинка. Следует также отметить, что соединения шестивалентного хрома, которые присутствуют в хроматных пленках, весьма токсичны. Поэтому в качестве альтернатив хроматированию цинковых покрытий предлагаются защитные пленки на основе относительно безвредного трехвалентного хрома, так называемые радужные хромитные пленки [1].

Нами было проведено взаимодействие оксида хрома (III) и полифенилсилоксана в среде кипящего толуола по следующей схеме:



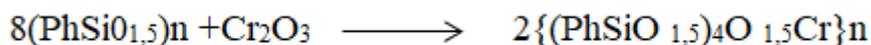
Так как исходный оксид хрома нерастворим в органических растворителях в отличие от полифенилсилоксана, то контроль осуществляли за счет привеса массы растворимых веществ. По истечении 22 часов привес прекратился.

Выделенное вещество светло-зеленого цвета, кристаллического строения при комнатной температуре. По данным гельпроникающей хроматографии молекулярная масса вещества больше 5000, в его составе отсутствуют низкомолекулярные продукты. Полимер был охарактеризован физико-химическими методами анализа. В ИК-спектре присутствуют все характеристические полосы поглощения.

Нерастворимый продукт синтеза представляет собой кристаллическое вещество темно-зеленого цвета. Полимер был охарактеризован физико-химическими методами анализа. В ИК-спектре присутствуют все характеристические полосы поглощения.

Для увеличения содержания реакционноспособных бутокси групп в исходных веществах, мы провели данное взаимодействие в среде толуол-бутанол (2:1) при температуре кипения смеси растворителя с отделением воды в ловушку Дина-Старка. Однако и при этих условиях в реакционной смеси осталось много непрореагировавшего оксида хрома(III). Таким образом можно предположить, что после разделения, и идентификации веществ, находящихся в этой системе, состав полученного полигетеросилоксана не соответствует ожидаемому.

Синтез гетеросилоксанов методом механохимической активации позволил получить полигетеросилоксаны без использования органических растворителей. Мы провели взаимодействие между полифенилсилоксаном и оксидом хрома(III) по схеме:



Механохимическую активацию проводили при частоте 600 оборотов в минуту (10 Гц) в течение 3 минут. Полученное кристаллическое вещество темно-зеленого цвета разделили на растворимую и нерастворимую фракцию в толуоле. По данным гельпроникающей хроматографии молекулярная масса вещества больше 5000, в его составе отсутствуют низкомолекулярные продукты. Полимер был охарактеризован физико-химическими методами анализа. В ИК-спектре присутствуют все характеристические полосы поглощения.

Методом механохимической активации был получен и охарактеризован полихромфенилсилоксан в состав, которого вошло 88% вводимого оксида хрома (III).

При взаимодействии полифенилсилоксана и оксида хрома (III) в среде кипения растворителя-толуола. В состав полихромфенилсилоксана вошло значительно меньшее количество оксида, по сравнению с методом механохимической активации.

Список используемых источников.

1. Гальванические покрытия / https://zctc.ru/sections/Chromatirovaniye_zinc (Дата обращения 07.01.2020)

ОБРАЗОВАНИЕ КОНДЕНСАТА В КАЛОРИФЕРЕ БАРАБАННОЙ СУШИЛКИ И ПУТИ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Дымов И.Ю.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
akenagm@gmail.com

Барабанная сушилка предназначена для просушки сыпучих материалов. Основными элементами барабанной сушилки (рис. 1) являются: калорифер с вентилятором 1, питатель для подачи продукта в сушилку 2, сушильного барабана 5, конечная камера для выгрузки высушенного продукта и подключенного к ней вытяжного вентилятора для выхода воздуха 8.

Сушка продукта происходит следующим образом: приточный вентилятор через калорифер подает горячий воздух в сушильный барабан, в это время из бункера продукт через питатель подается в загрузочную камеру.

Для осуществления движения продукта по аппарату, рама, на которую установлен барабан, располагается под углом до 6 градусов. Сам барабан установлен на опорные ролики на раме и имеет зубчатое колесо для вращения при помощи соединенного к нему двигателя. Внутри барабана для эффективного соприкосновения с сушильным агентом – воздухом и продвижением по барабану происходит постоянное пересыпание продукта при помощи установленных внутри лопаток.

Продвигаясь по барабану, продукт достигает камеры выгрузки и под собственным весом ссыпается в приёмный бункер, а воздух, насыщенный влагой, при помощи вытяжного вентилятора выходит из верхнего отверстия камеры выгрузки. Для предотвращения уноса продукта и пыления, вытяжной вентилятор работает через циклон.

По сравнению с другими видами сушилок, к преимуществам барабанной сушилки можно отнести относительную простоту конструкции, высокую производительность, особенно в решениях с многослойной камерой, непрерывный технологический процесс сушки, равномерная сушка продукта и умеренный процесс разрушения слежавшихся агломератов.

Особенным преимуществом можно выделить гибкость управления процессом сушки. Регулируется скорость вытяжного и приточного вентиляторов, расход пара: это позволяет контролировать температуру и расход сушильного агента. Также регулируется скорость питателя и скорость вращения барабана: это позволяет регулировать производительность сушильного барабана и время пребывания продукта в сушилке. Всё это позволяет полностью автоматизировать процесс сушки.

Вместо нагретого калорифером воздуха возможно, если на предприятии есть паровой котёл, осуществлять сушку продукта топочными газами, либо применять процесс сушки с регенерацией тепла. В качестве теплогенератора использовать калорифер с вентилятором. Принцип действия калорифера в том, что пар, проходя по трубкам калорифера через стенки, передает своё тепло окружающему воздуху. При этом пар высвобождает скрытую теплоту парообразования. Если пар, проходя через трубы калорифера не будет конденсироваться, то скрытая теплота пара не передастся сушильному агенту и потеряется за пределами калорифера. Поэтому работа калорифера наиболее эффективна, если в нём происходит полная конденсация пара. Если конденсат не удалять, он будет скапливаться, что снизит тепловую мощность пара, забирая часть тепловой энергии, а использование линии после даже кратковременного про-

стоя создаст гидроудары в трубопроводе, что может привести к повреждению трубопровода, клапанов и другого оборудования. Поэтому в нижней части калорифера необходимо монтировать линию отвода конденсата с механическим или гидродинамическим конденсатоотводчиком для отделения пара, откуда уже можно вывести конденсат. Утилизация конденсата является статьей расхода, поэтому использование его на предприятии будет экономически выгоднее.

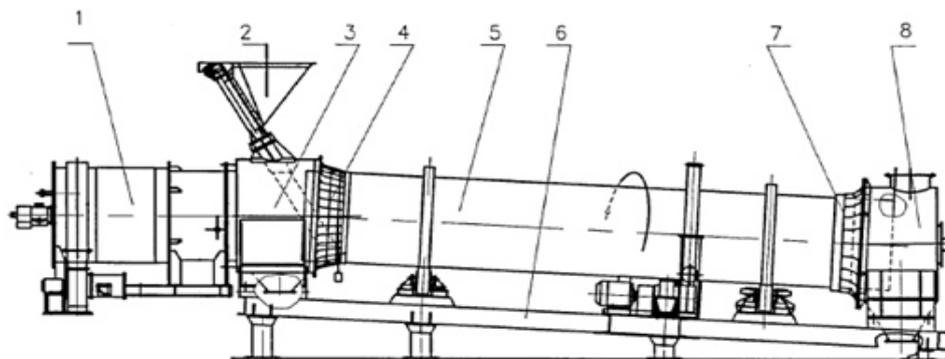


Рисунок 1. Барабанная сушилка: 1 – калорифер с вентилятором; 2 - питатель; 3 – камера загрузочная; 4 – уплотнение горячего конца барабана; 5 – барабан сушильный; 6 – рама агрегата; 7 - уплотнение «холодного конца барабана»; 8 – камера выгрузки.

В отличие от артезианской воды, конденсат деминерализован, имеет рН от 5 до 7 и имеет температуру до 100 градусов.

Так как паровой котёл и паропровод осуществляют процесс испарения и конденсации, то конденсат по качественным характеристикам является дистиллятом. Если на линии отвода конденсата, включая емкость, есть участки из нелегированной стали, то в конденсат будет попадать двухвалентное железо, переходя в воде в оксид железа, ухудшая показатели качества воды и ограничивая его повторное использование.

Деминерализованность конденсата позволяет использовать его для повторного парообразования в паровом котле. Но требуется довести остальные качественные показатели конденсата, кроме того, необходимо смонтировать трубопровод для подачи конденсата на котельную.

Также конденсат можно использовать как сырье для синтеза. Более того, высокая температура может снизить энергозатраты для реакций, требующих нагрева, а деминерализация конденсата избавит от побочных реакций, которая происходит с солями артезианской воды, что повысит чистоту продукта.

Список используемых источников.

1. ПрогрессКазИнжиниринг, ТОО. Барабанная сушилка - принцип работы (http://www.pke.kz/ru/articles/684barabannaja_sushilka__princip_raboty_sushilnyje_bary_bany_almaty)
2. ГОСТ Р 58144-2018. Вода дистиллированная. Технические условия. -Введ. 2019-07-01.-М.: ЗАО "ЦИКВ", 2018. -11 с.

ОСОБЕННОСТИ ДИФфуЗИОННОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ИОНООБМЕННЫХ МЕМБРАН В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ЭЛЕКТРОДИАЛИЗА

Джубари М.К.А., Алексеева Н.В.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

mohammedqader1983@gmail.com

Одной из основных характеристик работы ионообменных мембран, используемых в электродиализаторах, является их диффузионная проницаемость. К настоящему моменту проведено много исследований диффузионной проницаемости ионообменных мембран [1-3] и показано, что она зависит от вида раствора, его концентрации и температуры.

Особенностью проведения интенсивного электродиализного процесса разделения водных растворов электролитов является прохождение электрического тока I через слои раствора различной концентрации, что влечет за собой нагрев раствора из-за выделения тепла Q :

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t = (i \cdot S)^2 \cdot 1/\kappa \cdot t \quad \text{или} \quad q = \frac{(i \cdot S)^2}{\kappa}.$$

Удельное количество выделяемой тепловой энергии q зависит от электропроводности раствора κ , которая в свою очередь зависит от концентрации раствора. Известно, что при проведении интенсивного электродиализного разделения около поверхности мембран проявляются явления концентрационной поляризации [4]. В камерах обессоливания у поверхности мембран образуется слой с низким содержанием ионов, а в камерах концентрата – с высоким содержанием ионов.

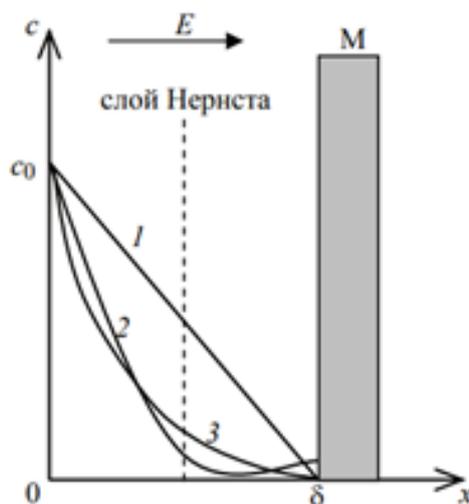


Рисунок 1. Профили концентраций раствора у принимающей стороны мембраны.

Резкий градиент концентраций ионов у поверхности мембраны (рис. 1) и в ядре потока обусловлен различными скоростями диффузии в растворе и мембране. Таким образом, для каждой мембраны в электродиализном пакете характерен градиент концентраций с разных сторон, а, следовательно, и градиент температур. Понятно, что все ионообменные мембраны во всех электродиализаторах в любых растворах находятся в условиях градиента температуры. Однако, исследования диффузионной про-

ницаемости мембран до сих пор проводились только в условиях постоянства температур с обеих сторон мембраны.

Проведение экспериментальных исследований диффузионной проницаемости мембран в условиях градиента температуры позволит получить характеристики мембран в условиях, близких к реальным, что улучшит понимание всего процесса в целом.

Список используемых источников.

1. Печенкина Е. С. Электрохимическое поведение ионообменных мембран в растворах хлоридов переходных металлов: Дис. ... канд. хим. наук: 02.00.05 Краснодар, 2005, 166 с.

2. Шуткина Е.А. Диффузионная проницаемость анионообменных мембран в растворах дигидрофосфата натрия / Е.А. Шуткина, Е.Е. Невакшенова, Н.Д. Письменская, С.А. Мареев, С.В. Никоненко // Конденсированные среды и межфазные границы. 2015. Том 17, № 4. С. 566-578.

3. Алексеева Н.В. Исследование диффузионной и осмотической проницаемости электродиализных мембран МК-40 и МА-40 в двухкомпонентных растворах солей меди, цинка, никеля и натрия / Н.В. Алексеева, А.И. Архипов, С.В. Борисов // Вестник ТГТУ. 2012. Т. 18, № 4. С.923 – 927.

4. Алексеева Н.В. Распределение концентраций в диффузионном слое при электродиализе в условиях запредельного режима// Н.В. Алексеева, В.А. Набатов, О.С. Татаринцева // Вестник ТГТУ. 2012. Т. 18, №1. С. 136 – 141.

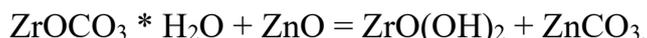
ПОДБОР СМЕСИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И СВЯЗУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РЕГЕНЕРИРУЕМОГО ПОГЛОТИТЕЛЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

Самохина В.А., Гатапова Н.Ц.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
elizarova.veronicka@yandex.ru

Для удаления избытка диоксида углерода из воздуха в замкнутых объемах используются разнообразные поглотители, большая часть которых является нерегенерируемыми.

Регенерируемый поглотитель на основе гидроксида циркония [1] получают в результате взаимодействия основного карбоната циркония и оксида цинка [2]:



Образующийся гидроксид циркония является основным продуктом реакции, а карбонат цинка представляет собой высокодисперсное, нерастворимое в воде вещество, оказывающее структурирующее действие, улучшая тем самым кинетические характеристики поглотителя.

Получение поглотителя включает стадии смешения, взаимодействия основного карбоната циркония и оксида цинка, добавления связующего и формование. Причем в

систему на стадии смешения может вводиться карбонат аммония и перекись водорода.

Поскольку исходные компоненты представляют собой порошки, смесительное оборудование определяет качество перемешивания и полноту проведения реакции, время процесса и количество загружаемых компонентов. В работе использовались планетарный и ленточный смесители, экструдер, смеситель с z-образными лопастями.

Требуемая степень перемешивания компонентов была получена на смесителе с z-образными лопастями.

Помимо подбора смесительного оборудования важной задачей является выбор связующих компонентов, так как процесс регенерации осуществляется продувкой водяным паром, после чего гранулы должны сохранить свои свойства. Кроме того, связующее должно быть водостойким.

В качестве связующего использовали поливиниловый спирт (ПВС), акриловую дисперсию АКРАТАМ, водную дисперсию А-420 и АКФ М2.

На рис. 1 показана средняя динамическая активность поглотителя, сформованного в виде гранул с содержанием связующего 4-5%. Испытания проводили на установке, имитирующей условия работы поглотителя для очистки воздуха герметичного объекта.

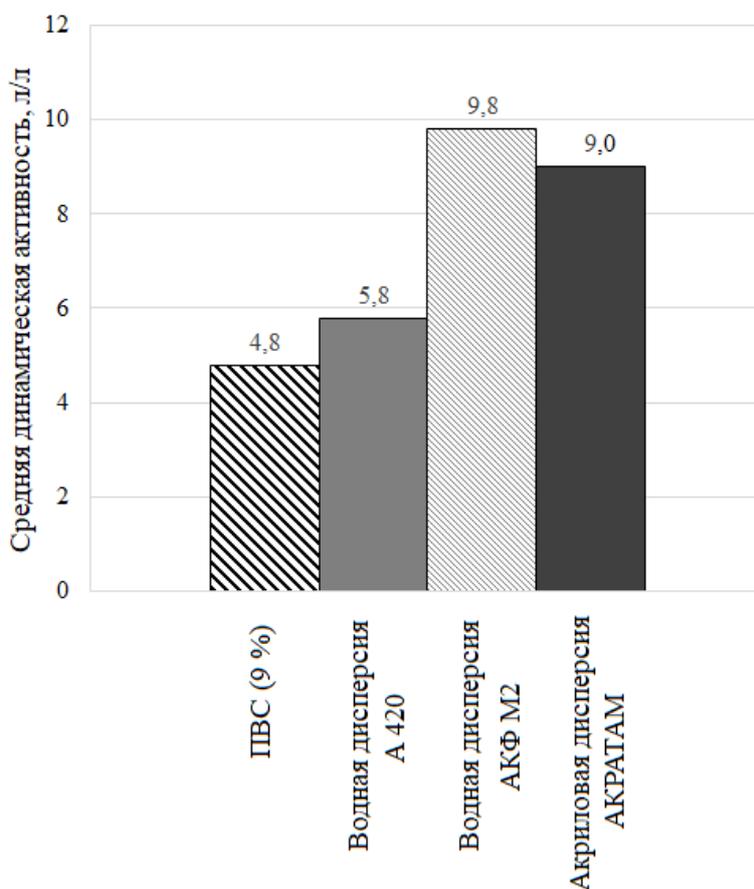


Рисунок 1. Средняя динамическая активность поглотителей.

Наиболее высокие результаты по прочности на раздавливание (таблица 1) показали образцы со связующим АКРАТАМ и АКФ М2 (1081 и 2510 г/гранулу, соответственно).

Таблица 1.

Прочность на раздавливание поглотителей.

№ Обр.	Наименование связующего	Прочность на раздавливание (г/гранулу).
1	ПВС (9%)	1063
2	Водная дисперсия А420	675
3	Акриловая дисперсия АКРА-ТАМ	1081
4	Водная дисперсия АКФ М2	2510

В таблице 2 представлена водостойкость образцов со связующим ПВС и водной дисперсией АКФ М2.

Таблица 2.

Водостойкость поглотителей.

Наименование связующего	Водостойкость
ПВС (9% р-р)	96,8%
Водная дисперсия АКФ М2	99,1 %

Таким образом, для производства поглотителей диоксида углерода на основе гидроксида циркония целесообразно использовать смеситель с z-образными лопастями. Для увеличения водостойкости гранул и повышения их механической прочности в качестве связующего рекомендуется использовать водную дисперсию АКФ М2 и акриловую дисперсию АКРАТАМ.

Список используемых источников.

1. Пат. 2618071 Российская Федерация, МПК В01J 20/06. Способ получения регенерируемого поглотителя диоксида углерода / Гранкина Ю.А., Донских В.В., Шубина В.Н., Елизарова В.А.; заявитель и патентообладатель ОАО «Корпорация «Росхимзащита». – № 2016103283; заявл. 2016.02.01; опубл. 2017.05.02 – 8 с.

2. Пат. 2632700 Российская Федерация, МПК В01J 20/06. Способ получения регенерируемого поглотителя диоксида углерода / Гранкина Ю.А., Донских В.В., Шубина В.Н.; заявитель и патентообладатель ОАО «Корпорация «Росхимзащита». – № 2016148990; заявл. 2016.12.13; опубл. 2017.10.09.

ВЫБОР ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СЫРА

Штиль А.Н.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
anastasya.shtil@yandex.ru

Производство сыра – это сложный технологический процесс, требующий не только точного соблюдения рецептуры, но и тщательного выполнения всех этапов производства продукта.

Мировая наука о питании признает сыр очень питательным, биологически полноценным, легко усваиваемым продуктом. Это незаменимый и обязательный компонент рациона питания человека. В зависимости от особенностей производства и технологических параметров мягкий сыр можно разделить на несколько самостоятельных групп, которые различаются по типу свертывания молока, используемым бактериальным препаратам, условиям созревания, температурным и временным режимам производства, использованию сырья немолочного происхождения, плесени, плесневой росе, грибам рода *Penicillium* и некоторым другим факторам [1].

В России в последние годы производство сыра набирает обороты, объемы производства увеличиваются, а ассортимент сыров расширяется.

