

**СОВРЕМЕННЫЕ ТВЕРДОФАЗНЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ:  
ТЕОРИЯ, ПРАКТИКА И  
ИННОВАЦИОННЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ**

*Материалы IV Международной  
научно-инновационной  
молодежной конференции  
24 - 26 октября 2012 г.*



Тамбов 2012

Министерство образования и науки РФ  
Некоммерческая корпорация  
Американский фонд гражданских исследований и развития (CRDF)  
ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»  
Учреждение Российской академии наук Институт структурной  
макрокинетики и проблем материаловедения РАН (г.Черноголовка)  
Научно-образовательный центр ТамбГТУ-ИСМАН  
«Твердофазные технологии»

**«СОВРЕМЕННЫЕ ТВЕРДОФАЗНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:  
ТЕОРИЯ, ПРАКТИКА И ИННОВАЦИОННЫЙ  
МЕНЕДЖМЕНТ»**

*Материалы IV Международной научно-инновационной  
молодежной конференции  
24 – 26 октября 2012 г.*

г.Тамбов 2012

УДК 620.1  
ББК 34.4+65.291.5

*Конференция проводилась при поддержке Некоммерческой организации  
Американский фонд гражданских исследований и развития, грант BG2219*

Сборник подготовлен по материалам, предоставленным авторами  
в электронном виде, и сохраняет авторскую редакцию.  
За содержание предоставленных материалов  
организаторы ответственности не несут.

**С 56 «Современные твердофазные технологии: теория, практика и  
инновационный менеджмент»:** материалы IV Международной научно-  
инновационной молодежной конференции: 24 – 26 октября 2012. Под общей  
ред. оргкомитета. – Тамбов: Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2012 – 312 с.

ISBN 978-5-905724-09-1

Сборник содержит научные статьи и тезисы докладов студентов,  
аспирантов и молодых научных работников ВУЗов, НИИ и предприятий  
Российской Федерации и стран СНГ, вошедших в программу IV  
Международной научно-инновационной молодежной конференции  
«СОВРЕМЕННЫЕ ТВЕРДОФАЗНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ТЕОРИЯ,  
ПРАКТИКА И ИННОВАЦИОННЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ»

УДК 620.1  
ББК 34.4+65.291.5

© Авторы публикаций, 2012  
© ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012  
© Оформление Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2012

ISBN 978-5-905724-09-1

## Состав Оргкомитета

### Сопредседатели оргкомитета:

- Бузник Вячеслав Михайлович - академик РАН, гл.н.с. ИМЕТ РАН, г.Москва;
- Мищенко Сергей Владимирович - д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, ректор ФГБОУ ВПО «ТГТУ», г.Тамбов

### Члены оргкомитета:

- Баронин Геннадий Сергеевич - д.т.н., профессор ФГБОУ ВПО «ТГТУ», директор НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии», г.Тамбов
- Белошенко Виктор Александрович - д.т.н., профессор, засл.изобретатель Украины, зам. директора по научной работе Донецкого физико-технического института им. А.А.Галкина НАН Украины, г. Донецк
- Вигдорович Владимир Ильич - д.х.н., профессор ФГБОУ ВПО «ТГТУ», засл.деятель науки и техники РФ, г.Тамбов.
- Дворецкий Станислав Иванович - д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, проректор по научно-инновационной деятельности ФГБОУ ВПО «ТГТУ», г.Тамбов
- Истомин Михаил Александрович - к.э.н., директор бизнес-инкубатора ФГБОУ ВПО «ТГТУ» «Инноватика»
- Столин Александр Моисеевич - д.ф.-м.н., профессор ИСМАН, зав. лабораторией пластического деформирования материалов, руководитель НОЦ ИСМАН, г.Черноголовка
- Стельмах Любовь Семеновна - д.т.н, вед.н.с. ИСМАН, г.Черноголовка
- Ткачев Алексей Григорьевич - д.т.н., профессор, зав.кафедрой «Техника и технологии производства нанопродуктов» ФГБОУ ВПО «ТГТУ», зам.директора ООО «НаноТехЦентр», г.Тамбов
- Хина Борис Борисович - д.ф.-м.н., гл.н.с. Физико-технического института НАН Беларуси, г.Минск

### Секретарь оргкомитета:

- Завражин Дмитрий Олегович - к.т.н., ст.н.с. НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии», г.Тамбов