Во-первых, возможности сыроварни (особенно при наличии дополнительного оборудования) позволят производить различные виды мягких и твердых сыров, йогурт, сметану, творог, пастеризованное и осветленное молоко, кефир, ряженку, варенец, айран, тан и многое другое. То есть даже с небольшим, но хорошо оборудованным производственным комплексом можно выпускать целый спектр натуральных, широко востребованных продуктов. Сырный комплекс состоит из основного и вспомогательного оборудования. К первой категории относится сам сыроизготовитель – емкость из нержавеющей стали объемом с ТЭНом или другим нагревательным элементом и водяной рубашкой, которая выполняет функцию нагрева, а затем охлаждения продукта. Для контроля температуры агрегат дополнительно оснащен встроенным термостатом. Ко второй категории относятся: тара из пищевого пластика для полного слива при производстве полуфабрикатов; сито для процеживания сыра, крупы; стол на форме, в который заливается сырная масса; специальный пресс для сыра, а также несколько палитр для форм и тара для отбора молочной сыворотки [2].

Совершенствование промышленной технологии производства сыра в последнее время было направлено на механизацию и автоматизацию традиционных технологических процессов. Это было связано с консерватизмом производства сыра по историческим процессам производства сыра. Модернизация в основном коснулась рабочих процессов производства сыра. Ряд научно-исследовательских работ, основанных на новейших достижениях в области биотехнологии технологических процессов производства сыров позволяет создавать технологические комплексы с высокой эффективностью при их реализации.

Многие современные технологические решения основаны на использовании специального оборудования, которое позволяет выполнять определенные технологические операции. Для малых предприятий возможно создание оригинальных вариантов технического оснащения, позволяющих производить уникальные сыры. Здесь вы найдете применение модульным прессам, малообъемным сырным ваннам, модуль-

ным секциям посола сыров, орошению и многим другим установкам для производства сыра.

В некоторых устройствах необходимо вводить новые технологические процессы, например, засаливание сырных зерен сухой солью, добавление специальных ингредиентов, обеспечивающих дополнительные свойства выпускаемой продукции (лечебно-профилактические свойства, длительное сохранение продукта, острота вкуса и другое) Такие устройства лучше интегрируются в существующий технологический процесс и обеспечивают новые свойства выпускаемой продукции. Такими устройствами могут быть ферментеры для производства биологически активных добавок на основе использования пробиотической микрофлоры, устройства для стерильного наполнения и упаковки готовой продукции, в частности смесители компонентов, прецизионные машины для получения микропрепаратов и так далее. Также для улучшения производства и быстроты изготовления возможно увеличение скорости нагрева полуфабрикатов на начальном этапе и при созревании сырного зерна [3].

Главной отличительной особенностью такого производства сыра является то, что технология позволяет сырному зерну созревать намного быстрее, что значительно влияет на сроки изготовления продукта. Устройство для мягкого сыра разработано с учетом этой особенности.

Оборудование для производства мягкого сыра, независимо от сорта и разновидности, практически не отличается друг от друга из-за схожести большинства технологических процессов, что значительно расширяет возможности для мелкого производства, которое может выпускать несколько видов продукции, при одинаковом наборе оборудования.

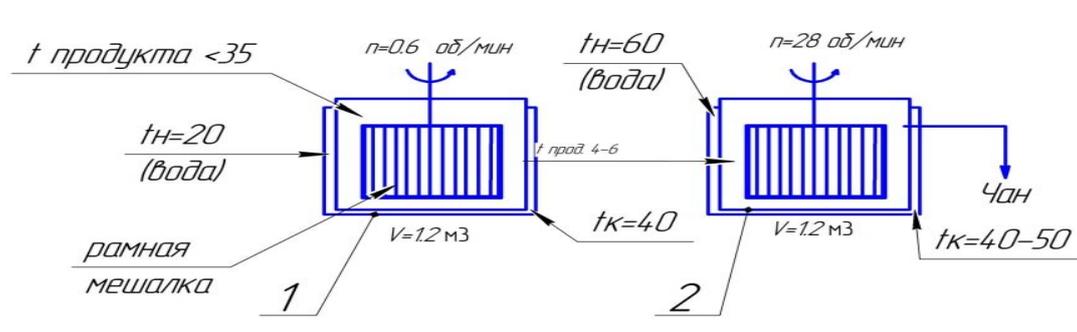


Рисунок 1 – Схема процесса приготовления мягкого сыра:
1 – ванна для приема и хранения молока; 2 – сыроварня.

Список используемых источников.

1. Л.А. Остроумов, И.А. Смирнова, Л.М. Захарова Особенности и перспективы производства мягких сыров/ ОстроумовЛ.А., СмирноваИ.А., ЗахароваЛ.М. – Научная статья.
2. Мини-сыроварни – [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – https://www.equipnet.ru/articles/tech/tech_1525.html
3. Комплексное совершенствование технологии сыроделия. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – https://www.dairynews.ru/news/kompleksnoje_sovershenstvovanije_tehnologii_syrode.html

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДИФИЦИРОВАННОГО СОРБЕНТА С МОЛЕКУЛЯРНЫМИ ОТПЕЧАТКАМИ МЕТИЛЕНОВОГО СИНЕГО

Ермолов Д.Ю., Попов М.А., Шиликов А.В.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

ermolov.d.i.m.a.n@yandex.ru

Введение

Метод молекулярного импринтинга позволяет получать органические и неорганические материалы с особыми свойствами. В них формируются участки (так называемые отпечатки), распознающие только те молекулы, которые использовали в качестве шаблонов при синтезе этих материалов. Распознавание предполагает, что молекула-шаблон будет соответствовать своему отпечатку не только по форме и размеру, но и как-то связываться с ним.

Экспериментальные исследования будут проводиться при помощи спектрофотометра ПЭ-5400 УФ

Способ получения материалов

В качестве основы для импринтированного материала была взята смола ДЭГ-1. Так как органические полютанты чаще всего встречаются в водных средах, нам необходимо было взять органический полимер способный растворяться в водной среде. В качестве такого материала был взят органический полимер ДЭГ-1, так как он обладает всеми нужными нам характеристиками и относительно недорогой.

ДЭГ-1 представляет собой жидкость с низкой вязкостью от светло-желтого до коричневого цвета. Используется в качестве активного разбавителя при изготовлении связующих для покрытий, производства клея, герметиков, адгезивов. А так же в производстве эпоксидных пенопластов, стеклопластиковых изделий и антикоррозионных составов. Её применяют в качестве активных разбавителей и пластификаторов заливочных, пропиточных, клеевых и герметизирующих составов на основе эпоксидно-диановых смол, эпоксидных связующих для стеклопластиков, клеев, компаундов в электротехнической промышленности, авиа- и судостроении и т.д., а также для отделки тканей (придание эффектов несминаемости и безусадочности).

Как сказано выше, в обычном состоянии ДЭГ-1 представляет собой жидкость. Для придания ей соответствующей формы и молекулярного строения, используется отвердитель УП-606.

УП-606 - 2,4,6 -трис(диметиламинометил)фенол. Прозрачная жидкость от янтарного до коричневого цвета. Используется в качестве ускорителя отверждения эпоксидных смол в составах, применяемых при изготовлении заливочных и пропиточных компаундов в электро- и радиотехнике, электронике, эпоксидных составов для пултрузии и намотки труб.

Также, для создания отпечатков в веществе, нам понадобится то вещество, которое мы хотим извлекать из водной среды. В качестве этого вещества (адсорбата) мы используем метиленовый синий. Это вещество представляет из себя краситель. Имеет форму тёмно-зеленых кристаллов с бронзовым блеском. Само по себе вещество обладает антисептическими свойствами и не опасно для здоровья, но является аналогом намного более опасный красителей.

Пропорции при создании импринтированного вещества следующие:

- 1) 15 гр. смолы ДЭГ-1 121 мк.;
- 2) 1,43 гр. отвердителя УП-606/2;
- 3) 10 мл. воды;
- 4) 0,05 гр. метиленового синего.

Пропорции при создании исходного вещества:

- 1) 14,98 гр. смолы ДЭГ-1 121 мк.;
- 2) 1,43 гр. отвердителя УП-606/2;
- 3) 10 мл. воды.

Смесь тщательно перемешать, поставить в вакуумно-сушильный шкаф на 3 часа при температуре 60 °С. Дать веществу остыть 1 день при комнатной температуре. Затем сорбент размолоть и промыть несколько раз. Далее разделить вещество на фракции для более точных результатов экспериментов и изучения количества и объема пор.

По данным, полученным в результате экспериментов можно сделать вывод, что в случае мелкофракционного измельчения ($d < 0.5$ мм), импринтированный материал обладает лучшей адсорбцией по сравнению с исходным материалом. При фракции $d > 0.5$ мм наблюдается сходная картина. Импринтированный материал обладает несколько лучшей адсорбцией по сравнению с исходным материалом. Предполагается, что это связано с порообразованием. У фракции $d > 0.5$ мм имеется большое количество закрытых пор, что препятствует поглощению органических поллютантов из жидкой среды. У фракции $d < 0.5$ мм имеется достаточное количество пор для сорбции красителя вследствие более мелкого измельчения.

Материалы изготавливались из смолы ДЭГ в присутствии органического красителя (метиленовый синий) для создания в смоле молекулярных отпечатков.

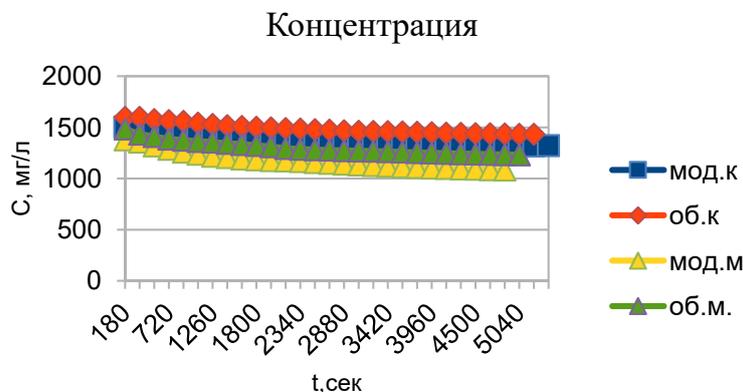


Рисунок 1. Кривые концентраций модифицированного и исходного материалов.

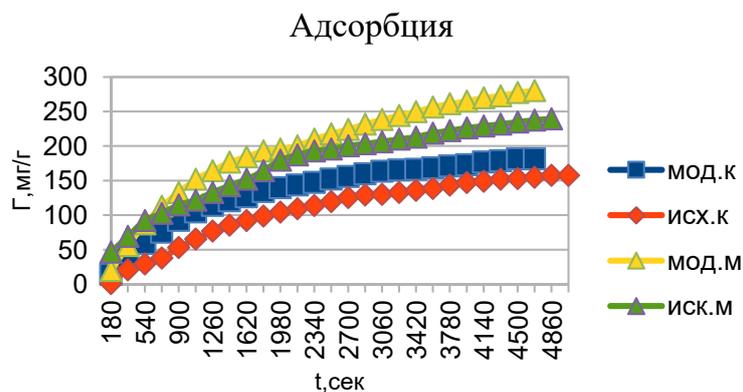


Рисунок 2. Кривые адсорбции модифицированного и исходного материалов.

Список используемых источников.

1. Лисичкин Г. В., Крутяков Ю. А. Материалы с молекулярными отпечатками: синтез, свойства, применение // Успехи химии. Т. 75. 2006. С. 998.
2. Гендриксон О. Д., Жердев А. В., Дзантиев Б. Б. Молекулярно импринтированные полимеры и их применение в биохимическом анализе // Успехи биологической химии. – 2006. – Т. 46. – С. 149-192.
3. Касымова Э. Д. Получение полимерных молекулярных отпечатков // Известия Национальной Академии наук Кыргызской Республики. – 2010. – №. 3. – С. 122-125.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИКАЛЬЦИЙФЕНИЛСИЛОКСАНА В КАЧЕСТВЕ ДОБАВКИ К ЦЕМЕНТНЫМ КОМПОЗИЦИЯМ

Степанов Е.С., Красицкая С.Г.

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток

Кремнийорганические соединения широко применяются в строительстве для придания конструкциям и материалам гидрофобных свойств, пластификации бетонной смеси, для повышения коррозионной стойкости и морозостойкости бетонов и железобетонных конструкций, особенно в морской воде и других агрессивных средах, а также в качестве основного компонента долговечных красок и герметизирующих материалов. Для таких целей могут быть использованы различные полиорганосилоксаны: жидкости (полиметил- и полиэтилгидридсилоксаны), алкилсиликонаты щелочных металлов, смолы (полиметилфенил- и полиметилсилоксаны), а также композиции на их основе и эластомеры (герметики, клеи-герметики). Эти материалы повышают долговечность строительных конструкций, снижают эксплуатационные затраты и поэтому имеют большое народнохозяйственное значение.

Синтез поликальцийфенилсилоксана (далее - ПКФС) проводили в условиях механохимической активации в планетарной шаровой мельнице "Pulverisette 6 при 600 об./сек., длительность процесса 4 мин. по схеме:



По результатам данным гельпроникающей хроматографии молекулярная масса образовавшегося ПКФС больше 5000. Полимер был охарактеризован физико – химическими методами анализа. В ИК-спектре присутствуют все характеристические полосы поглощения.

Далее определяли количество гидроксильных групп в составе ПФС и ПКФС. Взаимодействие кремнийорганических модификаторов возможно происходит при помощи гидроксильных групп.

Присутствие кремнийорганических модификаторов в цементной композиции приводит к повышению прочности на изгиб, морозостойкости так как происходит гидрофобизация внутренней поверхности пор цементного камня. Это обусловлено определенной ориентацией молекул полимеров: полярные силоксановые связи Si-O-Si, а также гидроксильные группы направлены к поверхности материала, а гидрофобные углеводородные радикалы в сторону окружающей среды[1]. Количество гидроксильных групп в поликальцийфенилсилоксане резко возрастает по сравнению с полифенилсилоксаном. Вероятно, именно это определяет более прочное связывание

ПКФС с компонентами цементной смеси.

Для определения механизма вхождения разнообразных модификаторов в состав цементной композиции нами было проведено исследование трех образцов сухих цементных смесей, предоставленных Дальневосточным научно-исследовательским институтом по строительству ДальНИИС, в которые уже были добавлены различные модификаторы.

Были получены образцы сухой смеси цемента и была определена сходимость результатов, на сколько хорошо цементные модификаторы после помола привязываются к сухой смеси.

Каждый образец подвергался экстракции хлороформом в аппарате Сокслета, для того чтобы выделить модификатор, либо продукты взаимодействия модификатора с компонентами цемента, из состава цементной композиции. Растворимые фракции изучали методами ИК-спектроскопии. Растворимая фракция образца №1 содержит полосы поглощения, характерные для полифенилсилоксана, образца №2 – полигетероорганосилоксанов, а в образце №3 отсутствуют полосы поглощения, характерные для суперпластификатора С-3. Результаты предсказуемы, так как суперпластификатор С-3 не экстрагируется хлороформом из цементной композиции.

Список используемых источников.

1. Батраков, В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика, 1998, 136с.

УСРЕДНИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ТВЕРДЫХ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Сухорукова Т.А., Феоклистов Ю.А., Борщев В.Я.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
borschov@yandex.ru

Процесс усреднения находит широкое применение в различных отраслях промышленности [1]. В частности в химической промышленности усреднение применяют в производстве различных химических добавок; в строительстве при производстве различных сухих строительных смесей, а также композиционных материалов.

В промышленности усреднение больших объемов смеси сыпучих материалов осуществляется в специальных конструкциях смесителей с бункерами большого объема и транспортирующими устройствами. Такие смесители хорошо себя зарекомендовали при реализации процесса усреднения готовых партий сыпучих материалов, которые отличаются друг от друга составом.

В химической промышленности широко применяются механические усреднители, в которых процесс усреднения реализуется под воздействием рабочих органов на частицы сыпучего материала. Как правило, конструкция таких усреднителей состоит из емкостей для исходных материалов, в которых вследствие перемешивания обеспечивается требуемый по однородности состав готового продукта.

Непрерывнодействующие усреднители по характеру движения в них сыпучего материала условно делят на три группы: 1) усреднители с практически поршневым перемещением материала вдоль оси, т.е. без продольного перемешивания частиц; 2) усреднители с наличием продольного перемешивания частиц сыпучего материала при

их продольном движении вдоль корпуса устройства; 3) усреднители, в которых имеет место хаотичное перемещение частиц во всем внутреннем объеме устройства.

Практически поршневым движением сыпучего материала вдоль оси корпуса характеризуется пересыпной усреднитель. При этом в конической части бункера имеет место незначительное продольное перемешивание частиц. Для интенсификации процесса усреднения в этих устройствах дополнительно устанавливаются конструктивно различные рабочие органы. Модифицированные таким образом пересыпные усреднители называют циркуляционными.

Достаточно простая конструкция и универсальность применения характерна для барабанных смесителей непрерывного действия. Однако эти конструкции характеризуются достаточно длительным усреднением, что может привести к повышенному истиранию частиц и их дополнительному измельчению.

К основным недостатком известных конструкций усреднителей сыпучих материалов относятся низкая эффективность процесса усреднения и их низкая эксплуатационная надежность. Вследствие этого интенсификация процесса усреднения, на наш взгляд, должна осуществляться путем увеличения турбулизации и циркуляции потоков смешиваемых партий материала. Такие подходы, как правило, характеризуются уменьшением металло- и энергоемкости усреднительного оборудования.

Таким образом, эффективными и предпочтительными являются конструкции усреднителей, характеризующиеся активным гидродинамическим режимом. В этих усреднителях организуется движение партий усредняемых сыпучих материалов вдоль корпуса аппарата [2]. Для организации движения сыпучего материала в корпусе усреднителя монтируются различные транспортирующие устройства, в частности, шнеки, пересыпные воронки, а также применяются устройства для аэрирования потока сыпучего материала.

Авторы настоящей работы разработали усреднитель сыпучего материала, в котором смесь требуемого качества образуется в процессе активного движения смешиваемых материалов вдоль вертикального корпуса устройства [3]. Значительное увеличение эффективности процесса усреднения достигается за счет использования в устройстве установленных друг над другом по высоте корпуса разрыхлителей потока сыпучего материала и организации с их помощью большого количества параллельных разрыхленных потоков перемешивания материала. Интенсивное перемешивание параллельных потоков материала достигается также с помощью наклонных кронштейнов, установленных каскадом с противоположным углом наклона в зазорах между пересыпными воронками и корпусом усреднителя. В результате обеспечивается интенсивное взаимное проникновение частиц материала отдельных партий и достигается повышение качества готового продукта вследствие однородного объемного распределения сыпучего материала в корпусе усреднителя.

Список используемых источников.

1. Макаров, Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю.И. Макаров // М.: Изд-во Машиностроение. – 1973. – 216 с.
2. Иванец, В.Н. Интенсификация процессов гомогенизации и диспергирования при получении сухих, увлажненных и жидких комбинированных продуктов / В.Н. Иванец, И.А. Бакин, Г.Е. Иванец // Техника и технология пищевых производств. – 2012. – Выпуск № 3. С. 3 – 12.

3. Патент 2624477 (B01F7/18, B01F03/00). Усреднитель партий сыпучего материала / Долгунин В.Н., Борщев В.Я., Сухорукова Т.А. – № 2016116112; заявл. 25.04.2016; опубл. 04.07.2017.

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ ГИПЕРПЛАСТИФИКАТОРОВ

Борискина Е.А., Пахомов А.Н.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
hatunceva93@mail.ru

В настоящее время важным направлением в развитии технологии строительства является решение проблемы прочности, долговечности и экономичности бетона. С помощью химизации отрасли, а именно использовании органических и неорганических соединений в качестве добавок, можно значительно улучшить механические и физико-химические свойства бетона.

Во всех добавках можно выделить три группы [1]:

1. Добавки, регулирующие свойства готовых бетонных и растворных смесей:

- пластифицирующие-водоредуцирующие;
- стабилизирующие;
- сохраняющие подвижность смеси;
- поризующие.

2. Добавки, изменяющие свойства бетонов и растворов:

- регуляторы кинетики твердения;
- повышающие прочность;
- повышающие морозостойкость, коррозионную стойкость.

3. Добавки, придающие бетонам и растворам специальные свойства:

- противоморозные;
- гидрофобизирующие;
- биоцидные.

Наиболее широкое применение в технологии производства бетона нашли пластифицирующие добавки, которые регулируют свойства растворных смесей. Так как они обладают высокой эффективностью и не имеют отрицательного действия на бетон и арматуру, применяемых в строительстве [2].