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Пленарные доклады</b> .....	11
<i>Баронин Г.С., Мищенко С.В.</i> Становление и развитие профильного научно-образовательного центра ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии».....	11
<i>Хина Б.Б.</i> Мультимедийный спецкурс «Основы физического материаловедения: диффузия, дислокации и механизмы структурообразования» для магистрантов и аспирантов материаловедческих специальностей.....	20
<i>Дворецкий Д.С., Поляков Б.Б., Столин А.М.</i> Оптимизация аппаратурно-технологического оформления высокотемпературного синтеза материалов на основе моделирования динамики тепловых процессов.....	27
<i>Ткачев А.Г., Меметов Н.Р.</i> Новые технологии синтеза и практического применения углеродных наноструктур.....	33
<i>Вигдорович В.И., Панфилова Ю.В., Пудовкина А.Ю.</i> Размерные эффекты при анодном поведении и протекторном действии цинкового порошка.....	36
<b>СЕКЦИЯ 1. Материаловедение и твердофазные технологии новых материалов</b> .....	44
<i>Агеев Е.В., Латыпова Г.Р., Гладких А.В.</i> Исследование удельной поверхности твердосплавных электроэрозионных порошков.....	44
<i>Худяков В.В., Мещерякова Ю.В., Юрков Г.Ю., Баронин Г.С.</i> Теплофизический анализ образцов политетрафторэтилена и композитов на его основе.....	47
<i>Кацуба Д.С., Рогов И.В., Жуков Н.П.</i> Исследование температурных зависимостей теплопроводности композиционных полимерных материалов.....	50
<i>Комбарова П.В., Баронин Г.С., Хабаров С.Н.</i> Интенсификация твердофазной экструзии поверхностным насыщением и пластификацией заготовок полимера.....	53
<i>Ивановский В.А.</i> Определение теплофизических характеристик полимерных систем по их электромагнитным флуктуациям.....	55
<i>Фокин В.М., Образцов Д.В.</i> Исследование прочностных и теплофизических свойств наномодифицированных бетонов.....	58
<i>Дивина Д.А., Дивин А.Г., Пономарев С.В.</i> Реализация теплофизического эксперимента с применением информационных технологий.....	61
<i>Бажин П.М., Столин А.М., Саранцев В.В.</i> Изучение формуемости композитной нанокерамики.....	64
<i>Балабацук И.В., Просвиркина Е.В., Харченко Е.Н.</i> Ультразвуковое воздействие на свойства диоксида титана.....	66
<i>Айнетдинов Д.В., Александров Г.В., Кардаш М.М.</i> Изучение ионной проводимости катионообменных мембран «Поликон».....	67

<i>Аверичев О.А., Столин А.М., Бажин П.М.</i> Разработка технологических режимов получения электродов Ti-C-SO методом СВС-экструзии.....	69
<i>Завражин Д.О., Баронин Г.С., Худяков В.В.</i> Исследование влияния СВЧ-нагрева на формирование структурно-механических свойств наномодифицированных материалов на основе ПА-6, прошедших ТФЭ.....	70
<i>Антонов А.О., Пудовкина Е.В., Васильев С.О., Майникова Н.Ф.</i> Метод неразрушающего определения теплофизических свойств металлизированных полимерных изделий.....	73
<i>Агеев Е.В., Давыдов А.А., Денисова Е.В.</i> Исследование микротвердости твердосплавных электроэрозионных порошков.....	76
<i>Фомин А.А., Попов О.Н., Rogov И.В., Майникова Н.Ф.</i> Исследование методом неразрушающего определения структурных переходов в полимерных материалах.....	78
<i>Хорсева Т.Н.</i> Утепление фасадов жилых домов первых массовых серий.....	81
<i>Кобзев Д.Е., Баронин Г.С., Червяков В.М., Хабаров С.Н.</i> Технологическая линия твердофазной объемной штамповки ПТФЭ с ультразвуковым воздействием.....	84
<i>Кузнецов М.М., Ли Р.И.</i> Обоснование выбора адгезива ТК-200 для восстановления взаиморасположения осей валов КПП автомобиля.....	87
<i>Михеев М.В., Столин А.М., Бажин П.М.</i> Исследование термодинамических характеристик шихтовых материалов на основе дисилицида молибдена в режиме СВС.....	90
<i>Худяков В.В., Завражин Д.О., Мещерякова Ю.В., Кантаев А.С., Дьяченко А.Н., Бузник В.М., Баронин Г.С.</i> Эксплуатационные свойства фторполимерных нанокомпозитов, полученных на основе молекулярной смеси ПТФЭ и диоксидов титана и кремния.....	91
<i>Мостовой А.С., Яковлев Е.А., Санукова А.А., Плакунова Е.В.</i> Модифицированные эпоксидные композиты – полимеры XXI века.....	94
<i>Толчков Ю.Н., Кондаков А. И.</i> Исследование процесса наномодифицирования строительных материалов.....	97
<i>Кучерова А.Е., Заикин А.С., Бураков А.Е.</i> Очистка водно-спиртовых смесей синтетическими цеолитами, модифицированными углеродными нанотрубками.....	100
<i>Дебердеев Р.Я., Дебердеев Т.Р., Улитин Н.В., Набиев Р.Р., Терещенко К.А., Калинина Д.Ш., Ахметчин Э.С., Берлин Ал.Ал.</i> Влияние физических полей на процесс получения олигомерной серы.....	103
<i>Кобзев Д.Е., Баронин Г.С., Червяков В.М.</i> Твердофазное формование ПТФЭ с ультразвуковым воздействием.....	105
<i>Новичков М.С., Ивановский В.А.</i> Исследование температурного поля в образце при определении теплопроводности методом электромагнитных флуктуаций.....	108