Одним из самых перспективных направлений является производство гиперпластификаторов — поликарбоксилатов. При этом, основной из задач при их производстве, это получение сухого порошка готового продукта.

Существуют разные способы по получению порошка поликарбоксилатов. Рассмотрим некоторые из них.

В патенте № US 6,437,027 В1 для предотвращения налипания на стенки аппарата во время сушки предлагается добавлять в водный раствор поликарбоксилата восстанавливающий агент. Примерами таких восстанавливающих неорганических соединений являются сульфитные соли, нитритные соли и тиосульфатные соли, предпочтительно соли щелочных металлов или соли щелочноземельных металлов. Причина предотвращения гелеобразования во время замешивания и смешивания на стадии сушки путем добавления такого восстанавливающего неорганического агента не выяснена, но считается, что восстанавливающий неорганический агент может инактиви-

ровать радикал реакционного инициатора, который остается в растворе, содержащий сополимер поликарбоксилата. Следовательно, количество восстанавливающего неорганического агента определяют в соответствии с видом инициатора радикальной реакции, оставшимся в растворе или его количеством.

В качестве сушильного аппарата рекомендуется распылительная сушилка, при условии содержания полимерного соединения в жидком продукте до 40%. В том случае, если процентное содержание выше 40%, предпочтительна вакуумная сушилка [3].

Другой способ получения порошка поликарбоксилата с предотвращением налипания описан в патенте CN1919772A, в котором решением проблемы карамелизации на стенках сушильного аппарата является увеличение диаметра сушилки. В начале процесса сушки жидкий поликарбоксилат не успевает в достаточной мере просушиться, при образуется вязкая полусухая масса, которая с легкостью прилипает на стены аппарата. Увеличение диаметра сушилки с 2 м до 8 м предполагает устранение этой проблемы [4].

В патенте CN103214208A описан способ получения порошка поликарбоксилата с применением сушилки псевдооживленного слоя. Технология приготовления включает следующие этапы: ручным способом получают подложку из поликарбоксилатного суперпластификатора; обрабатывают подложку в сушильном грануляторе. Метод подготовки использует тот принцип, что порошкообразный поликарбоксилатный суперпластификатор, который начинает плавиться при температуре выше 35 °С, необходимо сушить при низкой температуре. Поэтому для измельчения применяется гранулирование жидкого слоя, а не гранулирование экструзии. Порошок пластификатора, приготовленный таким образом, сохраняет качество исходного жидкого суперпластификатора неизменной, и одновременно измельченный пластификатор повторно используется в качестве материала подложки для непрерывного процесса производства, что увеличивает коэффициент использования сырья [5].

Таким образом, существуют разные способы получения порошка поликарбоксилатных гиперпластификаторов. В зависимости от метода производства, некоторые из них предполагают добавление в жидкий продукт поликарбоксилата вспомогательных соединений. Другие же - изменение аппаратного оформления производства.

Список используемых источников.

1. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика / В.Г. Батраков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М., 1998. – 768 с.
2. Малайрэу, Ю.А. Синтез и исследование свойств поликарбоксилатных пластификаторов / Ю.А. Малайрэу, Е.А. Индейкин // Шестидесят шестая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. 23 апреля 2013 г., Ярославль: электрон. сб. тез. докл. – Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2013.
3. Hirotaka Isomura, Hiroshi Hayashi, Kazuhisa Tsukada, Koichi Soeda, Kenjiro Makino, Yamato Masaki Takimoto Process for producing dispersant for powdery hydraulic composition [PCT/JP99/06648]. Patent US, no. 6,437,027 B1. 2002.
4. Chi Chun-Wai, Fu Lefeng, Shen Jun A method for preparation of powder polycarboxylate [Shanxi Kaidi Building Materials Co]. Patent CN, no. 1919772A. 2005.
5. Fan Sheng Mao Preparation method of powdery polycarboxylate superplasticizer [Shanxi Kaidi Building Materials Co]. Patent CN, no.103214208A. 2013.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО ДИФФУЗИИ ТИТАНА И НИКЕЛЯ В ПРОЦЕССЕ СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ

**Халиков А.Р.¹, Нгуен В.Т.¹, Точилкина С.В.¹,
Хазгалиев Р.Г.², Дмитриев С.В.²**

¹*Уфимский государственный авиационный технический университет,
г. Уфа, 450000, ул. Карла Маркса, 12*

²*Институт проблем сверхпластичности металлов РАН,
г. Уфа, 450001, ул. Халтурина, 39*

Создание современных технических устройств, в частности, парогенераторов и теплообменников ядерных энергетических установок, требует получения надежного соединения титановых сплавов с другими материалами. Известны способы соединения нержавеющей стали и титановых сплавов [1, 2]. Однако получение надежных соединений этих сплавов связано с рядом трудностей, и в частности, с образованием хрупких интерметаллидов системы Ti-Fe [1, 2].

Попытки соединения непосредственным контактом образцов титанового сплава и нержавеющей стали не увенчались успехом, так как в этом случае образуются хрупкие интерметаллиды Fe – Cr – Ti и Fe – Ti, кроме этого возникают остаточные напряжения из-за несоответствия коэффициентов термического расширения соединяемых материалов. Одним из способов избежать образования хрупких интерметаллидов является использование тонких прослоек других металлов [3, 4]. Промежуточные слои позволяют существенно улучшить механические свойства соединений.

В данной работе делается попытка описания методом Монте-Карло процесса диффузии на контактной границе двух металлов в рамках упрощенной двумерной модели кристалла. Для ускорения расчетов предполагается, что атомы различных сортов имеют одинаковый размер и не учитываются эффекты атомной релаксации, иными словами, принимается модель жесткой кристаллической решетки [5-11]. Взаимодействие между атомами описывается парными межатомными потенциалами с учетом дальнего действия, включающего две первые координационные сферы, а диффузия осуществляется по вакансионному механизму. Несмотря на свою простоту, данная модель позволяет описать исследуемый процесс на качественном уровне и облегчает обработку и визуализацию результатов моделирования [12-16].

Моделирование проводилось при различных энергиях связей пары атомов. Были выбраны три локальных эксперимента. Первый – энергия связи пары атомов никеля и титана сохраняла свое значение в ходе моделирования. Второй – энергия связи пары атомов никеля и титана изменялась по линейному закону (3) в зависимости от локальной концентрации элемента, при этом зависимость (3) распространялась на концентрационный диапазон от 0 до 100 %. В третьем случае энергия связи пары атомов никеля и титана локально меняли свои значения по различным линейным законам в зависимости от определенного интервала концентрации, например от 0 до 33% или от 33% до 50%. Такая калибровка энергии связи пары атомов обусловлена типом фазовой диаграммы состояния Ti-Ni.

В сплавах существуют ограничения по влиянию локальной концентрации на структуру и тип соединения A_nB_m , которое зависит от радиуса атомов, общего количества электронов, границ зерен, дислокаций, максимального и минимального размера структурного элемента фазы, скорости диффузии внутри фазы и межфазной диффузии элементов. В связи с этим провели 4 варианта эксперимента с различным учетом влияния локальной концентрации. Были выбраны следующие размеры ячеек 10x10, 40x40, 80x80 и 200x200 атомов. В ходе моделирования были получены упорядоченные соединения.

Характерные концентрационные кривые представлены на рисунке 1. Зона диффузии следующая: для площади учета локальной концентрации 10x10 составляет ≈ 115 атомных слоев, 40x40 ≈ 95 атомных слоев, 80x80 ≈ 90 атомных слоев и для 200x200 ≈ 125 . На всех концентрационных кривых видно ограничение диффузии в область элемента A и резкое изменение концентрации от 100 до 50% $A(\text{Ti})$. Со стороны зоны элементов B происходит равномерное изменение концентрации. В зоне диффузии наблюдаем скачкообразное изменение концентрации элементов Ti и Ni , которое связано с формированием структур (рисунок 1а). Данная тенденция присутствует на всех графиках, но наиболее ярко она выражена на рисунок 1 (б) и (в). Концентрация элементов в зоне диффузии стремится к составу 65 - 70% Ni . Для размера участка 200x200 ограничение диффузии в область элемента A снижается, кривая изменения концентрации имеет выступ в области образования шахматной структуры, что мы видим на рисунке 1 (г).

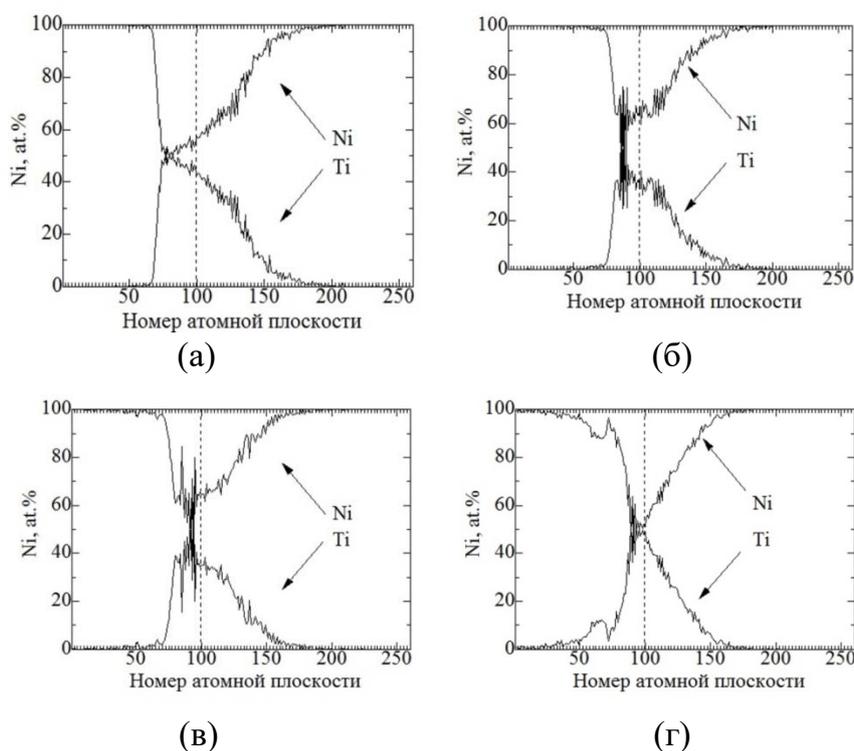


Рисунок 1. Изменение концентраций в зоне соединения титан – никель (пунктирная линия – зона контакта Ti-Ni).

Анализируя приграничные области от Ti к Ni (рисунок 2), было определено, что формируются следующие структуры:

- титан и зона диффузии никеля в титан (обозначена как - (1)),
- шахматная структура - (2),
- полосчатая структура - (3),

- область смеси Ti-Ni шахматной структуры и элемента Ni в чистом виде - (4),
- зона диффузии титана в никеле - (5),
- никель - (6).

Сопоставляя рисунок 2 и концентрационные кривые (рисунок 1), можно показать, что диффузия элемента В (Ni) в А (Ti) ограничена, т.к. в зоне соединения формируются шахматная и полосчатая структуры. Резкое снижение концентрации элемента А до 50 % (рисунок 2) объясняется образованием шахматной структуры, тогда как скачки концентрационных кривых в зоне диффузии связаны с образованием полосчатой структурой.

На основе компьютерного моделирования описаны концентрационные кривые на контактной границе двух металлов в рамках упрощенной двумерной модели кристалла при различных энергиях упорядочения. Приведено описание взаимодействия атомов с изменяющимися энергиями парных межатомных потенциалов по линейному закону и в результате получены все интерметаллиды, присутствующие на фазовой диаграмме Ti-Ni.

Таким образом, учитывая локальное изменение энергии парных потенциалов, становится возможным моделирование процесса сварки различных элементов. В данной работе рассматривался сплав на контактной границе двух металлов в рамках упрощенной двумерной модели кристалла на квадратной решетке. Однако предложенная модель может быть использована для моделирования рассмотренных процессов и на трехмерных решетках, а также для прогноза бинарных и многокомпонентных диаграмм состояния металлических систем.

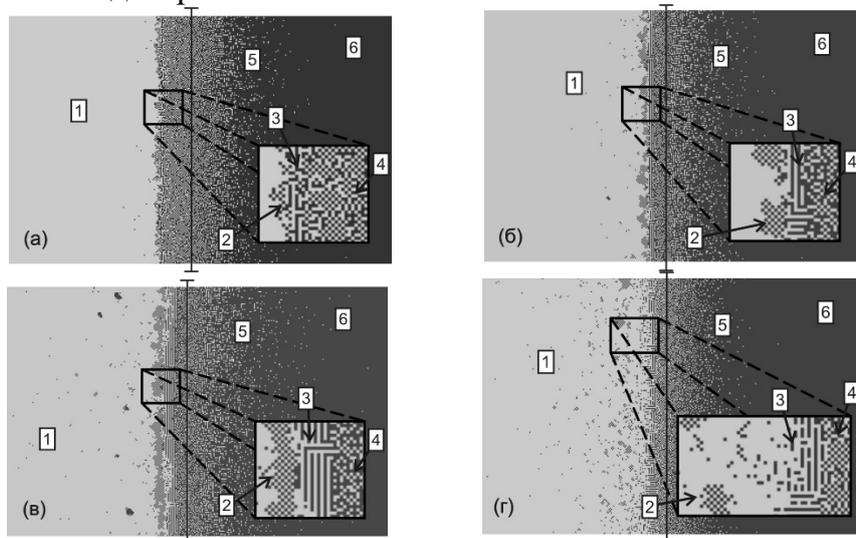


Рисунок 2. Результат моделирования диффузии элементов А и В при нелинейном законе изменения параметра парного потенциала; размер ячеек для расчета локальной концентрации: (а) – 10x10, (б) – 40x40, (в) – 80x80, (г) – 200x200 атомов; температура 750°C, 1×10^9 циклов.

Список используемых источников.

1. Шоршоров М. Х., Колесниченко В. А., Алехин В. П. Клинопрессовая сварка давлением разнородных материалов. М.: Металлургия, 1982 г. 112 с.
2. Рябов В. Р., Рабкин Д. М., Курочка Р.С., Стрижевская Л.Г. Сварка разнородных металлов и сплавов. М. Машиностроение, 1984, 239 с.
3. Каракозов Э.С. Сварка металлов давлением. М. Машиностроение. 1986. 280 с.

4. Шоршоров М.Х. *Металловедение сварки стали и сплавов титана*. М. Наука. 1965. 336 с.
5. Андрухова О.В., Козлов Э.В., Дмитриев С.В., Старостенков М.Д. О возможных механизмах атомного разупорядочения в бинарных сплавах // *Физика твердого тела*. – 1997. – Т.39. – № 8. – С. 1456–1460.
6. Iskandarov A.M., Dmitriev S.V. Possible energy states of stoichiometric AB alloys based on fcc, bcc, and sc lattices // *Crystallography Reports*. – 2012. – V.57, No.5. – P. 746–750.
7. Kistanov A.A., Iskandarov A.M., Dmitriev S.V. The equilibrium states of $A_{1-x}B_{1+x}$ binary alloys in the hard-sphere and pair-binding model // *Russian Physics Journal*. – 2012. – V.54, No.10. – P. 1128–1136.
8. Халиков А.Р. Допустимые изменения параметров дальнего порядка для двумерных структур стехиометрических составов A_2B , A_3B , A_3B_5 // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. – 2011. – Т.8, №.4. – С. 109–116.
9. Халиков А.Р., Шарапов Е.А., Корзникова Е.А., Валитов В.А., Дмитриев С.В. Об упрощенной процедуре описания всех возможных структур бинарного сплава A_nB_m // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. 2018. Т. 15. № 4. С. 482-488.
10. Potekaev A.I., Chaplygina A.A., Chaplygin P.A., Starostenkov M.D., Kulagina V.V., Klopotov A.A. Structural-phase features of low-stability pretransitional states of bcc-alloys with complexes of planar defects (antiphase boundaries) // *Russian Physics Journal*. – 2018. – V.61, No.3. – P. 412–427.
11. Лобзенко И.П., Халиков А.Р., Шарапов Е.А., Корзникова Е.А., Семенов А.С., Дмитриев С.В. Моделирование методом Монте-Карло процесса диффузионной сварки двух металлов через прокладку // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. – 2019. – Т. 16. – № 1. – С. 47-54.
12. Халиков А.Р., Шарапов Е.А., Корзникова Е.А., Потекаев А.И., Старостенков М.Д., Галиева Э.В., Дмитриев С.В. Моделирование методом Монте-Карло процессов диффузии в трехкомпонентных сплавах // *Известия высших учебных заведений. Физика*. – 2019. – Т. 62. – № 4 (736). – С. 119-124.
13. Халиков А.Р., Шарапов Е.А., Семенов А.С., Валитов В.А., Дмитриев С.В. Моделирование структуры жаропрочных сплавов ВКНА-25 И ЭП975 методом Монте-Карло // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. 2019. Т. 16. № 4. С. 429-436.
14. Хазгалиев Р.Г., Халиков А.Р. Моделирование диффузии титана и никеля в процессе сварки давлением в приближении жесткой кристаллической решетки // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. 2018. Т. 15. № 2. С. 196-202.
15. Халиков, А.Р. Влияние состава на энергии бинарных сплавов в разупорядоченном состоянии и после отжига / А.Р. Халиков, А.М. Искандаров, С.В. Дмитриев // *Ползуновский вестник*. – 2012. – Вып. 1-1, – С. 301-304.
16. Хазгалиев Р.Г., Халиков А.Р., Дмитриев С.В. Моделирование процесса сварки давлением титана и никеля в приближении недеформируемой кристаллической решетки. // *Современное состояние и проблемы естественных наук: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов Юргинский технологический институт*. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – С. 167 – 172.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ПНЕВМОДИНАМИЧЕСКОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ С ПОРИСТЫМ ВЕЩЕСТВОМ

Мордасов Д.М., Мордасов М.Д., Лазутин А.В.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

mit@tstu.ru

Создание новых композиционных материалов невозможно без всестороннего изучения процессов, протекающих при взаимодействии их компонентов, а также при их структурообразовании. Результатом теоретических и экспериментальных исследований физических эффектов является создание их математического описания, которое может быть положено в основу получения математических моделей методов контроля показателей качества этих материалов.

В настоящей работе приведены результаты теоретических исследований взаимодействия газа с пористыми материалами, которые могут быть полезны при создании пневмодинамических методов контроля их объема, плотности и пористости.

Рассмотрим простейшую измерительную систему (рис. 1), состоящую из источника питания 1 сжатым газом, дросселя 2, пневмодинамической емкости 3, являющейся измерительной, и контролируемого вещества 4, помещенного в измерительную емкость.

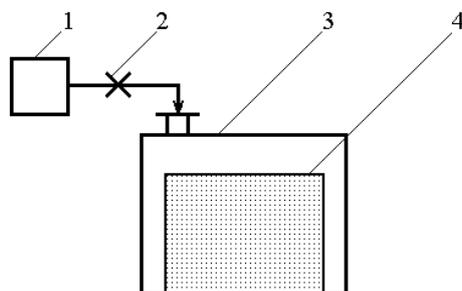


Рисунок 1. Пневмодинамическая измерительная система.

При помещении в емкость 3 вещества, у которого нет открытых пор, либо пор больших размеров, называемых кавернами или отверстиями [1], и подаче на ее вход газа с заданным давлением, начинается процесс заполнения, протекающий по экспоненциальному закону. Время изменения давления в емкости на заданную величину однозначно связано с объемом контролируемого вещества 4.

При взаимодействии газа с веществом, имеющим открытые мезопоры (диаметр пор $2 < d_p < 100$ нм), характер изменения давления в измерительной емкости 3 меняется. При этом, в течение сравнительно небольшого промежутка времени происходит заполнение свободного газового пространства, а также каверн и отверстий в частицах, после чего газ начинает проникать внутрь наноразмерных пор. С целью математического описания этого физического процесса, предложено рассматривать мезопоры контролируемого вещества в виде непроточного капилляра, диаметр d_k которого равен среднему диаметру имеющихся пор, а длина l_k соответствует общей протяженности пор.

Для получения математического описания газодинамических процессов, происходящих при заполнении непроточного капилляра, предложено рассматривать его модельно в виде пневматического аperiодического звена I порядка, состоящего из

емкости, объем которой V_k равен произведению длины l_k на площадь сечения $S_k = \frac{\pi d_k^2}{4}$, и турбулентного дросселя, представляющего собой диафрагму бесконечно малой толщины с диаметром отверстия равным среднему диаметру пор d_k .

Состояние газа в капилляре описывается уравнением Клапейрона-Менделеева

где \bar{P}_V - абсолютное давление в капилляре, объем которого равен V_k ; θ - массовое количество газа в капилляре; R - газовая постоянная; T - абсолютная температура газа.

Продифференцировав уравнение (1) по времени получим

$$\text{откуда с учетом } G = \frac{d\theta}{dt}$$

где G – массовый расход газа через диафрагму.

Согласно теории элементов пневмоавтоматики [3, 4], расход газа через турбулентное сопротивление определяется в виде

где μ - коэффициент сжатия струи ($\mu = 1$); ξ - коэффициент гидравлических потерь ($\xi = 0,5$); ε - поправочный множитель, учитывающий изменение плотности газа при протекании его через сопротивление ($\varepsilon = 1$); ρ_r – плотность газа; $P_{вх}$ – давление на входе сопротивления.

Уравнение (2) с учетом (3) и значений μ , ξ и ε принимает вид

$$\text{откуда с учетом } V_k = S_k \cdot l_k$$

Разделяя переменные в уравнении (4)

$$\frac{dP_V}{\sqrt{P_{вх} - P_V}} = \frac{0,816 \cdot RT \cdot \sqrt{2\rho_r}}{l_k} \cdot dt$$

и интегрируя

получим

Постоянную интегрирования C определим из (5) с учетом начальных условий $t = 0$,

Подставив (6) в (5) и выразив P_V , получим

На рис. 2 приведены графики изменения давления в порах активных углей, удельный объем пор которых составляет соответственно 0,01 см³/г, 0,05 см³/г и 0,1 см³/г, во времени. Графики построены по зависимости (7) при следующих исходных

Анализ кривых (рис. 2) показывает, что с увеличением объема пор существенно увеличивается время их заполнения, однако аппроксимация зависимостей полиномом первой степени позволит по времени достижения давлением заданного значения судить и о времени полного заполнения пор.

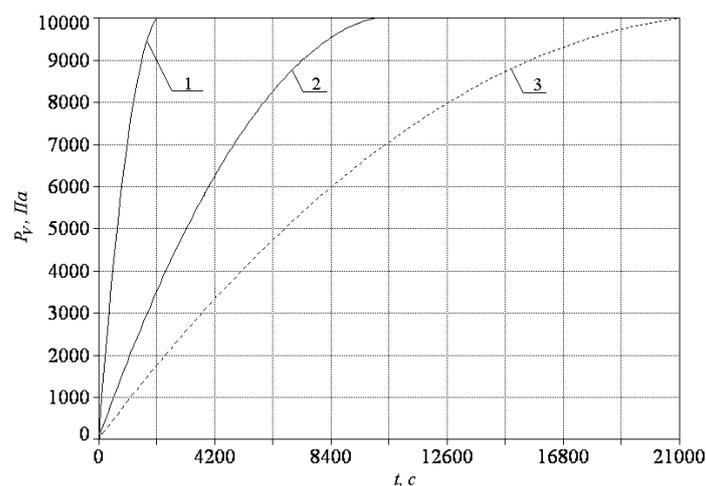


Рисунок 2. Динамика изменения давления в порах активных углей (удельный объем пор: 1 - 0,01 см³/г, 2 – 0,05 см³/г, 3 – 0,1 см³/г).

Результаты проведенных исследований позволяют проанализировать влияние на динамику заполнения пор таких величин, как суммарная длина пор l_k , входное давление $P_{вх}$ и плотность газа ρ_g , а также может быть положено в основу пневмодинамических методов контроля параметров пористости ультрадисперсных материалов.

Список используемых источников.

Volume and density determinations for particle technologists / A. Webb Paul // Micrometrics Instrument Corp., World Wide Web: <http://www.micrometrics.com>. – 2001. - 16 p.

. Мордасов Д.М. Пневмодинамические методы и устройства контроля плотности жидкостей и сыпучих материалов: Дис. ... докт. техн. наук. спец. 05.11.13. - Тамбов, 2006. - 257 с.

Ибрагимов А.И. Элементы и системы пневмоавтоматики / А.И. Ибрагимов, Н.Г. Фарзани, Л.И. Илясов. - М.: Высш. школа, 1975. - 360 с.

4. Дмитриев В.Н. Основы пневмоавтоматики / В.Н. Дмитриев, В.Г. Градецкий. - М.: Машиностроение, 1973. - 360 с.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и администрации Тамбовской области в рамках научного проекта № 19-43-680003.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ФРИКЦИОННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ МЕМБРАННОМ РАЗДЕЛЕНИИ МОДЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ

Шестаков К.В., Хохлов П.А., Лазарев С.И.

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов,

kostyanshestakov@mail.ru

В химической промышленности к числу важнейших научно-технических проблем относится повышение эффективности производства [1,2]. Более эффективное производство в свою очередь позволит достигнуть как требуемого уровня экологичности, так и желаемой рентабельности. Одним из решений обозначенной проблемы для предприятий, занимающихся электрохимическим производством, может выступить интенсификация и оптимизация электрохимических мембранных процессов разделения и очистки технологических растворов.

Для качественной оптимизации и интенсификации какого-либо процесса, зачастую, требуется предварительное теоретическое прогнозирование его параметров. В данной работе будет представлен расчет и прогнозирование фрикционных коэффициентов взаимодействия компонентов разделяемого раствора внутри поры мембраны между собой и со стенками пор на примере разделения модельного водного раствора нитрата железа (III). Методика расчета была ранее описана в работе [3] и ряде других. По рассчитанным фрикционным коэффициентам затем могут спрогнозированы коэффициенты задержания и выходной удельный поток растворителя, что поможет спроектировать очистную установку, способную выдержать требуемые технологические показатели для соответствующего типа производства. К преимуществам фрикционной модели можно отнести более слабую зависимость фрикционных кинетических коэффициентов от концентрации электролита, их четкий физический смысл и независимость от выбранной системы отсчета.

Исследование было проведено на электрохимической мембранной установке плоскокамерного типа с использованием ацетатцеллюлозных мембран МГА-95. Подробное ее описание представлено в работе [4]. В качестве исследуемого раствора был выбран модельный водный раствор $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ с концентрацией $1 \cdot 10^{-5}$ моль/л. Рабочие параметры: давление $4 \cdot 10^6$ Па, напряжение 4-12 В, рабочая площадь одной мембраны $7,85 \cdot 10^{-5}$ м².

С помощью заданных рабочих параметров, полученных экспериментальных данных по плотностям потоков и концентрациям компонентов разделяемого раствора, по температуре растворов и ряда других данных были теоретически рассчитаны дискретные значения фрикционных коэффициентов взаимодействия катионов, анионов и растворителя со стенками мембраны, обозначенные соответственно f_{+m} , f_{-m} и $f_{\omega m}$. При этом стоит отметить, что возможно рассчитать и другие коэффициенты трения, например, между катионами и растворителем $f_{+\omega}$ или анионами и растворителем $f_{-\omega}$. Однако в данной работе рассматриваются только упомянутые ранее три коэффициента.

Аппроксимация рассчитанных дискретных значений фрикционных коэффициентов от приложенного электрического потенциала проводилась с помощью экспоненциального уравнения:

$$y(x) = a + b \cdot \exp(c \cdot x),$$

где a , b и c – эмпирические коэффициенты.

На рисунке 1 представлены получившиеся дискретные значения фрикционных коэффициентов уже вместе с аппроксимационными кривыми. Выбранное экспоненциальное уравнение хорошо описывает зависимость коэффициентов трения от приложенного электрического потенциала Коэффициент детерминации для всех случаев превышает значение 0,994.

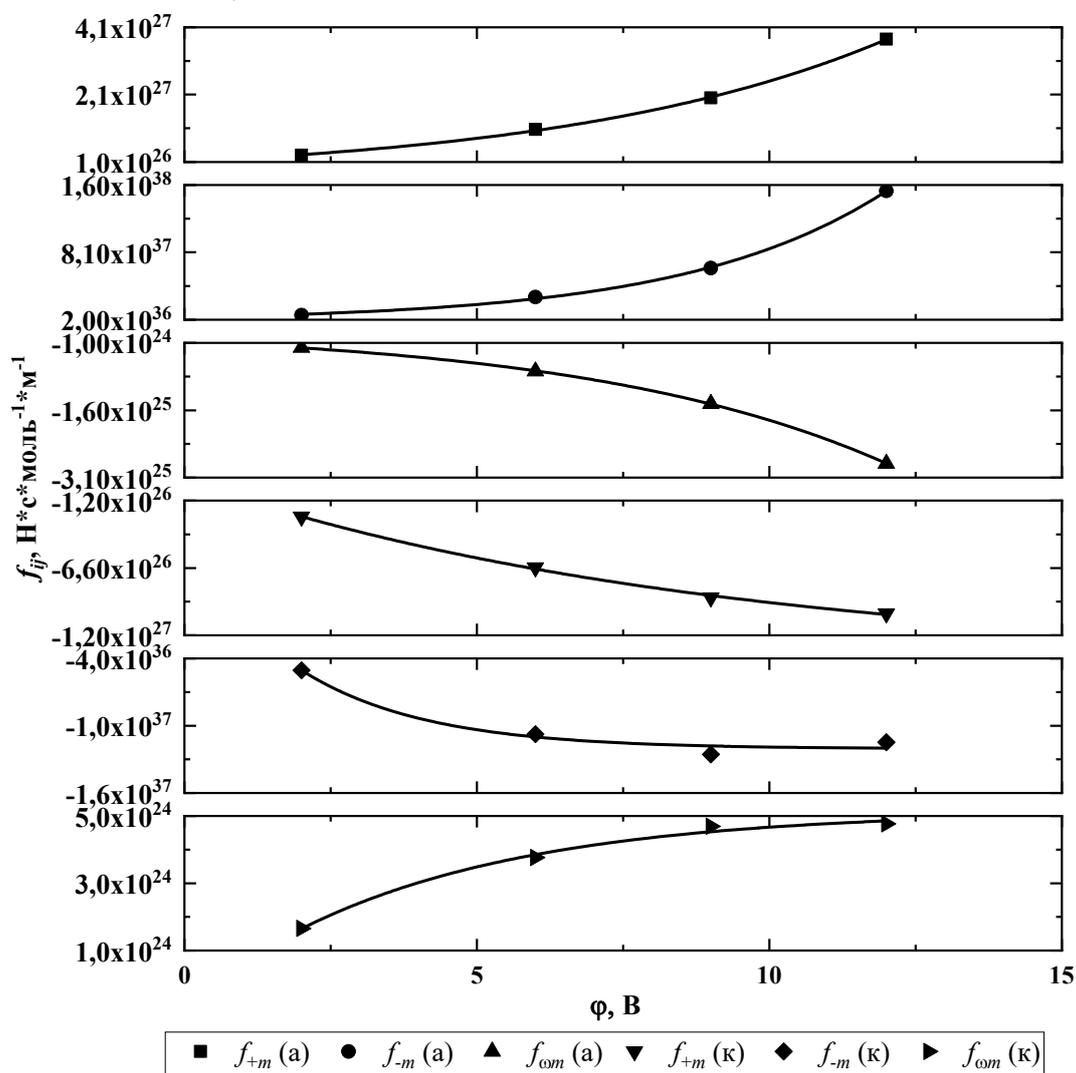


Рисунок 1. Зависимость фрикционных коэффициентов f_{+m}, f_{-m} и $f_{\omega m}$ от приложенного электрического потенциала при разделении модельного водного раствора $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ прианодной (а) и прикатодной (к) мембранами МГА-95.

Анализ полученных данных показал, что для прианодных и прикатодных мембран характерно увеличение значений коэффициентов трения по абсолютной величине. При этом знак минус у ряда коэффициентов обозначает лишь противоположное направление вектора силы трения между компонентами.

Все необходимые для построения аппроксимирующей кривой и определения значения фрикционных коэффициентов при любом значении электрического потенциала, представлены ниже в таблице 1.

Таблица 1.

Фрикционный коэффициент	Эмпирический коэффициент	МГА-95	
		Прианодная	Прикатодная
f_{+m}	a	$-3,65 \cdot 10^{26}$	$-1,42 \cdot 10^{27}$
	c	$4,75 \cdot 10^{26}$	$1,46 \cdot 10^{27}$
	b	0,17965	-0,11151
f_{-m}	a	$1,48 \cdot 10^{35}$	$-1,21 \cdot 10^{37}$
	c	$4,56 \cdot 10^{36}$	$1,80 \cdot 10^{37}$
	b	0,29266	-0,4716
$f_{\omega m}$	a	$2,32 \cdot 10^{24}$	$5,14 \cdot 10^{24}$
	c	$-3,01 \cdot 10^{24}$	$-5,75 \cdot 10^{24}$
	b	0,19203	-0,24864

Данный способ можно эффективно использовать для прогнозирования механизма массопереноса и расчета электромембранных установок путем обратного нахождения коэффициентов задержания и выходного удельного потока растворителя с помощью спрогнозированных значений фрикционных коэффициентов.

Список используемых источников.

1. Бесков В.С. Общая химическая технология и основы промышленной экологии: учебн. пособие для Вузов. М: Химия. 1999. 472 с.
2. Колесников В.А., Ильин В.И., Кучеров А.А. Очистка сточных вод на металлургических предприятиях // Экология производства. 2010. №3. С. 31-36.
3. Киселев К.И., Шестаков К.В., Хорохорина И.В., Абоносимов О.А., Лазарев С.И. Моделирование явлений переноса веществ в электрохимических мембранных процессах на основе фрикционной теории // В сборнике: Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн. 2018. С. 137-144.
4. Ковалев С.В., Лазарев С.И., Лазарев К.С., Попов Р.В. Удельный поток и коэффициент задержания мембраны МГА-95 при электробаромембранном разделении водного раствора сульфата цинка // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2015. Т.21. №1. С. 112-120.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСЛОКАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ, ФОРМИРУЕМОЙ В ОБЕДНЕННОЙ ЗОНЕ ОБЛУЧЕННОГО НИКЕЛЯ

Липунов В.Н.¹, Маркидонов А.В.²

¹Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул;

²Новокузнецкий институт (филиал) Кемеровского государственного
университета, г. Новокузнецк, markidonov_artem@mail.ru

Одной из важнейших задач радиационного материаловедения является прогнозирование поведения конструкционных материалов в условиях интенсивного облучения высокоэнергетическими частицами с целью улучшения их радиационной стойкости. Известно, что область повреждения, образуемая в результате прохождения каскада атомных соударений, имеет дифференциацию распределения атомов. Центр данной области представляет собой обедненную зону, окруженную облаком смещенных атомов. В результате этого вакансионные скопления, присутствующие в избытке, начинают перестраиваться в различные кластеры – дислокационные петли, тетраэдры дефектов упаковки и т.п.

При изучении процессов структурных изменений, происходящих в обедненной зоне, как правило, не учитывается возможность распространения по кристаллу ударных послекаскадных волн [1], образующихся при внешнем высокоэнергетическом воздействии. Но как показали наши прошлые исследования, данные волны могут оказывать значительное влияние на процессы образования, кластеризации и миграции дефектов [2-6]. Целью настоящей работы является выявление особенностей преобразований дислокационной структуры, происходящих в обедненной зоне, принадлежащей ГЦК-кристаллу, под воздействием ударных послекаскадных волн. При проведении исследования использовался метод молекулярной динамики. В качестве функции межчастичного взаимодействия использовался потенциал, построенный с использованием метода погруженного атома [7]. После конструирования расчетной ячейки в ней удалялись атомы, выбранные случайно в соответствии с дискретным равномерным распределением, число которых соответствовало от 5% до 20%-й концентрации вакансий n . Далее система выдерживалась при заданной температуре определенное число вычислительных шагов и после снятия теплового фона путем многократного обнуления скоростей атомов анализировалась полученная структура.

На начальном этапе исследовались структурные перестройки, происходящие в обедненной зоне моделируемого кристалла, при различных температурах. В результате моделирования было установлено, что вакансии начинают объединяться в кластеры различных размеров, с последующим образованием различных тетраэдров дефектов упаковки, которым соответствуют атомы с локальным ГПУ-окружением. По мере увеличения концентрации вакансий наблюдаются более значительные структурные изменения в моделируемом кристалле. Так при 15%-й концентрации вакансий наблюдалась локальная аморфизация. При значительном разогреве и с последующей закалкой наличие избыточного свободного объема способствует образованию зеренной структуры. Дальнейшее увеличение создаваемых вакансий приводит к порообразованию в кристалле. После прохождения по кристаллу фронта сжатия ударной волны и последующей за ним волны разгрузки наблюдается миграция вакансий по направлению к области кристалла, в которой генерировалась волна. Поэтому в случае

генерации нескольких волн вакансии не успевают образовывать кластеры, и их локализация в одном месте вызывает либо аморфизацию данной области, либо образование в ней поры. Анализ дислокационной структуры расчетной ячейки, с использованием алгоритма Dislocation Extraction [8], показал, что после релаксации в моделируемой системе содержатся преимущественно вершинные дислокации и частичные дислокации Шокли. Наличие данных дислокаций обусловлено дефектами упаковки, в том числе образующих тетраэдр. После прохождения серии ударных волн общее число дислокационных сегментов значительно снижается, и в расчетной ячейке наибольшей протяженностью начинают обладать дислокации Шокли. Так, например, на рисунке 1 приведены дислокационные структуры расчетной ячейки, соответствующие результатам моделирования в момент времени $t = 75$ пс.

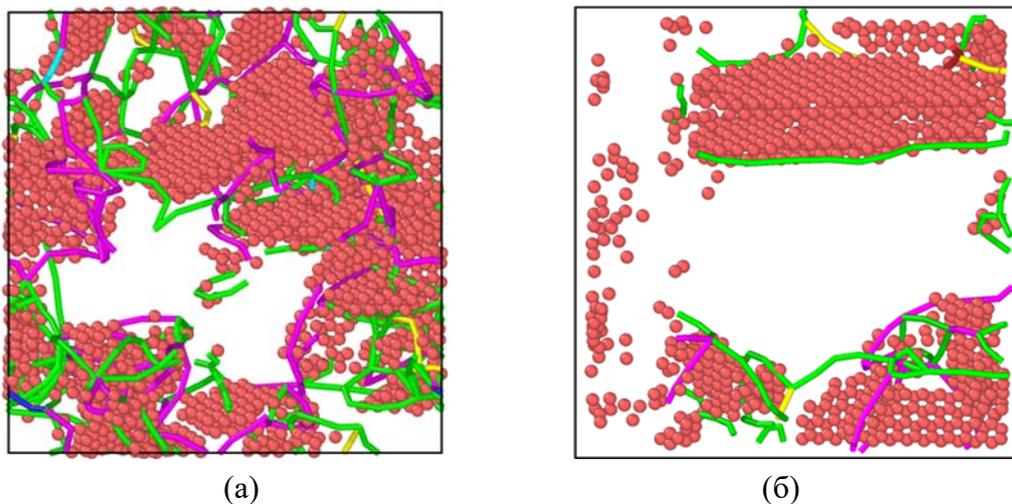


Рисунок 1. Распределение дислокационных сегментов в расчетной ячейке ($n = 5\%$, $T = 900$ К): (а) – без генерации ударных волн; (б) – после прохождения пяти ударных волн. Цветовая визуализация дислокационных линий соответствует вектору Бюргерса: зеленый – $1/6\langle 112 \rangle$, фиолетовый – $1/6\langle 110 \rangle$.

В данный момент общая протяженность линий вершинных дислокаций для моделируемой системы составила 1039.78 \AA , а для дислокаций Шокли – 1498.72 \AA . Если же при проведении моделирования к этому моменту в расчетной ячейке было сгенерировано пять ударных волн, то протяженность дислокационных линий сокращалась до 202.081 \AA и 556.222 \AA соответственно.

Таким образом, проведенное исследование показало, что ударные послекаскадные волны, генерируемые в твердом теле, содержащем обедненную зону, могут оказывать значительное влияние на процессы структурной перестройки скоплений дислокаций. Результаты проведенного исследования могут быть использованы в радиационном материаловедении, нанотехнологии, при ультразвуковой обработке материалов.

Список используемых источников.

1. Овчинников В.В. Радиационно-динамические эффекты. Возможности формирования уникальных структурных состояний и свойств конденсированных сред // Успехи физических наук. 2008. Т.178. №9. С.991-1001.