<i>Петров Д.И., Каратеев А.А., Пудовкина Е.В., Майникова Н.Ф., Никулин С.С.</i> Исследование метода неразрушающего теплового контроля двухслойных материалов.....	110
<i>Полёткина Ю.В., Гулевский В.А.</i> Разработка матричных сплавов на основе сурьмы для пропитки углеграфита.....	113
<i>Кучерова А.Е., Яцишина О.Ю., Бураков А.Е.</i> Фильтрующий материал аэрозольной очистки на основе керамических волокон модифицированных углеродными нанотрубками.....	115
<i>Полуэктов В.Л., Баронин Г.С.</i> Комбинированная твердофазная экструзия полимеров и композитов.....	118
<i>Худяков В.В., Кантаев А.С., Дьяченко А.Н., Юрков Г.Ю., Бузник В.М., Баронин Г.С.</i> Теплофизические исследования модифицированных полимерных материалов на основе фторопласта-4.....	121
<i>Иванов С.А., Баронин Г.С., Таров В.П.</i> Интенсивная пластическая деформация углеродонаполненного полиэтилена.....	122
<i>Гулевский В.А., Доменти Е.А.</i> Разработка матричных сплавов на основе свинца.....	125
<i>Полуэктов В.Л., Баронин Г.С.</i> Влияние комбинированной твердофазной экструзии на физико-механические характеристики полимерных материалов.....	128
<i>Зяблицева Е.В.</i> Возможность переноса иона галлия в системе сульфат натрия – сульфат галлия (Ш).....	130
<i>Блохин А.Н., Захаревский А.В., Гурьев Я.Е.</i> Придание электропроводности эпоксидным смолам за счет добавок углеродных нанотрубок.....	133
<i>Полунина Н.Ю.</i> Информационно-измерительная система для определения теплофизических свойств теплозащитных материалов.....	134
<i>Завражин Д.О., Баронин Г.С.</i> Исследование процесса интенсивного пластического деформирования материалов на основе ПА-6 на примере твердофазной плунжерной экструзии.....	137
<i>Штейнман А.Э., Столин А.М., Бажин П.М.</i> Влияние многоступенчатого обжатия на процесс СВС-экструзии.....	139
<i>Сипратов Н.Ю., Глазков Ю.Е., Ведущев С.М., Бажин П.М.</i> Использование СВС-электродов при упрочнении деталей сельхозтехники.....	141
<i>Дебердеев Т.Р., Улитин Н.В., Новиков Г.Ф., Терещенко К.А., Сидельникова В.А., Дебердеев Р.Я.</i> Специфические эффекты в процессах формирования эпоксиаминных полимеров, выявляемые методом широкополосной диэлектрической спектроскопии.....	144
<i>Васильев С.О., Васильев Д.О., Антонов А.О. Майникова Н.Ф.</i> Зондовый метод определения значений температуры плавления и кристаллизации полимерных материалов.....	146