2. Маркидонов А.В., Старостенков М.Д., Обидина О.В. Агрегатизация вакансий, инициированная послекаскадными ударными волнами // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. 2012. Т.9. №4. С.548-555.
3. Маркидонов А.В., Старостенков М.Д., Павловская Е.П., Яшин А.В., Медведев Н.Н., Захаров П.В. Структурная трансформация вакансионных пор в деформированном кристалле под воздействием ударных волн // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. 2013. Т.10. №4. С.563-571.
4. Маркидонов А.В., Старостенков М.Д., Смирнова М.В. Процесс самодиффузии в ГЦК-кристалле, вызванный прохождением ударной волны // *Известия высших учебных заведений. Физика*. 2015. Т.58. №6. С.80-84.
5. Маркидонов А.В., Старостенков М.Д., Захаров П.В., Обидина О.В. Порообразование в ГЦК кристалле под воздействием ударных послекаскадных волн // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. 2015. Т.12. №2. С.231-240.
6. Маркидонов А.В., Старостенков М.Д., Потехаев А.И., Медведев Н.Н., Неворова Т.И., Барчук А.А. Поведение краудионов и их комплексов в слабоустойчивом состоянии материалов // *Известия ВУЗов. Физика*. 2011. №11. С.61-67.
7. Foiles S. M., Baskes M. I., Daw M. S. Embedded-atom-method functions for the fcc metals Cu, Ag, Au, Ni, Pd, Pt, and their alloys // *Physical Review B*. 1986. V.33. №12. P. 7983-7991.
8. Stukowski A. Visualization and analysis of atomistic simulation data with OVITO – the Open Visualization Tool // *Modelling and Simulation Materials Science and Engineering*. 2010. Vol.18. 015012 (7 pp).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Алтайского края в рамках научного проекта № 18-42-220002 p_a.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ, СВЯЗАННЫХ С РЕМОНТОМ И ПРОФИЛАКТИКОЙ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Шурыгина Э.В., Родина А.А.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

feder68@mail.ru; ant.rodina1209@yandex.ru

Ни одна техника в мире не может служить вечно, работать без поломок. Суровые погодные условия, не вовремя пройденное техническое сервисное обслуживание, неправильная эксплуатация – все это может вызвать технические поломки автомобилей, также для грузовых автомобилей запчасти в магазинах есть далеко не всегда.

Для долговременной работы и профессионально проведенного технического обслуживания важно найти правильную методику эксплуатации жизнедеятельности специальной техники.

Модели, как выражения действительности, позволяют получать ясные и компактные описания отображаемых ими явлений, вскрывать механизм их работы. Анализируя модели и экспериментируя на них, обычно удается определить, как влияют изменения в рассматриваемой системе на качество ее функционирования.

Модели могут быть разных типов: изобразительные и математические (аналоговые и символические).

Изобразительные модели внешне похожи на реальный объект, но отличаются от него размерами, обычно это фотографии, чертежи, модели натурального образца в уменьшенном виде и др. Изобразительные модели очень конкретны, ими бывает трудно оперировать в экспериментальных целях.

В аналоговых моделях набор одних свойств используется для отображения набора совершенно иных свойств, обычно это карты, графики и др. С этими моделями легче оперировать, чем с изобразительными.

В математических моделях переменные и соотношения между ними представляют с помощью букв, чисел и других знаков. Это наиболее абстрактные и общие модели, имеющие вид математических выражений (уравнений и неравенств), описывающих структуру моделируемого объекта. Ограничения, наложенные на управляемые и неуправляемые переменные модели, могут быть выражены в дополнительной системе равенств или неравенств.

Основными достоинствами математических моделей являются: высокий уровень формализации описания с помощью общепринятых символов, исключая различия и сокращающий объем описаний; возможность использования аналогий с процессами, получившими ранее символьные описания или представленными в виде алгоритмов и программ для ЭВМ; возможность использования готового математического аппарата преобразований, табличных данных, графической интерпретации и анализа полученных функциональных зависимостей. Достоверность математической модели зависит от того, насколько правильно она отражает физическую сущность объекта исследования. Критерий правильности математических моделей, полученных теоретическим путем – эксперимент. Достоверная оценка математических моделей получается при сопоставлении экспериментальных данных с результатами теоретических расчетов во всем диапазоне предполагаемого практического использования полученных функциональных зависимостей.

Так же важно помнить про производственную и техническую эксплуатацию машин. Под производственной понимаются осуществление системы мероприятий, обеспечивающих наиболее эффективное использование машин, выполнение ими работ в заданные сроки и с минимальными затратами. Техническая эксплуатация – это комплексная система мер, направленных на обеспечение работоспособного состояния парка машин, минимального простоя машин при техническом обслуживании и ремонте, получения наиболее высокого процента готовности машин к работе. Условия эксплуатации машин настолько разнообразны, что изучение протекающих здесь процессов возможно преимущественно с применением вероятностно-статистических методов исследования.

Под случайными понимают процессы, когда при появлении какого-либо события связанное с ним событие проявляется неоднозначно. Соответственно большинство процессов в обществе и природе носят случайный характер. Случайные процессы, как и случайные события в целом, изучает теория вероятностей и математическая статистика. На основе этих теорий разработаны математические методы, позволяющие находить решения важных задач. Рассмотрим некоторые из них, наиболее близко относящиеся к отраслевой науке.

Теория надежности охватывает следующие задачи: изучение природы возникновения отказов в элементах конструкций машин, обеспечение качественного уровня надежности машины на стадии ее проектирования, создания и эксплуатации. Теория надежности отроится на положениях математической статистики и теории вероятностей.

Теория обслуживания используется при решении задач планирования и управления работ по удовлетворению требований, возникающих случайно и требующих различного, заранее точно не предсказываемого времени их удовлетворения. Особенно часто такие задачи возникают при решении вопросов использования машин (система экскаватор – самосвал либо смеситель – самосвал и т.д.) и их технического обслуживания и ремонта.

Имитационное моделирование – вид математического моделирования, позволяющий имитировать на ЭВМ реальную сложную систему. Имитация на ЭВМ резко уменьшает сроки исследования, объем экспериментов, дает возможность воспроизводить любые ситуации.

Упомянутые теории массового обслуживания, надежности представляют собой направления интенсивно разрабатываемого в последнее время общего метода исследования операций, призванного решить две основные задачи: описать множество допустимых решений и целевую функцию; найти максимум целевой функции и допустимое решение, осуществляющие этот максимум.

При решении задач технического обслуживания машин и оборудования решаются такие вопросы, как замена машин, оборудования, профилактический осмотр, текущий ремонт и восстановление, организация службы технического контроля.

Список используемых источников.

1. Степшин, М.Л. Особенности технического обеспечения российских войск в локальных войнах и вооруженных конфликтах / М.Л. Степшин // Военная мысль. – 2008. - №11. – С.28-34.

2. [Электронный ресурс]. URL: <http://moskva.ural-ser->

vis.ru/shop_ural/?_openstat=ZGlyZWN0LnIhbmRleC5ydTsxNTIwNzIxMzs0ODU5NzM2NDY3O2h1bHBpa3Mub3JnOmd1YXJhbnRlZQ&yclid=3868811327131915642.

3. Шурыгина, Э.В. Методика проверки работоспособности специальной техники / Э.В. Шурыгина под общ.ред. В.А. Немтинова // IV Всероссийский открытый конкурс студентов ВУЗов и молодых исследований «Взгляд молодых на проблемы региональной экономики – 2018». - Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2018.

4. Математические методы, применяемые при исследовании процессов эксплуатации машин [Электронный ресурс]. URL: <https://helpiks.org/3-65147.html>.

5. Немтинов, В. А. Применение теории нечетких множеств и экспертных систем при автоматизированном выборе элемента технической системы / В. А. Немтинов, С. Я. Егоров, П. И. Пахомов // Информационные технологии. – 2009. – № 10. – С.34–38.

6. Мокрозуб, В. Г. Процедурные и информационно-логические модели планирования выпуска продукции и ремонтов технологического оборудования многоассортиментных производств / В. Г. Мокрозуб, С. Я. Егоров, В. А. Немтинов // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2009. – № 2. – С.72 – 76.

7. Устройство военной автомобильной техники [Электронный ресурс]. URL: <https://infopedia.su/3x782c.html>.

8. Способы математического моделирования, используемые при разработке технологических процессов обработки деталей машин [Электронный ресурс]. URL: https://bstudy.net/609057/tehnika/sposoby_matematicheskogo_modelirovaniya_ispolzuemye_razrabotke_tehnologicheskikh_protseessov_obrabotki_de.

СТЕРЖНЕВАЯ МЕЛЬНИЦА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГРАФЕНА

Толмачев Н.С., Пасько А.А., Тюкин С.А.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
nikitos-tmb@mail.ru

Графен представляет собой двумерную углеродную структуру, поверхность которой регулярным образом выложена правильными шестиугольниками со стороной 0,142 нм и атомами углерода в вершинах. Подобная структура является составляющим элементом кристаллического графита, в котором такие графеновые плоскости расположены на расстоянии примерно 3,4 нм друг от друга.

Впервые образцы графена были выделены в результате микромеханического расщепления кристаллического графита [1]. Согласно этому подходу, графеновые листы отделяются от кристаллического графита либо в результате трения небольших кристалликов графита друг о друга, либо с помощью липкой ленты, последующее растворение которой в кислоте приводит к получению индивидуальных графеновых слоев. Исследования показывают, что подобный подход позволяет выделять однослойные листы графена, обладающие упорядоченной структурой и имеющие порядка 10 мкм в ширину и порядка 100 мкм в длину.

Основная проблема, возникающая при получении листов графена микромеханическим методом, связана с трудностью их идентификации. Процедура микромеханического отделения листов графена от кристаллического графита напоминает процесс написания текста с помощью карандаша [1]. При этом в результате микромеханического воздействия образуется значительное количество фрагментов, представляющих

собой образцы графена с различным числом слоев. Доля однослойных образцов в этом конгломерате относительно невелика, так что основная трудность рассматриваемого метода синтеза связана с обнаружением таких однослойных образцов.

Простейший способ расслоения графита на отдельные графеновые листы основан на использовании поверхностно-активных органических жидкостей. Подобный подход использует слоистую структуру кристаллического графита, благодаря которой возможно проникновение атомов или молекул различной природы в пространство между слоями [2]. Это приводит к увеличению расстояния между слоями и соответственно к снижению энергии взаимодействия между ними. В результате оказывается возможным разделение графитовых слоев при механическом воздействии на них.

Длительная ультразвуковая обработка или (и) центрифугирование мелкодисперсного графита в поверхностно-активной жидкости приводит к образованию суспензии, содержащей подвешенные листы графена. Термодинамически такая возможность обусловлена более высокой энергией взаимодействия ПАВ с поверхностью графенового листа, чем энергия взаимодействия соседних слоев друг с другом.

Весьма эффективный подход к проблеме разделения графитовых слоев основан на использовании химических окислителей. Согласно этому подходу, при воздействии на графит сильных газообразных окислителей, к которым в первую очередь относятся кислород и галогены, происходит окисление внутренних слоев графита. Это сопровождается увеличением межслойного расстояния в кристалле и соответственно снижением энергии взаимодействия между слоями. В результате облегчается возможность разделения графитовых слоев в жидкой фазе, что позволяет синтезировать образцы оксида графена с поперечным размером порядка сотен нанометров. Последующее восстановление графена из оксида производится также с использованием химического воздействия.

Метод химического осаждения паров (CVD) широко используется для синтеза углеродных наноструктур. В основе данного метода лежит возможность термодинамического разложения газообразных углеводородов на поверхности некоторых металлов с образованием различных наноуглеродных структур.

Дуговой разряд с графитовыми электродами, происходящий в атмосфере инертного газа, является одним из наиболее эффективных способов преобразования кристаллического графита в поверхностные углеродные структуры. На основе подобного подхода были разработаны методы получения фуллеренов и УНТ в макроскопических количествах, что сделало эти структуры доступными для широкого круга исследователей.

Исходя из этого, можно было рассчитывать на то, что электродуговой метод окажется полезным также и для получения графена. Такая идея была реализована недавно авторами работы [3], которые использовали для этой цели разряд в водороде.

Еще один эффективный подход к синтезу графена основан на термическом разложении карбида кремния, результатом которого является эпитаксиальный рост графеновой пленки на поверхности кристалла SiC [4, 5]. Преимущества подобного подхода связаны, в первую очередь, с тем, что размер синтезируемого образца при хорошем качестве исходного кристалла SiC может быть сопоставим с размером кристалла.

Способов получения графена основанный на механическом отщеплении или отшелушивании слоёв графита позволяет получать наиболее качественные образцы. Методом окисления графита в серной или азотной кислотах имеет ряд недостатков: невозможность получения сверхчистого графена и экологически небезопасная технология. Остальные методы малопригодны для массового производства.

На кафедре «Техника и технологии производства нанопродуктов» Тамбовского государственного технического университета разработана конструкция барабанной стержневой мельницы [6] для сухого или мокрого измельчения минерального сырья и полуфабрикатов, преимущественно имеющих слоистую структуру, таких как графит и дисульфид молибдена, в химической промышленности и других производствах.

В разработанной стержневой мельнице измельчение материала осуществляется, в основном, за счет сдвиговых воздействий.

Задача решается тем, что в стержневой барабанной мельнице, содержащей вращающийся барабан, частично заполненный стержнями, стержни в направлении перпендикулярном их продольным осям соединены между собой гибкими упругими элементами.

На рис. 1 показана схема стержневой мельницы.

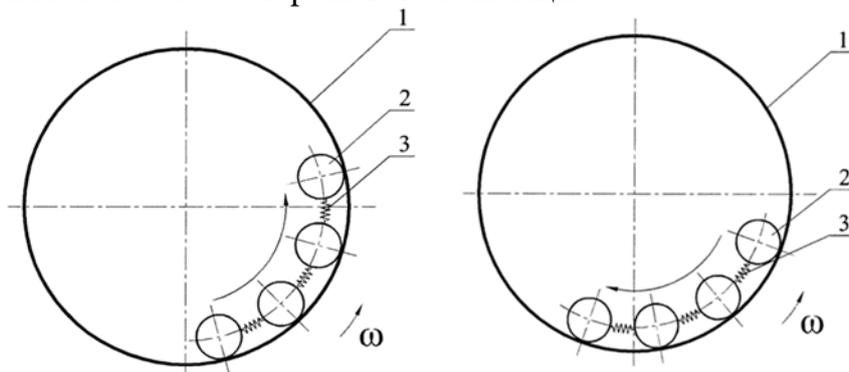


Рисунок 1. Схемы соединения стержней и их положение во вращающемся барабане.

Стержневая мельница работает следующим образом. При начале вращения барабана 1, стержни 2, соединенные между собой гибкими упругими элементами 3, сначала неподвижны относительно внутренней поверхности барабана и поднимаются вверх, а затем, скользя по внутренней поверхности барабана, движутся вниз. После этого цикл движения стержней вверх и вниз повторяется. При скольжении стержней вниз, на частицы, находящиеся между стержнями и внутренней поверхностью барабана действуют сдвигающие силы. В результате этого, внутри частиц возникают касательные напряжения, которые способствуют расслоению частиц графита, поскольку Ван-дер-ваальсовы силы, действующие между слоями, значительно меньше межатомных сил, действующих в плоскости каждого слоя. Аналогичная ситуация складывается и при измельчении дисульфида молибдена.

Гибкие упругие элементы препятствуют вращению стержней относительно их продольных осей, но позволяют стержням совершать вращательные колебания относительно этих осей, что интенсифицирует измельчение частиц материала за счет сдвига.

Стержни можно соединить пружинами, эластичными втулками или двумя тросиками из упругого материала (например, полиуретана), пропустив тросики через отверстия, просверленные по краям каждого стержня и установив на концы тросиков фиксаторы.

Таким образом, поставленная цель достигнута, поскольку использование гибких упругих элементов между стержнями позволяет организовать измельчение материалов со слоистой структурой, в основном, за счет сдвиговых воздействий.

Список используемых источников.

1. Geim, A.K. The Rise of Graphene / A.K. Geim, K.S. Novoselov // *Nature Materials*. – 2007. – Vol. 6, pp. 183-191. <http://dx.doi.org/10.1038/nmat1849>
2. Dresselhaus, M.S. Intercalation compounds of graphite / M.S. Dresselhaus, G. Dresselhaus // *Advances in Physics*. – 1981. – Vol. 30 (2), pp. 139-326.
3. Synthesis of Graphene Sheets with High Electrical Conductivity and Good Thermal Stability by Hydrogen Arc Discharge Exfoliation / Wu Z.-S. et al. // *ACS Nano*. – 2009. – Vol. 3 (2), pp. 411-417.
4. Ultrathin Epitaxial Graphite: 2D Electron Gas Properties and a Route toward Graphene-Based Nanoelectronics / Berger, C., et al. // *The Journal of Physical Chemistry B*. – 2004. – Vol. 108, pp. 19912-19916. <https://doi.org/10.1021/jp040650f>
5. Hibino, H. Epitaxial few-layer graphene: towards single crystal growth / H. Hibino, H. Kageshima, M. Nagase // *J. Phys. D: Appl. Phys.* – 2010. – Vol. 43, pp. 374005.
6. Пат. 2 670 495 Российская Федерация, МПК В02С 17/10. Стержневая барабанная мельница / Першин В.Ф., Жумагалиева Г.Б., Меметов Н.Р., Пасько А.А., Ткачев А.Г.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»). – № 2017145694; заявл. 26.12.17; опубл. 23.10.18, Бюл. № 30.

РОТАЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ВЯЗКОСТИ НЕОДНОРОДНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Мордасов Д.М., Биктаиров А.А.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
mit@tstu.ru

Производственный контроль неоднородных жидких веществ, актуальный для процессов химической, пищевой, животноводческой и целлюлозно-бумажной промышленности, с применением традиционных методов и средств измерения вязкости [1] затруднен, а в некоторых случаях невозможен. Такая задача может быть решена путем измерения силового воздействия компонентов гетерогенной смеси на подвижные чувствительные элементы первичного преобразователя [2-4].

Нами предложено устройство для измерения вязкости гетерогенных смесей, принцип действия которого состоит в механическом воздействии на них и измерении сил, возникающих на чувствительных элементах, вследствие сдвига слоев жидкой фазы, механического разрушения и деформации твердых включений.

Конструкция устройства включает в себя два параллельно расположенных вала (вращающийся и неподвижный). На неподвижном валу, на определенном расстоянии друг от друга и строго один над другим, расположены сектора из металлических пластин конечной толщины. Такие же сектора закреплены и на вращающемся валу. В отличие от неподвижного вала на подвижном валу сектора расположены по спирали таким образом, что их общая проекция на плоскость представляет собой круг. Такое взаимное расположение секторов обеспечивает в процессе работы устройства постоянство суммарной площади секторов подвижного вала, находящихся между сектора-

ми неподвижного вала в любой момент времени. Расстояние между валами выбирается таким образом, чтобы при вращении сектора подвижного вала беспрепятственно проходили между секторами неподвижного.

Подвижный и неподвижный валы соединены с измерителями силы, сигналы с которых поступают на блок вычисления и индикации.

Разработанное устройство прошло экспериментальную проверку, в ходе которой измерялась динамическая вязкость высоковязких многокомпонентных смесей. В результате оценки метрологических характеристик для диапазона изменения вязкости [335-5000] Па·с, получена величина основной приведенной погрешности 4,0 %.

Измерительное устройство может быть установлено на действующем технологическом оборудовании. Непрерывный контроль вязкости в ходе технологического процесса позволяет повысить стабильность процесса и качество получаемой продукции, обеспечить экономию сырья, тепловой и электрической энергии.

Диапазон контролируемого параметра может быть изменен как выбором соответствующих конструктивных размеров, в частности зазора между секторами подвижного и неподвижного вала, так и изменением скорости вращения подвижного вала.

Устройство может использоваться для контроля физико-механических свойств жидких веществ, как в производственных, так и в лабораторных условиях.

Использование предложенного устройства в системах автоматизации позволит управлять ходом технологических процессов, просто и оперативно определять момент их окончания и получать продукцию с заданными физико-механическими свойствами.

Список используемых источников.

1. Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств / М.В. Кулаков. - М.: Машиностроение, 1983. - 464 с.

2. Авт. свид. № 1580225 СССР. Устройство для определения реологических характеристик жидких сред / В.И. Гализдра, М.М. Мордасов, И.В. Кораблев. – Открытия. Изобретения, 1990, № 27.