<i>Юрина С.О., Рязанов П.М., Ткаченко Т.В., Мочалин С.Н., Рогов И.В.</i> Информационно-измерительная система для определения температурозависимых теплофизических свойств твердых материалов.....	149
<i>Терзиман О.В., Гулевский В.А.</i> Разработка матричных сплавов на основе алюминия для пропитки пористого каркаса.....	151
<b>СЕКЦИЯ 2. Технологии наносистем и материалов.....</b>	<b>153</b>
<i>Горский С.Ю., Дьячкова Т.П.</i> Исследование процессов газофазной функционализации углеродных нанотрубок.....	153
<i>Щегольков А.В., Юдин А.С.</i> Наномодифицированные теплоаккумулирующие материалы для энергосберегающих систем.....	155
<i>Аверин И.А., Губич И.А.</i> Пористый наноструктурированный оксид алюминия: методы получения и исследования.....	158
<i>Блохин А.Н., Гурьев Я.Е., Яцишина О.Ю.</i> Влияние углеродных нанотрубок на структуру и свойства эпоксидных связующих.....	160
<i>Колесников А.А., Бутин А.В., Ли Р.И.</i> Деформационно-прочностные свойства полимерного наноконпозиционного материала на основе эластомера Ф-40.....	162
<i>Аверин И.А., Губич И.А.</i> Предварительная подготовка поверхности для получения упорядоченной структуры и уменьшения дефектов анодного оксида алюминия.....	165
<i>Котов В.А.</i> Влияние углеродных нанотрубок марки «Таунит» на прочностные характеристики цементного камня.....	167
<i>Тюрин И.А., Терин Д.В., Макаров Б.С., Кардаш М.М., Олейник Д.В.</i> Введение ультрадисперсных добавок в полимерный хемосорбент.....	170
<i>Мамонтов А.И., Зимин С.П.</i> Рентгеновская дифрактометрия многослойных наноструктур.....	172
<i>Новиков В.А., Сафонов А.А., Штеренберг А.М.</i> Триботехнические свойства тонких плёнок, синтезированных в плазме тлеющего разряда.....	174
<i>Шелохвостов В.П., Образцов Д.В., Гумбин В.В.</i> Исследование закономерностей формирования динамических кластерных сверхрешеток под воздействием наномодификаторов в жидких средах.....	175
<i>Першин А.С., Петрова Е.А., Семикина С.И., Пасько Т.В.</i> Опыт создания в России классификатора направлений нанотехнологии....	178
<i>Платёнкин А.В., Баршутин С.Н.</i> Исследование спектральных характеристик плазмы в процессе синтеза наноуглеродных структур.....	180
<i>Ли Р.И., Рожнов А.Б.</i> Оптимизация состава полимерной наноконпозиции на основе анаэробного герметика АН-111.....	183
<i>Щегольков А.В.</i> Исследование вольт-амперных характеристик наномодифицированных теплоаккумулирующих материалов.....	185
<i>Заскока А.Н., Ляшенко Я.А., Хоменко А.В.</i> Неньютоновское поведение ультратонкой пленки смазки между двумя атомарно-гладкими поверхностями в процессе граничного трения.....	188



<i>Дружинина В.Н., Богаева К.Д., Телегин М.О., Дьячкова Т.П.</i> Исследование процессов вторичной функционализации карбоксилированных углеродных нанотрубок.....	191
<i>Конкина В.В., Паршикова М.В., Пучкова Д.И., Шубин И.Н.</i> Методы анализа наноразмерных материалов.....	194
<i>Мележик А.В., Хохлов П.А., Ткачев А.Г.</i> Модифицирование углеродных нанотрубок органотитанатами.....	197
<i>Трофимов М.Ю., Левкина Н.Л., Устинова Т.П., Лурье Е.А.</i> Оценка эффективности технологии получения композиционных материалов на основе ПА-6 и тетратитаната калия.....	200
<b>СЕКЦИЯ 3. Химико-технологические процессы и системы.....</b>	<b>203</b>
<i>Агеева Е.В., Сотникова Д.А., Трифонова Е.Г.</i> Некоторые особенности окисления гидросульфита натрия в присутствии диоксида марганца и непредельных соединений в бисерной мельнице.....	203
<i>Родионов Ю.В., Талыков В.А.</i> Разработка двухступенчатого жидкостнокольцевого пластинчатого вакуумного насоса.....	206
<i>Ахметчин Э.С., Калинина Д.Ш., Опаркин А.В., Широких Е.Б., Перухин Ю.В., Улитин Н.В.</i> Синтез полистирола методом радикальной полимеризации с обратимой передачей цепи: механизм процесса, молекулярно-массовые и диэлектрические свойства полимера.....	209
<i>Чижиков А.Г. Труфанов Д.Н.</i> Удаление водорастворимых солей из тонкодисперстных структур органических веществ.....	212
<i>Калинина Д.Ш., Улитин Н.В., Самарин Е.В., Дебердеев Т.Р.</i> Радикальная полимеризация бутилакрилата с обратимой передачей цепи по механизму присоединения-фрагментации: прогнозирование результатов синтеза.....	214
<i>Комбарова Н.А., Ряшенцева Ю.И., Макеев П.В.</i> Вторичная переработка полиолефинов (ПЭНП, ПЭВП, ПП).....	216
<i>Никифорова Е.Ю., Образцов Д.В.</i> Синтез ультрамикродисперсного порошка оксида никеля – путь снижения экологической нагрузки производства углеродных наноматериалов.....	219
<i>Шишкина М.Ю., Забавников М.В.</i> Современные добавки, используемые для создания биоразлагаемых полимеров.....	222
<i>Мещерякова Ю.В., Нагорнов С.А.</i> Культивирование микроводоросли хлорелла с целью получения биодизельного топлива.....	226
<i>Пудовкина А.Ю.</i> Окисление, как метод очистки промышленных сточных вод, содержащих оксibenзол.....	229
<i>Орлова Н.В.</i> Влияние технологических параметров процесса выделения на качественные характеристики белогофора ОБ-жидкого.....	230

<i>Небасов А.В., Зорин А.С., Никитин Д.В.</i> Совершенствование двухступенчатого ЖВН с последовательным включением ступеней.....	233
<i>Проценко И.Г., Брусенцов Ю.А., Филатов И.С.</i> Определение серы в металлах и сплавах с помощью излучения ультрафиолетового диапазона длин волн.....	236
<b><i>СЕКЦИЯ 4. Механика и математическое моделирование новых материалов и технологий</i></b> .....	239
<i>Медведева А.В., Мордасов Д.М.</i> Метрологические аспекты аэродинамического метода контроля пористости сыпучих материалов.....	239
<i>Алтунин К.А., Шапкова Е.В.</i> Оптимизация режимов резания.....	242
<i>Борисюк В.Н., Грицына Е.С.</i> Моделирование процесса роста металличе- ских конденсатов, полученных распылением при фазовом равновесии.....	245
<i>Власов С.Э., Гулевский В.А.</i> Выбор легирующих элементов для оптимального химического состава сплава меди для процесса пропитки.....	247
<i>Чулков И.С., Гончаров А.Л.</i> Математическое моделирование технологической электронной пушки.....	249
<i>Улитин Н.В., Насыров И.И., Набиев Р.Р., Сидельникова В.А., Дебердеев Т.Р., Нуриев Н.К., Дебердеев Р.Я.</i> Использование фрактального и инкрементального подходов для прогнозирования характеристик поляризации густосетчатых эпоксидных полимеров.....	252
<i>Бородавкин Д.Г., Каратеев А.А., Рогов И.В., Майникова Н.Ф.</i> Метод неразрушающего контроля структурных переходов в полимерах...	254
<i>Чернышов В.Н., Ковылин А.В.</i> Комплексное определение теплофизических свойств строительных материалов.....	257
<i>Манько Н.Н., Ляшенко Я.А.</i> Незатухающий режим прерывистого движения при граничном трении.....	260
<i>Улитин Н.В., Дебердеев Р.Я., Терещенко К.А.</i> Реокинетические свойства отверждающихся эпоксидных систем. Математический формализм описания поликонденсационного процесса.....	263
<i>Поляков Б.Б., Кунина Е.Ю., Комбаров Д.О.</i> Анализ напряжённо-деформированного состояния элементов пресс-формы для высокотемпературного синтеза твердосплавных материалов и их формования.....	266
<i>Щегольков А.В., Щегольков А.В., Юдин А.С., Милюков А.Г., Гриднев П.Г.</i> Математическое описание распределения электрического потенциала на поверхности электрического теплоаккумулирующего нагревателя.....	269
<i>Нурутдинов Г.Н., Желонкин Н.В.</i> Модель нарушителя информационной системы.....	271
<i>Медведева А.В., Мордасов Д.М.</i> Аэродинамический метод контроля пористости сыпучих материалов.....	273