3. Конаков А.П., Мордасов М.М., Маняхин В.И. Возможность контроля за состоянием неоднородных сред / А.П. Конаков, М.М. Мордасов, В.И. Маняхин // Сб. трудов училища. Вып. 5. - Тамбов: Изд-во ТВВАИУ, 1985. - С. 91 - 95.

4. Мордасов Д.М. Пластиночное устройство роторного типа для контроля жидких неоднородных высоковязких веществ / Д.М. Мордасов, М.М. Мордасов // Контроль. Диагностика. – 2008. - № 11. – С. 33-38.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЖАРОПРОЧНОГО СПЛАВА ЭП975 ПРИ 1000 °С МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

Халиков А.Р.¹, Нгуен В.Т.¹, Точилкина С.В.¹, Галиева Э.В.²,
Дмитриев С.В.², Валитов В.А.²

¹Уфимский государственный авиационный технический университет,
г. Уфа, 450000, ул. Карла Маркса, 12

²Институт проблем сверхпластичности металлов РАН,
г. Уфа, 450001, ул. Халтурина, 39

Среди способов соединения металлов и суперсплавов можно назвать диффузионную сварку, диффузионную сварку через расплавленный слой, сварку плавлением, сварку трением, диффузионную сварку в жидкой фазе, сварку трением с перемешиванием и т.д. При твердофазном соединении разнородных металлов нередко образуются нежелательные интерметаллидные фазы, снижающие механические свойства деталей. Одним из способов прогнозирования нежелательных интерметаллидных фаз является компьютерное моделирование структуры сплавов, которое, позволяет до эксперимента выявить нежелательные для данного сплава интерметаллидные включения. Подобное моделирование сплавов позволяет достигать требуемой структуры сплава, следить за формированием интерметаллидных включений и их распределением по объему сплава, добавлять те или иные элементы, изменять температуру процесса упорядочения, менять энергии связей пар атомов. В данной работе мы ограничимся моделированием структуры жаропрочных сплавов ЭП975

Представлена теоретическая модель, позволяющая изучать процесс диффузии в металлах и сплавах по вакансионному механизму [1-5]. В качестве примера рассмотрена двумерная квадратная решетка, в узлах которой могут располагаться атомы трех различных металлов. Расчеты проводятся в модели твердых сфер, при описании межатомных взаимодействий парными потенциалами.

На рисунке 1 показана структуры сплава ЭП975. Здесь γ' фаза, представляющая собой интерметаллид Ni_3Al , имеет темный цвет, а твердый раствор легирующих элементов в Ni_3Al , имеющий светлый цвет, это γ фаза.

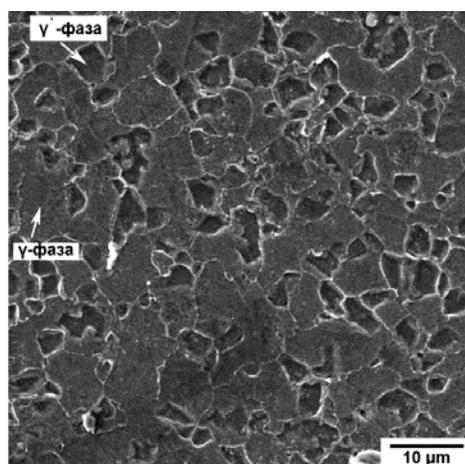


Рисунок 1. Микроструктура интерметаллидных сплавов ЭП975.

Математическая модель процесса диффузии в сплаве осуществляется по вакансионному механизму в модели твердых сфер, которая может быть применена к трехкомпонентному сплаву состава $A_m B_n C_k$, заданному на решетке любого типа и любой размерности. В модели принимается, что диффузия в сплаве осуществляется по вакансионному механизму.

Межатомные взаимодействия описываются потенциалом Морзе:

$$\varphi_{XY}(r) = D_{XY}(\exp(-2\alpha_{XY}(r-R_{XY})) - 2\exp(-\alpha_{XY}(r-R_{XY}))).$$

Для моделирования многокомпонентных сплавов мы разбиваем все элементы на три группы. К первой группе относится никель, вторая группа объединяет интерметаллид-образующие элементы алюминий и титан, а в третью группу входят все легирующие элементы. Назовем эти группы по их основным элементам, то есть первая группа – это Ni, вторая – Al, а третья – Cr. Таким образом, для сплава ЭП975 имеем следующее суммарное содержание этих трех групп элементов: Ni – 60,04 масс.%, Al – 7,1 масс.%, и Cr – 32,86 масс.%. Далее необходимо массовые проценты перевести в атомные используя молярные массы элементов (г/моль). Межатомные взаимодействия описываются потенциалом Морзе.

Моделирование процесса диффузии проводилось при температуре 1000 °С. Результат моделирования представлен на рисунке 2.

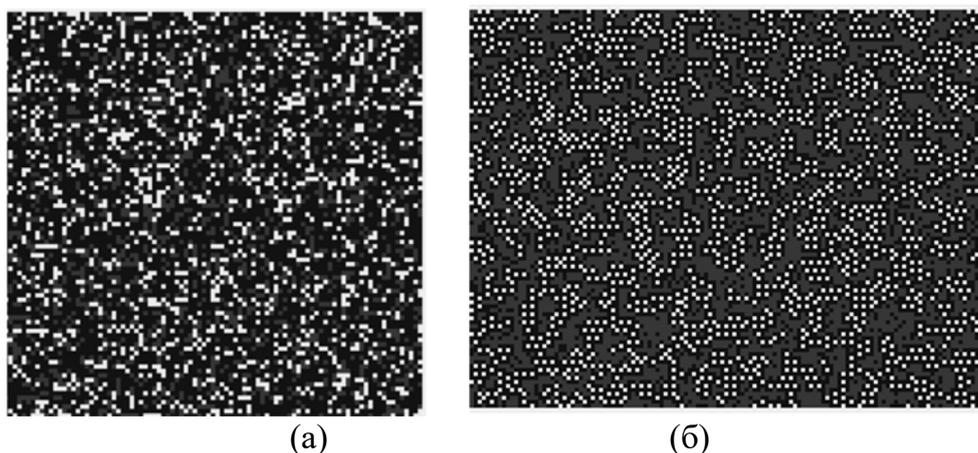


Рисунок 2. Полностью разупорядоченная структура жаропрочного сплава (а) ЭП975, и после упорядочения (б) сплава при 1000 °С (Черный – Ni, Светлый – Al, Серый – Cr).

На рисунке 2 представлена структура сплава ЭП975. Из полностью разупорядоченного состояния (рис.2 (а)) при температуре 1000 °С структура в процессе длительного отжига перешла в упорядоченное состояние (рис.2 (б)). Основа сплава Ni образует интерметаллидную фазу Ni_3Al , при этом хром выделился в отдельную фазу.

Упорядочение трехкомпонентного сплава проводили по вакансионному механизму диффузии в жесткой кристаллической решетке. Установлено, что объем γ' фазы больше в сплаве ЭП975 чем в ВКНА-25 [10], это обусловлено содержанием хрома в каждом из сплавов. Микроструктура интерметаллидного сплава ЭП975 полученная в ходе эксперимента (рис.1) и в процессе моделирования (рис.2(б)) близка по объему содержания γ и γ' фаз. Подобное содержание γ и γ' фаз в модельном сплаве позволяет проводить с данными структурами сплавов различного рода компьютерные моделирования.

Полученные результаты будут использованы при моделировании диффузионной сварки этих сплавов. Представленная теория обобщает работы [6-10], где исследовались бинарные сплавы, на случай трехкомпонентного сплава.

Список используемых источников.

1. Андрухова О.В., Козлов Э.В., Дмитриев С.В., Старостенков М.Д. О возможных механизмах атомного разупорядочения в бинарных сплавах // Физика твердого тела. – 1997. – Т.39. – № 8. – С. 1456–1460.
2. Iskandarov A.M., Dmitriev S.V. Possible energy states of stoichiometric AB alloys based on fcc, bcc, and sc lattices // Crystallography Reports. – 2012. – V.57, No.5. – P. 746–750.
3. Kistanov A.A., Iskandarov A.M., Dmitriev S.V. The equilibrium states of $A_{1-x}B_{1+x}$ binary alloys in the hard-sphere and pair-binding model // Russian Physics Journal. – 2012. – V.54, No.10. – P. 1128–1136.
4. Халиков А.Р. Допустимые изменения параметров дальнего порядка для двумерных структур стехиометрических составов A_2B , A_3B , A_3B_5 // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2011. – Т.8, №.4. – С. 109–116.
5. Халиков А.Р., Шарапов Е.А., Корзникова Е.А., Валитов В.А., Дмитриев С.В. Об упрощенной процедуре описания всех возможных структур бинарного сплава A_nB_m // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2018. Т. 15. № 4. С. 482-488.
6. Potekaev A.I., Chaplygina A.A., Chaplygin P.A., Starostenkov M.D., Kulagina V.V., Klopotov A.A. Structural-phase features of low-stability pretransitional states of bcc-alloys with complexes of planar defects (antiphase boundaries) // Russian Physics Journal. – 2018. – V.61, No.3. – P. 412–427.
7. Лобзенко И.П., Халиков А.Р., Шарапов Е.А., Корзникова Е.А., Семенов А.С., Дмитриев С.В. Моделирование методом Монте-Карло процесса диффузионной сварки двух металлов через прокладку // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2019. – Т. 16. – № 1. – С. 47-54.
8. Халиков А.Р., Шарапов Е.А., Корзникова Е.А., Потekaев А.И., Старостенков М.Д., Галиева Э.В., Дмитриев С.В. Моделирование методом Монте-Карло процессов диффузии в трехкомпонентных сплавах // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2019. – Т. 62. – № 4 (736). – С. 119-124.
9. Халиков А.Р., Шарапов Е.А., Семенов А.С., Валитов В.А., Дмитриев С.В. Моделирование структуры жаропрочных сплавов ВКНА-25 И ЭП975 методом Монте-Карло // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2019. Т. 16. № 4. С. 429-436.
10. Хазгалиев Р.Г., Халиков А.Р. Моделирование диффузии титана и никеля в процессе сварки давлением в приближении жесткой кристаллической решетки // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2018. Т. 15. № 2. С. 196-202.

В.А. Валитов и Э.В. Галиева выражает признательность за поддержку Российскому научному фонду грант No 18-19-00685.

РОССИЙСКИЙ РЫНОК ТРУДА В УСЛОВИЯХ НАРАСТАНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО КРИЗИСА ВСЛЕДСТВИЕ ПАНДЕМИИ

Назаева П.Х., Тайсумова Х.В.

Чеченский государственный педагогический университет, г. Грозный
vashtroy@mail.ru

Сегодня мы все являемся свидетелями серьезного сдвига на российском внутреннем рынке труда из-за сложной эпидемиологической ситуации в стране из-за пандемии COVID-19. Страна изолирована, производственная и коммерческая деятельность парализована во многих секторах экономики, и почти половина трудоспособного населения на "удаленке" или не функционирует из-за введения государственных ограничений, предотвращающих дальнейшее распространение вируса. Изменился привычный взгляд на рынок труда, резко сократился спрос на рабочие места во многих профессиях, в то время как вырос спрос медицинских работников и добровольцев для предоставления социальных услуг уязвимым группам.

Рынок труда - это своего рода «лакмусовая бумажка», показатель, отражающий качество национальной экономики. Цена трудовых ресурсов напрямую зависит от операционной эффективности всех коммерческих и валютно-экономических процессов производства в национальной экономике. Он определяет, с одной стороны, уровень благосостояния людей без инвалидности и, следовательно, покупательную способность граждан, а с другой стороны, характеризует уровень экономической эффективности всех видов предпринимательской деятельности.

В ситуации, когда деловая активность в настоящее время резко снижается в результате карантинных мер, коммерческие предприятия не могут позволить себе тратить на неиспользованную рабочую силу, вынуждены сокращать персонал, а также частично или полностью отказывать работникам в выплате заработной платы или компенсации в связи с увольнением работника. Эти условия, несомненно, приведут к увеличению доли населения, живущего за чертой бедности, усугубляя социальное неравенство в российском обществе, что будет способствовать социально-политической нестабильности в стране.

По оценкам агентств по трудоустройству, количество предложений о работе в России за последние две недели сократилось, а спрос на занятость значительно увеличился, но опросы показывают, что 27% российских компаний будут снижать заработную плату в течение следующих шести месяцев, 37% думают о значительном сокращении персонала. [1]

Одна из крупнейших российских компаний в области интернет-услуг по поиску и подбору персонала, провела опрос более 150 работодателей и как выяснилось, к 2021 году каждая десятая финансово-экономическая компания планирует сократить численность персонала в зависимости от ситуации, и в общем снижении прибыльности бизнеса из-за пандемии. [2]

В то же время российский рынок труда имеет тенденцию к изменению спроса на отдельные профессии и сферы деятельности. Например, работодатели активно ищут доставщиков, водителей, медицинских работников, а также профессионалов онлайн-образования и развлечений. Эксперты отмечают, что, если экономический кризис

продолжится и усилится, наиболее требовательными являются кредиторы и менеджеры высокого класса, специалисты по антикризисному управлению, а также юристы и специалисты по процедуре банкротства юридических и физических лиц. [2]

Следует отметить, что пандемия коронавируса влияет не только на Россию, но и на мировое экономическое пространство. Тем не менее, слабость российской экономики и низкий уровень жизни в стране заставляет россиян почувствовать наихудший удар от COVID-19.

В ситуации «выходных», как власти называют изоляцией, экономические потери несут крупные промышленные компании, а также малые и средние предприятия. [3] По оценкам экспертов, доля российских компаний с достаточно стабильными финансово-экономическими условиями за январь-апрель снизилась с 49% до 36% [1]. По данным Торговой палаты Российской Федерации, около 3 миллионов предпринимателей, работающих в сфере малого и среднего бизнеса, могут прекратить свою деятельность в первой половине 2020 года. В результате 8,6 млн. человек не получают поддержки из-за экономического эффекта COVID-19 [4]. Четвертая часть рабочих мест в России создается малыми предприятиями (около 15-18 миллионов человек), поэтому правительство должно готовиться к самым сложным социально-экономическим проблемам.

Сегодня коронавирус продолжает быстро распространяться по всему миру: почти 4,29 миллиона подтвержденных случаев этого заболевания во всем мире и более 242 000 в России. (Данные на 13 мая 2020 г.). Заметим, что по мере продолжения эпидемии на рынке труда все относительно просто: в связи с растущим спросом на специалистов в области здравоохранения и курьерских служб, специалисты в сфере услуг (отели, туризм, рестораны, салоны красоты и т. Д.) остались в стороне. [6]

Но уже есть серьезные проблемы. Что произойдет после коронавируса? Какая работа требуется на рынке труда? В каких сферах деятельности можно трудоустроить «дополнительного» курьера или водителя? Какие альтернативы есть у людей, если работодатель обанкротится или сменит сферу своей деятельности? Для производства каких продуктов нужно перепрофилировать компании, которые сегодня производят средства защиты и товары первой необходимости для медицинских работников, поскольку спрос на эти группы товаров будет значительно сокращен. [5,6]

Таким образом, можно сделать вывод, что после пандемии COVID-19 рынок труда и экономическое пространство больше не будут находиться в "докризисном" состоянии. Те социально-экономические макро- и микропроцессы, которые мы все наблюдаем сегодня, сопровождаются реальными структурными изменениями на рынке труда. Общество и нация должны быть морально и экономически подготовлены к ним.

До настоящего времени невозможно предсказать и рассчитать истинную величину экономического воздействия как на рынок труда, так и на российскую экономику в целом. Это происходит главным образом потому, что точно не известно, когда закончится вспышка и каковы будут жертвы.

Список используемых источников.

1. Дожкильгова Д.М., Тайсумова Х.В. Занятость в производственном секторе в условиях инновационного развития и цифровизации экономики//В сборнике: Роль цифровой экономики в укреплении экономической безопасности страны - Материалы Международной научно-практической конференции. 2019. С. 46-50.

2. Трудовые осложнения: четверть компаний планируют снижать зарплаты / NEWS // [электронный ресурс] - URL: <https://news.mail.ru/society/41369959/?frommail=1>

3. В России начинаются массовые сокращения. Кто останется без работы / LIFE // [электронный ресурс] - URL: <https://life.ru/p/1249779>

4. Пандемия увольнений: COVID-19 плодит безработицу в мире / RAMBLER/FINANCE // [электронный ресурс] - URL: <https://finance.rambler.ru/other/43951429-pandemiya-u..>

5. Рынок труда во время эпидемии и после: что будет с вакансиями и зарплатами, и что нужно делать уже сейчас? / БАНКИ СЕГОДНЯ // [электронный ресурс] - URL: <https://bankstoday.net/last-articles/rvnok-truda-vo-v>

6. Саралинова Д.С., Тайсумова Х.В./ Стимулирование трудовой активности работников в системе мотивации труда // В сборнике: Современный менеджмент: теория, методология и практика - Материалы региональной научно-практической конференции, посвященной памяти д.э.н., профессора Т.К. Абдуллаевой. Под редакцией С.С. Муллахмедовой. 2019. С. 135-137.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ РАЗРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ СОЗДАНЫХ НА ОСНОВЕ МОЛЕКУЛЯРНОГО ИМПРИНТИНГА

Попов М.А., Шиликов А.В., Ермолов Д.Ю.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
mihapopov93@gmail.com

Введение

В настоящее время разрабатываются синтезируемые материалы для выделения и получения из растворов целевых веществ, наиболее часто применяемых для тонкой очистки от тяжелых металлов, органики или пестицидов.

Данный материал называется молекулярно импринтированными полимерами (МИПы), или полимеры с молекулярными отпечатками (ПМО), которые получают в результате молекулярного импринтинга – полимеризации функционального и сшивающего мономеров в присутствии молекул-шаблонов (в англоязычной литературе template – лекало, образец, трафарет) или импринт-молекул (imprint – отпечаток, оттиск, штамп) [1].

Вопросами разработки технологии получения молекулярных импринтов активно занимаются ведущие академические и промышленные исследовательские группы по всему миру, опубликовано достаточное количество статей и обзоров, посвященных МИПам, поэтому это направление стало одним из популярных в нанотехнологиях. Такая привлекательность полимеров с молекулярными отпечатками связана с высокой стабильностью, простотой получения, сопоставимые с природными рецепторами характеристиками взаимодействия с молекулами.

Возможно многократное использование полимерных частиц с регенерацией и полным восстановлением связывающей способности. Устойчивость МИПов к экстремальным для биологических макромолекул кислотным и щелочным средам, орга-

ническим растворителям, высоким температурам и давлениям обеспечивают их значительные преимущества по сравнению с природными рецепторами [2].

Наиболее простой и дешевой технологией получения МИПов является способ получения полимерной матрицы на основе эпоксидной смолы с низкой вязкостью, полученную из продукта конденсации диэтиленгликоля с эпихлоргидрином, марки ДЭГ-1. Заполимеризованной отвердителем УП-606/2 и с добавлением красителя метилового оранжевого для создания молекулярных отпечатков.

На сегодняшний день эпоксидные смолы марки ДЭГ-1 и ее аналоги стоят не более 1500 тысячи рублей за килограмм, так же нам необходим отвердитель УП-606/2 стоимость которого 700 руб/кг, при их соотношении 10:1. Стоимость метилового оранжевого составляет 4500 тысяч руб/кг в среднем – и соотношении к заполимеризованной ДЭГ-1 1:2. Поэтому ориентировочная цена разрабатываемого нами молекулярного импринта составит 4000 – 5000 руб/кг.

На основе ДЭГ-1 нами были получены опытные образцы молекулярных импринтов с метиловым оранжевым рисунком 1.

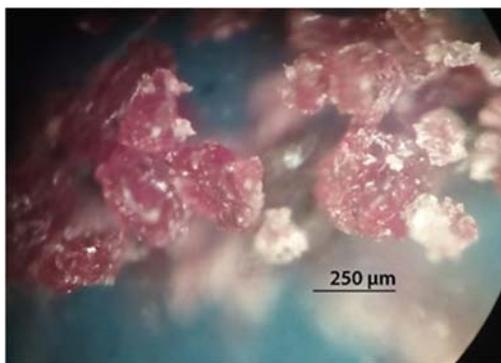


Рисунок 1. Образец под микроскопом CarlZeiss.

Для улучшения сорбции были получены образцы с добавлением натрия углекислого кислого (ЧДА), который использовали как порообразователь в массе заполимеризованной эпоксидной смолы.

Были использованы две эпоксидные смолы с разной степенью вязкости ЭД-20 и ДЭГ-1 с отвердителем УП-606/2. Лучшие образцы получились при измельчении ЧДА и воздействию температуры 85 °С в течении 30 минут рисунок 2.



Рисунок 2. Образцы после полимеризации при температуре и с измельченным ЧДА.

К настоящему времени было получено несколько рецептов молекулярных импринтов с разными красителями и соотношениями компонентов, выявлено их влияние на качество сорбции. Измельченный ЧДА лучше взаимодействует с эпоксидными смо-

лами и при реакции полимеризации позволяет увеличить площадь взаимодействия МИПов.

Полученный материал достаточно дешев, прост в производстве, подвергается регенерации, имеет высокую селективность [3].

Применение МИПов

Аналогичные разработки МИПов, например методом двойного ионного импринтинга, достаточно дорог в производстве из-за дорогих материалов. Одним из материалов для этого метода является цетилтриметил аммония (ЦТАБ), стоимость которого 8 000 руб/мл или 2-гидроксиэтилметакрилат (ГЭМА) стоимость 5 000 руб/мл. По сравнению с разрабатываемыми МИПами, импринты полученные методом двойного ионного импринтинга будут в три раза дороже.

На данном этапе материал сорбирует органические загрязнители, в дальнейшем планируется проверить его на сорбцию ионов тяжелых металлов для очистки загрязненных вод получаемых на предприятиях тяжелой промышленности.

Список используемых источников.

1. Лисичкин Г. В., Крутяков Ю. А. Материалы с молекулярными отпечатками: синтез, свойства, применение // Успехи химии. Т. 75. 2006. С. 998.
2. Гендриксон О. Д., Жердев А. В., Дзантиев Б. Б. Молекулярно импринтированные полимеры и их применение в биохимическом анализе // Успехи биологической химии. – 2006. – Т. 46. – С. 149-192.
3. Касымова Э. Д. Получение полимерных молекулярных отпечатков // Известия Национальной Академии наук Кыргызской Республики. – 2010. – №. 3. – С. 122-125.

РЫНОЧНЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТАБЛЕТИРОВАННОЙ ФОРМЫ НАНОУГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Алиев Р.Э.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

roma200929@gmail.com

За последние десятилетие углеродные наноматериалы (УНМ) нашли широкое применение в различных сферах деятельности: экологии, медицине, строительстве, сельском хозяйстве, машиностроении и др. Например, благодаря модифицированию цемента УНМ «Таунит» получают высокопрочные композиции строительных материалов [1]. Также разработано устройство для аккумуляции водорода, в основе которого лежит сорбция на поверхности дисперсных наноматериалов, являющиеся наиболее взрывобезопасными среди имеющихся [2].

Увеличение спроса на модификаторы на основе УНМ не имеет существенной связи с ростом и развитием экономики, т.к., имеется ряд других более значимых факторов [3-5]. Например, модификаторы на основе УНМ могут отличаться друг от друга формой: так, наиболее часто, сегодня применяются функционализированные УНМ, таблетированная форма УНМ, концентрат УНМ и пластификатора, порошкообразная форма УНМ [6]. В данной работе будут выявлены преимущества использования таблетированной формы УНМ от порошкообразной и рыночные перспективы ее применения.

Как правило, применение УНМ оказывает существенное влияние на изменение физико-механических характеристик модифицируемого материала. Например, наносенсоры [7], используемые для контроля состава примесей в воздухе в районе бензocolонок, благодаря наномодификатору, стали характеризоваться повышенной селективностью и быстротой отклика за счет изменения физических характеристик. А использование УНМ в мембранах для обессоливания воды [8] позволило увеличить скорость пропускания воды и сделать их более устойчивыми к биообрастанию.

По мнению ученых [3, 9, 10], нельзя однозначно сказать, УНМ какой конфигурации чаще всего используется в качестве модификатора в материалах и устройствах в различных областях промышленности. Скорее это будет зависеть от конкретного изобретения. Главным преимуществом таблетированной формы УНМ от порошкообразной является её безопасность, начиная от самой продажи и заканчивая применением [11]. Ведь безопасность наноматериалов в порошкообразном виде находится под сомнением. Например, при их использовании есть вероятность того, что их могут вдохнуть, и они будут оседать на легких. При этом, какие последствия ждут в таком случае – неизвестно, есть только предположения [3, 4]. Или же небрежное пренебрежение перчатками при работе может привести к тому, что эти маленькие частицы проникнут в кожу человека и начнут принимать участия в процессах его жизнедеятельности. Как известно на сегодняшний день, вывести из организма человека наноматериалы невозможно.

Выступая в качестве потенциального покупателя УНМ, ученый выделяет для себя и другие преимущества таблетированной формы наноматериалов перед порошкообразной.

Так, важным преимуществом является то, что таблетированный УНМ можно применять не только в прессованном виде, но и из него легко можно сделать и по-

рошкообразную форму, если в этом будет необходимость. Например, просто размолоть в кофемолке. При этом стоит учесть, что из таблетированной формы УНМ можно получить материал с необходимой степенью измельчения, т.е., если в производстве необходим материал более близкий к размерам пыли, то его легко получить, не будет и проблем, если частицы должны быть размером, как песчинки соли.

В научно-исследовательской деятельности одним из наиболее важных параметров является точная дозировка, используемого вещества. При покупке таблетированного УНМ, каждая из таблеток имеет идентичную массу. В связи с чем, при работе будет проще дозировать материал. При этом и расход спрессованного наноматериала будет значительно ниже, чем порошкообразного, ведь у этих двух форм различные площади взаимодействия. Так, таблетированный УНМ будет воздействовать на большую площадь. Также, не стоит отрицать тот факт, что УНМ в таблетированной форме способен равномерно насытить жидкость, что нельзя сказать о порошкообразной форме [5].

Положительным является и тот факт, что таблетированную форму УНМ легче транспортировать и хранить. Хотя бы рассматривая со стороны того, что материал будет занимать меньше места. Ведь, как известно, порошкообразный материал напоминает по своей структуре пух, который разлетается по всем сторонам, что нельзя сказать о спрессованном материале. Кроме того, будет легче очистить транспортировочную тару (пакет, коробку и др.) от таблетированного УНМ, так как при взаимодействии со стенками материал не будет истираться.

В качестве преимущества можно также указать то, что УНМ таблетированной формы можно покрыть защитной, быстрорастворяющейся и быстроснимающейся (при необходимости) пленкой, которая будет выполнять не только защитные функции материала, но и позволит устранить неприятный запах. Так же пленка защищает от выветривания, воздействия окружающей среды и исключает возможность вступить в химическую реакцию с другими веществами [3].

Необходимо отметить и подчеркнуть тот факт, что данная статья не носит рекомендательный характер в использовании таблетированной и порошкообразной формы УНМ. В первую очередь, она выделяет преимущества приобретения таблетированной формы для потенциального покупателя. В то время как, в научной деятельности и на производстве одинаково могут быть полезны различные наноматериалы (не зависимо от их формы). Ведь где-то удобнее и проще будет применять именно УНМ в таблетированной форме, а в другом производстве, предпочтение отдадут порошкообразной или любой другой форме УНМ, в зависимости от желаемого конечного результата, имеющегося оборудования, компетенции специалистов и многих других факторов.

Список используемых источников.

1. Панина, Т.И. Эффективность применения комплексной наномодифицирующей добавки на основе цеолитов в строительных материалах / Т.И. Панина, Ю.Н. Толчков, А.Г. Ткачев, З.А. Михалева, Е.В. Галунинин, Н.Р. Меметов, А.И. Попов // Нанотехнологии в строительстве. – 2016. – Том 8, №5. – С.116-132.
2. Пат. № 2037737 РФ, F17C 11/00. Аппарат для аккумуляции водорода/ Мордкович В.З., Байчток Ю.К., Коростышевский Н.Н., Дудакова Н.В., Лиханов А.И., Сосна М.Х.; Заявл. 16.10.2002; Оpubл. 19.06.1995
3. Popova, A.A. Modeling of mixing nanopowder materials when designing process equipment. / Popova A.A., Shubin I.N., Tarov D.V. // Advanced Materials and Technologies. – 2019. – № 4 (16). – С. 66-74.

4. Романенко, А.В. Особенности построения затратной модели управления качеством в наноиндустрии /А.В. Романенко, А.И. Попов // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2012. – №4. – С. 136-139.
5. Попова, А.А. Технология функционализации углеродных нанотрубок. / А.А. Попова, Р.Э. Алиев, И.Н. Шубин, Д.В. Таров, Ю.В. Скрипкин //Графен и родственные структуры: синтез, производство и применение: матер. Межд.. науч.-практич. конф.2019.– Тамбов, 2019. – С.70-71.
6. ООО «НаноТехЦентр»: сайт: <http://www.nanotc.ru/> (дата обращения 31.03.2020). – Текст: электронный.
7. Чапкевич, А.А. Селективность электрофлюктуационных полупроводниковых наносенсоров при анализе многокомпонентных смесей и летучих углеводородов. / А.А. Чапкевич, А.Л. Чапкевич, Н.А.Гущин, В.А.Винокуров. // Башкирский химический журнал. – 2010. – Т.17. – № 3. – С. 151-158.
8. Шитова, В.О. Особенности очистки сточных вод от двухвалентных металлов высоконапорным обратным осмосом. / В.О. Шитова. // Успехи в химии и химической технологии. – 2014. – Т.28. – № 2 (151). – С.8-11.
9. Попов, А.И. Формирование готовности к инновационной деятельности по созданию наноструктурированных материалов. / А.И. Попов. //Графен и родственные структуры: синтез, производство и применение: матер. междунар. науч.-практич. конф. .– Тамбов, 2017. – С. 331-334.
10. Попов, А.И. Организация инновационной деятельности на предприятиях наноиндустрии / А.И. Попов. – Тамбов: Студия печати Павла Золотова, 2019. – 16 с.
11. Радченко, М.В. Наноматериалы на основе наночастиц CdS и полиэтиленовой матрицы. / М.В. Радченко, Г.В. Лашкарев, В.И. Сичковский, А.А. Аршакуни, С.П. Губин, В.А. Юхимчук, В. Домуховский, Т. Стори, Ю.П. Пирятинский, Г.Ю. Юрков. // Неорганические материалы. – 2009.– Т.45. – № 5. – С.522-527.

СОВРЕМЕННЫЙ КРИЗИС КАК ФАКТОР ИННОВАЦИЙ И КАРДИНАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ БИЗНЕСА

Минько Л.В.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
nataliwelt@inbox.ru

Первостепенная роль в решении задачи преодоления кризисных явлений в стране принадлежит инновациям, инновационной деятельности, которые обеспечивают динамически устойчивое развитие экономики, непрерывное обновление технической и технологической базы производства, освоение и выпуск новой конкурентоспособной продукции, выход на мировые рынки товаров и услуг [1, с.15].

Инновации воспринимаются экономикой не всегда, а только в определенные периоды ее развития и дают ощутимую добавочную стоимость через определенный конечный промежуток времени. Кризис стремительно меняет восприятие и критерии оценки высоких технологий.

Сегодня в период эпидемии многие исследователи делают предположения о том, как современный кризис изменит мир, государство и бизнес. Предполагается, что бизнес после пандемии уже никогда не будет таким, как до коронавируса и затронет пять основных направлений [2]:

1. Вместо задач экономического развития через достижение максимальной эффективности в международном товарном обмене на первое место выйдет протекционизм и локализация производственных цепочек с максимальной добавленной стоимостью на национальной территории. Прочность цепочки поставок становится важнее эффективности ее частей.

2. Быстро произойдет реальная цифровизация – все, что можно перевести в цифру и сделать удаленно, будет переведено в ближайшее время. Бумажные контракты и совещания на тридцать человек с личным присутствием уже ушли в прошлое.

3. На корпоративном уровне произойдет возврат к фундаментальным правилам ведения бизнеса: бизнес должен приносить прибыль, закредитованный бизнес уязвим и в долгосрочной перспективе ненадежен, запасы ликвидности важнее желаний все оптимизировать. Эпоха, когда стартапы хвалились своим cash burning rate, ушла в прошлое.

4. Произойдет изменение самих корпоративных структур — многие задачи могут выполняться совместными усилиями работников, трудящихся удаленно в корпоративных сетях. Офисов с open space на сотни человек не будет, а сама корпоративная структура станет более «плоской». Пропадут несколько управленческих уровней. Определяющим успех компании станет способность ее руководства быстро вырабатывать и реализовывать решения.

5. Упрочится связь бизнеса с государством. Крупные инвестпроекты перестанут быть частным делом какой-то компании. Государство как регулятор, определяющий правила, и как сторона, ожидающая от бизнеса общественного блага в виде занятости, налогов, защиты окружающей среды и социального развития территории, будет вовлечено в процесс проектирования и бизнес-планирования (благо оно все перейдет в цифру) с самого начала проекта. В ответ бизнес может рассчитывать на поддержку государства в экстремальных обстоятельствах. Так будет выглядеть мир после для тех, кто выживет.

Сегодня Правительством РФ разрабатываются различные меры поддержки биз-

неса и занятости. Следует различать меры поддержки крупного бизнеса от мер, требующихся для МСБ. Для крупного бизнеса главный вызов сегодня — это устойчивость производственно-финансовых цепочек. Поэтому требуется принятие государством на себя части рисков, связанных с финансированием крупных производств. Для этого подходит утверждение лимитов выдачи госгарантий системообразующим предприятиям. Это может быть сделано правительством на основании единых отраслевых правил, подготовленных министерствами. Казначейство должно вести единый реестр госгарантий, которые должны предоставляться сроком на три года бесплатно. Под эти гарантии коммерческие банки смогут продолжать кредитовать предприятия, многие из которых нарушат нормативы достаточности капитала. Если часть предприятий не сможет рассчитаться по кредитам, обеспеченным госгарантиями, через три года, то такие предприятия могут быть национализированы и выставлены на приватизационные торги для возврата средств государства. Для балансирования бюджета можно ввести прогрессивную шкалу подоходного налога от 0 (с доходов до двух МРОТ) до 18% (с доходов более 100 млн/руб. в год) [2].

Для МСБ главная проблема – способность платить заработную плату персоналу и арендные платежи в условиях, когда выручка сократилась в несколько раз. Представляется целесообразным, чтобы социальные платежи для предприятий МСБ были полностью обнулены на ближайшие два-три года. Если персонал будет сокращен, страховые взносы все равно никто не заплатит.

Непосильным бременем для бизнеса в кризис стал налог на имущество, многократно выросший за последние три года в связи с увеличением кадастровой стоимости имущества. Это важный налог для регионов, но он по своей сути является анти-модернизационным. Можно компенсировать выпадающие доходы региональных бюджетов при отмене налога на имущество. Может быть увеличен налог на прибыль, допустим с 20 до 22%, чтобы прирост пошел в бюджет региона. Налог на прибыль – налог честный. Можно делиться, когда есть чем делиться. Регионы и компании будут заинтересованы в одном и том же – повышении прибыльности бизнеса.

Этот тяжелейший кризис дает возможность сейчас достроить систему взаимодействия «государство — население — бизнес», сделав ее более современной и нацеленной на развитие. После окончания коронавируса должно остаться взаимопонимание. После победы над коронавирусом связь государства и бизнеса усилится, а сами государства станут более централизованными. После завершения холодной войны мир уже не разделяют идеологические доктрины, но мир не стал единым. Наблюдается разделение по типу управления, на государства централизованного и децентрализованного типа. Централизованные системы, примером которых является Китай, легче справляются с неожиданными масштабными кризисами по сравнению с системами децентрализованными. На примере США видно, что преимущества децентрализации проявляются в периоды экономического развития, когда во многих центрах принятия решений происходит поиск технологических и организационных инноваций, из которых на основе конкуренции выбираются наиболее эффективные. В период же экстраординарного кризиса, когда слетелись сразу несколько «черных лебедей», важнейшим фактором успеха становится способность государства в кратчайшие сроки мобилизовать масштабные финансовые, технологические и людские ресурсы – и это преимущество централизованных систем. Сейчас наблюдается начало противостояния этих подходов, противостояния более серьезного, чем забывшаяся уже прошлогодняя торговая война США и Китая [2].

США придется выбирать, насколько угроза потери человеческих жизней и эко-

номического потенциала может сдвинуть к централизации общественную систему, исторически сформировавшуюся как децентрализованная. Сдвигка эта будет происходить вне зависимости от воли отдельных групп или политиков. Меры по ограничению перемещения, контроль за населением при помощи гаджетов, внедрение системы распознавания лиц и частичный отказ от принципов неприкосновенности частной жизни и информации о ней – то, чем придется поступиться и перенять от конкурента, Китая, чтобы выжить.

Россия имеет свою традицию взаимодействия государства, населения и бизнеса, и она ближе к централизованной модели. Реакция российского государства на распространяющуюся эпидемию была быстрой и вполне адекватной. Как в случае с любым большим кризисом, многих вещей остро не хватает, но со временем централизованная система найдет выход.

Список используемых источников.

1. Шипович Л.Ю. Инновации как инструмент преодоления кризиса и основа экономического развития. - Вестник Челябинского государственного университета.- 2017.- № 32 (247).- Экономика.- Вып. 34. - С. 15–21.

2.Троценко Р. Посткризисное управление: как пандемия изменит мир, государство и бизнес [Электронный ресурс]: Электрон. текстовые данные.-Режим доступа: <https://www.rbc.ru/opinions/business/06/04/2020/5e8ad3e19a79474519df924d>

КОММЕРЦИАЛИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК ПО СОЗДАНИЮ КОМПОЗИЦИОННЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

Ящишин Н. Ю., Горшкова П.А., Алексенцев Д.С.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
inikola1997@mail.ru

Преодоление кризисных явлений в экономике, вызванных становлением шестого технологического уклада и усиленных пандемией, предполагает активизацию поиска способов перехода от лабораторных исследований по приоритетным направлениям науки к промышленному производству. Это позволит повысить качество выпускаемой продукции и обеспечить конкурентоспособность предприятий региональной экономики [1]. Одним из важных направлений в деятельности предприятий является снижение затрат на производство продукции, в т.ч. и посредством применения новых конструкционных материалов, обладающих более лучшими эксплуатационными и прочностными характеристиками.

Существенную экономию затрат на создание продукции в машиностроении и приборостроении может принести замена более тяжелых составляющих технических систем из традиционных материалов на выполненные из более легких композитов, которые не только не уступают по прочности, но в значительном количестве случаев могут выиграть по данному показателю (до 80% случаев). Производство композитов с каждым годом наращивает темпы, они постепенно занимают все более значительную часть рынка.

Инвестиции государства и бизнеса в развитие научной инфраструктуры наноиндустрии позволили получить существенные результаты в области создания композит-

ных материалов с использованием наноструктурированных компонентов. Наиболее перспективным является добавление в существующие композиционные смеси наноструктурированного углерода [2]. Было установлено, что даже незначительное внесение углеродного наноматериала в композит позволяет на порядок улучшить его механические, электрические, тепловые и другие характеристики. Например, проведенные эксперименты по внесению наноструктурированного углерода в матрицу на основе эпоксидного связующего BFE-170 при различных концентрациях (от незначительных следов в размере 0.01% до малых концентраций порядка 0.1%-0.5% и высоких до 6%) позволили выявить отличие свойств получаемых композитов от традиционного материала. Существенно изменяется прочность получаемого материала, причём она сильно зависит от концентрации вносимого наноматериала. Было установлено, что наилучшей концентрацией наноматериала, который благоприятно влияет на улучшение характеристик (прочность на разрыв и изгиб, модуль Юнга) является диапазон от 0,1% до 0,5% [3]. Внесение наноматериалов в количестве до 1% также даёт существенное увеличение прочности, но при этом более высокая концентрация позволяет обеспечивать более равномерное распределение материала при производстве композитов в промышленных масштабах.

Широкое применение большинство наноструктурированных материалов сдерживается достаточно высокой их стоимостью на данном этапе развития nanoиндустрии. Поэтому стоимость композитов с добавлением углеродных наноматериалов может существенно увеличиться. При выборе программ коммерциализации научных разработок необходимо учитывать относительное изменение показателя качества композита при изменении его себестоимости (показатель «цена-качество») [4]. Потребитель при принятии решения о покупке будет руководствоваться и возможностью получения новых свойств, и окупаемостью дополнительных инвестиций на покупку более дорого материала. Ещё одним ограничением может служить то, что, улучшая один из показателей композита посредством добавления углеродных наноматериалов, мы можем недопустимо ухудшить другой (например, чрезмерное повышение прочности может сделать полимер более хрупким).