<b>СЕКЦИЯ 5. Инновационный менеджмент в сфере высоких технологий.....</b>	<b>276</b>
<i>Ершова М.В.</i> Социальное страхование как элемент социокультурного процесса поддержания качества жизни населения: инновационный подход.....	276
<i>Васильев А.А.</i> Механизмы продвижения нанотехнологического оборудования на международный рынок.....	278
<i>Коробова О.В.</i> Системный подход в инвестиционном менеджменте.....	281
<i>Кузнецова Т.С., Зяблова А.М., Попов А.И.</i> Особенности функционирования инфраструктуры инновационной деятельности Тамбовской области при реализации нанотехнологических проектов.....	284
<i>Овчаренко С.Б.</i> Оценка инвестиционного климата с использованием инвестиционных рейтингов.....	287
<i>Жариков В.В., Жариков А.Р.</i> Виртуальные бизнес-инкубаторы как новая форма хозяйствования в России.....	290
<i>Ершова М.В., Жариков Р.В.</i> Управление качеством продукции на основе инноваций.....	294
<i>Худяков В.В., Полуэктов В.Л.</i> Выбор инновационной стратегии при коммерциализации твердофазных технологий для машиностроения.....	296
<i>Жариков В.В., Жариков В.Д.</i> Принципы антикризисного управления.....	299
<i>Истомин М.А.</i> Управление инновационными процессами в высшем учебном заведении.....	301
<i>Васильев А.А., Семикина С.И., Петрова Е.А., Попов А.И.</i> Организация управленческого учета научно-исследовательского компонента инновационного проекта в наноинженерии.....	305
<i>Завражина К.В.</i> Основы менеджмента качества инновационных методов обучения.....	308

**СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ПРОФИЛЬНОГО НАУЧНО-  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА ТАМБГТУ-ИСМАН  
«ТВЕРДОФАЗНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»\***

*Баронин Г.С., Мищенко С.В.*

*Тамбовский государственный технический университет*

*НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии»*

*profnoctt@mail.ru*

*www.tstu-isman.tstu.ru*

Научно-образовательный центр «Твердофазные технологии» создан в 2005 году на базе Тамбовского государственного технического университета и Института структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН (ИСМАН) Научного центра РАН в Черноголовке.

Организация НОЦ «Твердофазные технологии» проходила при поддержке аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» и российско-американской Программы «Фундаментальные исследования и высшее образование» (Basic research and Higher Education – BHRE).

Среди основных результатов Программы особое положение занимает создание университетских научно-образовательных центров, которые внесли новую культуру образования, науки, сотрудничества, заложили основу для формирования на нынешнем этапе российских федеральных университетов. НОЦ являются моделью новой организационной структуры, которая в условиях России способствует внедрению в российских университетах международной практики интеграции передовых исследований и образования, широкому привлечению молодежи к научным исследованиям, обновлению парка научных приборов и к переходу такой структуры через некоторое время к режиму финансовой устойчивости.

Научно-образовательная деятельность федеральной сети НОЦ (20 центров от Владивостока до Петрозаводска) оказывает влияние как на систему высшей школы в целом, так и на высшие учебные заведения региона и демонстрирует высокую эффективность и практическую результативность созданных структур в стране как модели саморазвивающихся научно-образовательных организаций с отличительными признаками исследовательских университетов.

Научные направления двадцати НОЦ в основном совпадают с перечнем «Приоритетных направлений развития науки, технологий и техники РФ». Во многих НОЦ, как и в НОЦ «Твердофазные технологии» научные исследования проводятся по нескольким приоритетным направлениям.

Научно-образовательный центр «Твердофазные технологии» выполняет важную роль центров притяжения в сфере науки и фундаментального образо-

вания молодежи, формирования особой среды поддержки и стимулирования аспирантуры, сообщества молодых ученых, расширения границ территорий за счет становления и развития механизма академической мобильности профессорско-преподавательского состава и студентов, расширения международного сотрудничества и представления ТГТУ в международном научном сообществе.

## Федеральная сеть научно-образовательных центров



Подготовка инженерных, научных и научно-педагогических кадров по приоритетным направлениям развития науки, техники и технологий для высокотехнологичных производств неразрывно связана с проведением фундаментальных и прикладных исследований. Научно-образовательная система такой подготовки кадров представляет собой совокупность сопряженных образовательных программ различного уровня и направленности подготовки, повышения квалификации и переподготовки кадров, а также образовательных, научных и инновационных структур, обеспечивающих реализацию этих программ.

В последние годы значительно расширены интересы фундаментального поиска в НОЦ с целью придания им прикладной инновационной технологической направленности, установления новых форм сотрудничества и взаимодействия с промышленностью, создания и представления на рынок новой конкурентоспособной продукции.

### Научная и инновационная деятельность

Научные интересы коллектива интегрированного профильного НОЦ «Твердофазные технологии» и требования российской экономики в последние годы развития позволили скорректировать и представить ряд важнейших научных направлений фундаментального поиска:

– технология получения наномодифицированных и наноструктурированных полимерных и неорганических материалов;

- твердофазная экструзия с формоизменением заготовки и равноканальная экструзия композиционных полимерных материалов;
- теоретические и экспериментальные исследования с целью управления микроструктурой и физико-механическими свойствами полимерных композитов, полученных жидкофазной и твердофазной экструзией;
- разработка новых методов физической, физико-химической и химической модификации полимерных композиционных материалов;
- разработка информационных систем изучения, диагностики и управления формированием структуры и эксплуатационных свойств полимерных многокомпонентных композитов;
- разработка научных основ твердофазных технологий получения нового класса композиционных материалов конструкционного и функционального назначения на основе полимеров путем модифицирования полимерной матрицы и наполнителей;
- разработка нового класса композиционных материалов на основе фторполимеров с использованием методов молекулярного смешения компонентов с оценкой их эксплуатационных свойств;
- разработка методов интенсификации и совершенствования твердофазных технологий получения и переработки полимеров и композитов с использованием электрофизического воздействия энергетических полей;
- разработка методов совершенствования твердофазной технологии переработки полимеров и композитов с использованием методов математического моделирования;
- создание и изучение эксплуатационных свойств нанокристаллических металлов, полимеркерамических и металлополимерных композиционных материалов;
- СВС-экструзия;
- электроискровое легирование металлообрабатывающего инструмента, деталей сельскохозяйственной техники и медицины;
- математическое моделирование СВС-экструзии, структуры композитов и технологических процессов твердофазной технологии.

При организации и проведении очередной четвертой Всероссийской научно-инновационной молодежной конференции (с международным участием) коллектив НОЦ «Твердофазные технологии» подводит итоги научно-инновационной, образовательной и организационной деятельности и намечает планы перспективного развития нового структурного образования ФГБОУ ВПО ТГТУ. Подводя итоги научной и инновационной деятельности коллектива, следует отметить следующие основные отечественные и международные проекты, выполненные коллективом НОЦ в 2010-2012 г.г. в области развития теории и практики твердофазных технологий полимерных и неорганических композиционных материалов.

1. «Исследование композиционных материалов с целью создания теоретических и технологических основ наукоемких твердофазных технологий» (2008-2010 гг.) тематический план НИР ВУЗа №1.1.08.

2. «Получение новых СВС-электродов из композиционных керамических материалов с наноразмерными элементами структуры» (2009-2011 гг.) (Федеральная целевая программа Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы, мероприятие 1.2.1) ГК №П397 от 30.07.2009.

3. Разработка методов твердофазной технологии создания и обработки керамонаполненных полимерных композитов с заданными физико-механическими свойствами (2009-2011 гг.) (Федеральная целевая программа Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы, мероприятие 1.3.1) ГК №П1485 от 03.09.2009.

4. Разработка методов твердофазной технологии создания и обработки углеродонаполненных полимерных материалов с заданными физико-механическими свойствами (2010-2012 гг.) (Федеральная целевая программа Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы, мероприятие 1.2.2) ГК №П702 от 20.05.2010.

5. Разработка информационно-измерительной системы для определения оптимальных режимов процессов изготовления изделий из полимерных материалов (2010-2011 гг.) (Федеральная целевая программа Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы).

6. Исследование влияния СВЧ-излучения на формирование структуры с улучшенными физико-механическими свойствами наномодифицированных полимер-углеродных материалов при твердофазной обработке давлением (2009-2010 гг.) (Федеральная целевая программа Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы, мероприятие 1.2.2) ГК №П2110 от 05.11.2009 (Завражин Д.О.).

7. Исследование влияния ультразвукового воздействия на формирование структуры с улучшенными физико-механическими свойствами наномодифицированных полимерных материалов, обрабатываемых давлением в твердой фазе (2009-2010 гг.) (Федеральная целевая программа 10. Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы, мероприятие 1.2.2) ГК №П219 от 23.04.2010 (Кобзев Д.Е.).