Коммерциализация полученных научных результатов может сдерживаться, с одной стороны, недостаточным количеством основных фондов в виде машин и оборудования для nanoиндустрии [5], с другой отсутствием системы продвижения инновационного товара к потребителю [6]. Потребитель достаточно часто не знает о возможности использования вместо традиционного материала его улучшенной модификации. Даже при использовании базового компонента добавление наноструктурированного углерода позволит существенно изменить свойства композита и расширить диапазон его применения. Например, использование наномодификатора на основе углерода в эпоксидной смоле так же увеличивает диапазон применения получаемого композиционного материала. Одной из основных отраслей промышленности, где может использоваться получаемый композит, является строительство. Так же эпоксидная смола, модифицированная углеродными нанотрубками, может более широко использоваться в авиастроении, судостроении и других подотраслях машиностроения. Перспективным является использование композиционных материалов в ракетно-космической технике. Многие составляющие, в том числе детали обшивки, можно делать используя данный композит. Повышение прочностных характеристик и наличие хорошего коэффициента упругости делает данный материал привлекательным для нефтеперерабатывающей промышленности, где возможно его использование для деталей нефтепровод и газопроводов, нефтяных платформ.

Широкий диапазон возможного использования данного композита, также и других научных разработок в области использования наноструктурированных материалов для модификации композитов, обуславливает разработку механизма коммерциализации результатов экспериментальных исследований. Данный механизм включает следующие стадии:

– создание цифровой базы о готовности потенциальных потребителей увеличивать текущие издержки для получения более высокого качества конструкционных материалов [7];

– оценка инвестиционной привлекательности создания новых производств в рамках наноиндустрии на основе применения теории нечетких множеств;

– организация информирования в цифровом пространстве потенциальных потребителей о перспективах взаимовыгодного сотрудничества по адаптации научных разработок к целям и ограничениям реального производства;

– разработка и внедрение мер дополнительного страхования инновационных проектов по отраслям, определяющим новый технологический уклад.

Активная коммерциализация научных разработок в области нанотехнологий и использование композитов на их основе позволит развивать в регионе предприятия, связанные с наноиндустрией, и на более высоком уровне удовлетворять потребности населения.

Список используемых источников.

1. Романенко, А.В. Постановка задачи оптимизации деятельности предприятия машиностроительного кластера / А.В. Романенко, В.Л. Пархоменко, А.И. Попов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2014. – №3. – с. 168-171.
2. Наноматериалы: способы получения, методы диагностики, области применения [Электронный ресурс: мультимедиа]: учебное пособие / Е.А. Буракова, Т.П. Дьячкова, А.В. Рухов, Е.Н. Туголуков, А.И. Попов. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2018. – 80 с.
3. Ящишин, Н. Ю., Влияние фторирования и дисперсности на прочностные характеристики эпоксидного связующего ВФЕ-170/ Н. Ю. Ящишин, А. Н. Блохин, А. К. Сухоруков, И. А. Зайцев, Д. Е. Кобзев, П. В. Комбарова// Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент: сб. науч.-инновац. конф. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2018. – Вып. 10. – С. 248 – 249.
4. Романенко, А.В. Особенности построения затратной модели управления качеством в наноиндустрии /А.В. Романенко, А.И. Попов // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2012. – №4. – С. 136-139.
5. Ткачев, А.Г. Промышленные технологии и инновации. Оборудование для наноиндустрии и технология его изготовления: учебное пособие / А.Г. Ткачев, И.Н. Шубин, А.И. Попов. - Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 132 с.
6. Попов, А.И. Организация инновационной деятельности на предприятиях наноиндустрии / А.И. Попов. – Тамбов: Студия печати Павла Золотова, 2019. – 16 с.
7. Романенко, А.В. Об информационных основах принятия решений при управлении хозяйствующим субъектом / А.В. Романенко, А.И. Попов, В.Л. Пархоменко // Наука и бизнес: пути развития. – 2013. – №8. – С. 134-136.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПЛАСТИКОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Толмачев О.А., Серебряков А.С.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
olegsan1995@mail.ru

Оборудование для аддитивного изготовления пластиковых изделий – 3D-принтеры – доступно с точки зрения стоимости не только для крупных предприятий, но и для малых производств. В данной работе рассматривается наиболее распространенная в настоящее время аддитивная технология – FDM (Fused Deposition Modeling), заключающаяся в послойном наложении расплавленной полимерной нити.

В случае серийного производства выбор технологии изготовления пластиковых изделий становится неочевидным. При увеличении размера партии себестоимость изготовления изделий методом литья под давлением постепенно уменьшается за счет высокой скорости производства, которая несопоставима со скоростью трехмерной печати. В этой связи актуальна задача разработки методики оценки эффективности аддитивных технологий, учитывающей размер партии и массу изделия.

В качестве примера в данной работе рассматривается МВВ-балка (Messerschmitt-Volkow-Blohm) оптимальной топологии, предназначенная для работы в условиях трехточечного изгиба, см. рис. 1 [1]. Длина балки L составляет 240 мм, высота $H=40$ мм, толщина $t=10$ мм.

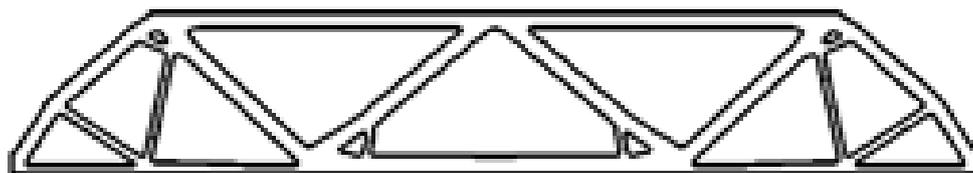


Рисунок 1. МВВ-балка оптимальной топологии.

Себестоимость МВВ-балки, изготавливаемой с помощью литья под давлением, складывается из двух слагаемых:

$$C(x) = \frac{C_{os}}{x} + C_{izd}, \quad (1)$$

где C_{os} – затраты на разработку и изготовление оснастки (пресс-формы), руб.; C_{izd} – затраты на изготовление одного изделия, руб.; x – размер партии, шт.

Каждая из этих составляющих может быть рассчитана поэлементным методом [2], суть которого заключается в суммировании затрат по всем основным категориям: затраты на основные материалы, заработная плата основных производственных рабочих, заработная плата вспомогательных рабочих, затраты на инструмент, затраты на электроэнергию, общепроизводственные затраты, амортизационные отчисления. Подробный расчет себестоимости изготовления данной балки представлен в работе [3]. Затраты на пресс-форму C_{os} составили 25530 руб., затраты на непосредственное изготовление изделия на термопластавтомате – 63 руб. Таким образом, себестоимость МВВ-балки размерами 240×40×10 мм выражается следующей гиперболой:

$$C(x) = \frac{25530}{x} + 63. \quad (2)$$

При использовании аддитивной технологии FDM себестоимость изделия будет складываться из следующих составляющих:

$$C_{add} = M + Z_o + S_{en}, \quad (3)$$

где M – затраты на основные материалы, руб.; Z_o – заработная плата основных производственных рабочих, руб.; S_{en} – затраты на электроэнергию, руб.

При толщине слоя по оси Z 0,2 мм и средних настройках качества трехмерной печати время изготовления одной детали на 3D-принтере Picaso Designer составит 3 ч. 27 мин. Стоимость пластика – 49 руб. Заработная плата оператора 3D-печати при средней тарифной ставке 100 руб./ч. составит 345 руб.

Максимальная электрическая мощность 3D-принтера Picaso Designer достигает 400 Вт, поэтому примерные затраты на электроэнергию при тарифной ставке 3,96 руб./кВт·ч. составят 5,5 руб. за одно изделие.

Следовательно, себестоимость МВВ-балки, изготовленной методом послойного наплавления пластиковой нити, не зависит от размера партии и при отсутствии амортизационных отчислений составляет 400 руб.

На рис. 2 представлены графики себестоимости пластиковой МВВ-балки в зависимости от размера партии и применяемой технологии изготовления. Как видно из представленных результатов, при размере партии свыше 76 шт. использование аддитивной технологии нецелесообразно.

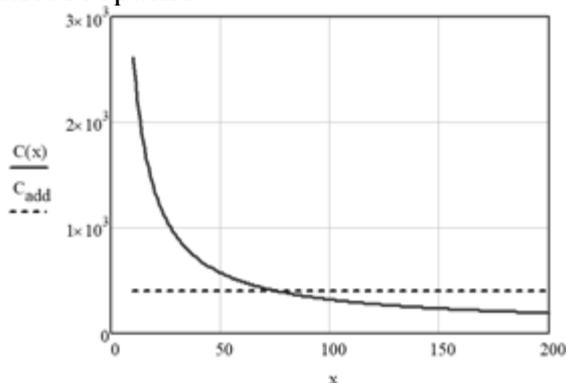


Рисунок 2. Себестоимость пластиковой МВВ-балки.

Проанализируем влияние массы и габаритов МВВ-балки на себестоимость ее изготовления. Для этого повторим расчеты, варьируя габаритами изделия. Результаты расчетов представлены в табл. 1. Для определения размера партии, обеспечивающей равенство себестоимостей по двум технологиям необходимо решать уравнение:

$$C(x) = C_{add}. \quad (4)$$

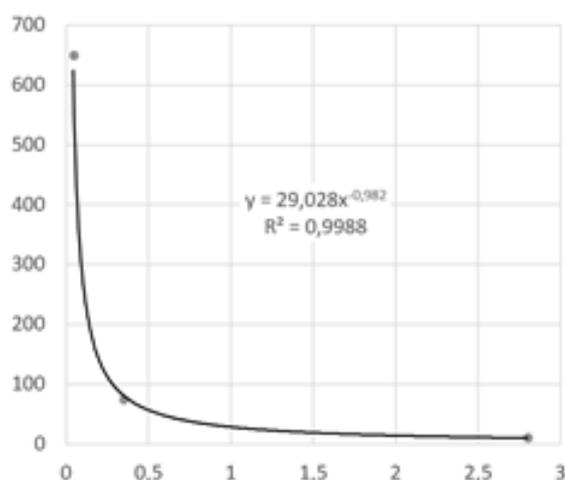
Решение уравнения (4) представлено в правом столбце табл. 1.

Построим графическую зависимость размера равноценной партии от массы изделия, (рис. 3). Представленная зависимость аппроксимирована степенной функцией (уравнение показано на графике). Применяя данную формулу, можно оперативно оценить эффективность аддитивной технологии или технологии литья под давлением. Например, при массе детали 0,1 кг применение аддитивной технологии будет эффективнее при размере партии до 280 шт. ($29,028 \cdot 0,1^{-0,982}$).

Таблица 1.

Себестоимость МВВ-балки в зависимости от массы.

Размеры балки, мм	Масса m , кг	Технология		x
		Литье под давлени- ем	FDM	
120×20×5	0,044	$24370/x+18,4$	55	666
240×40×10	0,35	$25530/x+63$	400	76
480×80×20	2,8	$30330/x+332$	2990	11

Рисунок 3. Зависимость $x(m)$.

Таким образом, суть предлагаемого подхода заключается в расчете и аппроксимации равноценной партии изделий. Коэффициенты аппроксимирующей функции зависят от конкретного производства. Следовательно, полученная зависимость может использоваться для оценки эффективности аддитивной технологии при производстве других изделий на том же предприятии.

Список используемых источников.

1. Alekhin, P. A. Perspectives for organization of internal porous structure of loaded elements of optimal topology / P. A. Alekhin, A. O. Glebov, S. V. Karpov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing. – 2020. – Т. 709. – №. 2. – С. 022028.
2. Дмитриев, В. А. Экономическое обоснование выбора технологического процесса механической обработки: Метод. указ. к практич. занятиям, курсовому и дипломному проектированию / В. А. Дмитриев, О. А. Бабордина, В. А. Ахматов. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2012 – 51 с.
3. Толмачев, О. А. Анализ себестоимости пластиковых изделий оптимальной топологии / О. А. Толмачев, А. С. Серебряков // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 т. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2020. – Вып. 6. – Т. 2. – С. 31-34.

УПРАВЛЕНИЕ ИННОВАЦИЯМИ КАК МЕНЕДЖЕРСКИЙ ПРИНЦИП ВНЕДРЕНИЯ РЕШЕНИЙ

Королькова Е.М.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов
elkorolkova@mail.ru

Управление инновациями является широким менеджерским принципом внедрения лучших решений в любом бизнес-процессе.

В любой компании формированием культуры, в том числе инновационной, занимается управленческая элита. Иногда случается так, что прогрессивные мысли возникают у руководителей среднего звена, а топ-менеджмент не разделяет их взглядов и губит идеи на корню. Это большая ошибка с точки зрения возможностей развития бизнеса. В первую очередь именно топ-менеджмент ответственен за развитие этой культуры, ее поддержание и развитие. И собственнику бизнеса важно подобрать правильных людей с точки зрения мышления, которые смогут обеспечить остальной персонал правильной миссией и стратегическим видением развития компании.

Для любого инновационного бизнеса точки роста – это талантливые сотрудники: прогресс происходит, когда люди предлагают свежие идеи, другие им доверяют, внедряют и тестируют новшества. В результате компания не стоит на месте.

Также одним из ключевых компонентов в формировании инновационной культуры компании является миссия – ясное видение целей, а также их коммуникация дальше по звеньям управленческой цепи.

Многие считают веру в значение миссии избитой истиной. Тем не менее, как показывает практика, действие миссии проявляется в том, что сотрудники компаний действительно верят в то, что они делают мир лучше, помогают людям и получают от этого большое удовольствие.

Первое правило внедрения любых инноваций - подбор соратников. На любом из уровней важен менеджмент, который понимает суть изменений. Когда привычные бизнес-процессы неожиданно меняются, необходимо объяснять всем участникам потенциальные выгоды и преимущества происходящего.

Второй ключевой момент – личный пример.

Большая компания в российских реалиях – это, как правило, компания с государственным участием, полным или частичным, занимающая на внутреннем рынке монопольное или почти монопольное положение. Отсюда вытекает главное препятствие для развития инноваций – отсутствие на целом ряде отраслевых рынков серьезной конкуренции как таковой. А тезис, что почти все крупные госкомпании действуют в том числе на глобальном рынке и испытывают при этом высокое конкурентное давление именно там, на самом деле несостоятелен. Конкурируют они, за редким исключением, ценой, перекладывая издержки такого способа ведения бизнеса на внутренних потребителей. Поэтому стимулы для развития внутренних инноваций или их поиска на «открытом рынке» не очень велики.

И если говорить о больших компаниях с госучастием, есть еще два важных барьера. Первый – инновационные компании, как правило, относятся к МСП. Исполнение крупного заказа или получение инвестиций, в которых участвуют государственные средства, требует высокой культуры финансовой, договорной, закупочной и другой деятельности. Потому что со стопроцентной вероятностью за каждый государственный рубль придется отчитываться не только перед заказчиком (или инвестором), но и

перед контрольно-надзорными органами. А они, помимо выявления случаев явного нарушения законодательства, оперируют еще понятиями «неэффективного» или «нецелевого» использования средств.

У малого бизнеса, помимо барьера нехватки компетенций, возникают еще риски совершить ошибки, которые обойдутся достаточно дорого. Это понимают, как правило, обе стороны: и инновационный бизнес, и крупная госкомпания. Вторым барьером – практическая невозможность «кэшаута» для фаундеров и инвесторов ранних стадий при вхождении в капитал инновационного стартапа крупной госкомпании. Предполагается, что вся инвестиция будет направлена на развитие приобретаемого актива. И никак иначе.

Главное лекарство от вышесказанного – развитие конкуренции и неуклонное улучшение институциональной среды для ведения бизнеса.

Что же касается больших компаний с частным капиталом, то зачастую особых проблем с инновационностью у них нет. Развивают ли они собственные разработки или используют механизмы «открытых инноваций», им лучше просто не мешать.

Барьеры в компаниях могут быть разными и, как правило, это не один и даже не два барьера, а целый комплекс преград, которые сдерживают развитие инноваций в корпорациях. Чаще всего можно услышать следующие [1]:

1. Инновации требуют времени и инвестиций; часто компании ориентированы только на текущие операционные метрики эффективности и не обладают достаточным уровнем терпения, чтобы получить результат на длинном горизонте.

2. Синдром неприятия чужой разработки – явление, при котором разные группы влияния в организации сопротивляются идеям, поступившим из внешних источников, в результате чего продолжают тратиться усилия на проведение неэффективных разработок внутри.

3. Отсутствие вовлеченности акционеров и высшего руководства в процессы инновационного развития.

4. Бюрократия и скорость принятия решений: стартапы не живут, а выживают, поэтому время в крупных компаниях и стартапах течет с разной скоростью.

Развивать инновации в корпорации мешает отсутствие системы работы с рисками и неготовность управлять разными инновационными проектами в разрезе общей стратегии развития бизнеса. В этой парадигме могут возникнуть существенные разногласия между операционным менеджментом и инноваторами.

Барьером в развитии инноваций является отсутствие сильного лидера. В это определение я вкладываю человека, который обладает:

- сильным весом в компании для принятия / проталкивания / убеждения в различных вопросах на высоком уровне;
- достаточными полномочиями и желанием принимать решения вне ряда процедур;
- верой в то, что от инноваций может получиться эффект;
- кредитом доверия от акционера и правом на ошибку;
- достаточным авторитетом для создания вокруг себя «правильной» корпоративной культуры.

Ещё одна проблема – это скорость внедрения инноваций. Сегодня в компаниях электронной коммерции и финтехе новые решения могут внедряться мгновенно. Такие компании динамичны, они параллельно тестируют несколько решений и чутко реагируют на потребности рынка.

Главным барьером для развития высоких технологий в больших компаниях является отсутствие реального запроса со стороны бизнеса на инновации или отсутствие понимания реальных целей инноваций и изменений. Очень часто компании начинают строить инновационный процесс просто потому, что «ну, все же делают инновации» или «мы хотим иметь инновационный бренд». Такие начинания очень часто сталкиваются с внутренним сопротивлением в компании, потому что не видно реальной пользы от инноваций, нет драйвера процесса, нет людей, которые бы действительно ждали и хотели внедрения конкретных изменений [2].

Очень часто это сопровождается инновационным процессом без сопутствующего изменения культуры, процессов и персонала в компании. Например, пробуя новейшие технологии вроде блокчейна или искусственного интеллекта, необходимо помнить, что вокруг любой технологии всегда будут люди, которым нужно привыкнуть к новому, будут процессы, которые неминуемо придется менять.

Список используемых источников.

1. Скотт, Э. Подрывные инновации [Текст] / Э. Скотт, Э. Олтман, Д. Синфилд, М. Джонсон. – М.: Альпина Паблишер, 2018. – 340 с.
2. Хлебникова, Н.С. Подход к управлению проектами в Госкорпорации «Росатом» на основе гейтовой модели [Электронный ресурс] / Н.С. Хлебникова, 2017. Режим доступа: <https://pmmagazine.ru/articles/gejtovaya-model-praktika-ispolzovaniya-v-rosatome/> – Загл. с экрана.
3. Баранчев, В. П. Управление инновациями [Текст] / В.П. Баранчев, Н.П. Масленникова, В.М. Мишин. – М.: Юрайт, 2018. – 720 с.
4. Блохина, Т. К. Экономика и управление инновационной организацией [Текст] / Т.К. Блохина, О.Н. Быкова, Т.К. Ермолова. – М.: Проспект, 2017. – 428 с.

Научное электронное издание

СОВРЕМЕННЫЕ ТВЕРДОФАЗНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ТЕОРИЯ, ПРАКТИКА И ИННОВАЦИОННЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ

Материалы XII Международной научно-инновационной
молодежной конференции
(Тамбов, 20 – 22 мая 2020 г.)

Обложка, упаковка, тиражирование Т. Ю. Зотовой

ISBN 978-5-8265-2161-8



Подписано к использованию 19.06.2020.

Тираж 100 шт. Заказ № 58

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14.

Тел. 8(4752) 63-81-08.

E-mail: izdatelstvo@tstu.ru