8. Оптимизация режимов твердофазной технологии переработки наномодифицированных полимер-углеродных материалов при пластификации низкомолекулярными веществами в целях повышения эксплуатационных характеристик и качества поверхности получаемых изделий (Федеральная целевая программа «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 200-2013 годы», мероприятие 1.3 ГК № 14.740.11.1253 (шифр «2011-1.3.2-008) от 15 июня 2011 года (Комбарова П.В.).

9. Проект ФЦП, Государственный контракт 14.740.11.0821 от 1 декабря 2010 г. Разработка и получение методами СВС-компактирования интерметаллидов и МАХ-материалов для нанесения защитных покрытий на детали авиационных двигателей 5 и 6 поколения. 2010-2012г. (Столин А.М.).

10. Проект РФФИ 12-03-97552-р\_центр. Фундаментальные основы получения наноструктурированных керамических и композиционных материа-

лов и изделий с использованием процессов горения и пластического деформирования. 2012-2014 гг. (Столин А.М.).

11. Проект Программы «Создание научных основ экологически безопасных и ресурсосберегающих химико-технологических процессов. Разработка научных основ твердофазной технологии для получения изделий из новых наномодифицированных полимерных композиционных материалов конструкционного и функционального назначения. Отработка процессов с получением опытных партий веществ и материалов» (ОХНМ 2012 г.), рук. акад. В.М. Бузник, отв. исп. А.М. Столин.

12. Проект РФФИ 12-03-31015 «Самораспространяющийся высокотемпературный синтез материалов на основе МАХ-фазы в условиях пластического деформирования», 2012-2013гг. (Бажин П.М.).

13. «Разработка твердофазной технологии обработки полимерных материалов давлением с применением ультразвука» («У.М.Н.И.К-2010») (Кобзев Д.Е.).

14. «Совершенствование технологии твердофазного формования с обеспечением высокого качества поверхности изделия» («У.М.Н.И.К-2011») (Комбарова П.В.).

15. АВЦП на 2011 г.

Тема проекта «Научно-методическое обеспечение развития инновационного потенциала интегрированного НОЦ в области новых твердофазных химических технологий (НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии»)».

16. Тематический план на 2011 г.

Тема проекта «Разработка физико-материаловедческих и реологических принципов управления формированием микроструктуры композиционных материалов при пластическом деформировании».

17. Госзадание на 2012 г. Тема №6ГЗ/12.

Тема проекта «Разработка физико-материаловедческих и реологических принципов управления формированием микроструктуры композиционных материалов в условиях ИПД с наложением электрофизического воздействия энергетических полей».

18. Грант Президента РФ по выполнению НИР в рамках ведущей НШ РФ в 2012 г. – НШ–3550.20123.

Тема проекта «Разработка научных основ твердофазных технологий получения нового класса композиционных материалов конструкционного и функционального назначения на основе полимеров путем модифицирования полимерной матрицы и наполнителей». Руководители проекта – академик В.М. Бузник и ректор ТГТУ С.В. Мищенко.

**Перечень патентов, заявок на патенты, свидетельств на программный продукт за период 2010-2012 гг.:**

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010612613 от 14.05.10. Дилатометрическое исследование образца композиционного материала с использованием системы технического зрения / Г.С. Баронин, А.Г. Дивин, К.В. Шапкин.



2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010612612 от 14.05.10. Определение теплофизических характеристик материалов с применением модернизированного сканирующего калориметра DSC-2 / Г.С. Баронин, А.Г. Дивин, К.В. Шапкин.

3. Патент РФ №93712 10.05.2010 г. Бажин П.М., Столин А.М., Стельмах Л.С. Установка для получения твердосплавных электродов для электроискрового легирования.

4. Патент РФ №2414991. Способ получения керамических изделий с наноразмерной структурой / П.М. Бажин, А.М. Столин, Л.С. Стельмах, В.А. Щербаков. Заявл. 17.03.2010.

5. Патент РФ № 2010108492 Баронин Г.С., Дмитриев В.М., Ткачев А.Г., Комбарова П.В., Завражин Д.О., Кобзев Д.Е. Способ подготовки заготовок из полимерных композиционных материалов для обработки давлением в твердой фазе. № 2010108492 от 21.10.11 положительное решение.

6. Патент РФ №2446188 Баронин Г.С., Дмитриев В.М., Комбарова П.В., Ткачев А.Г., Завражин Д.О., Кобзев Д.Е. Способ подготовки заготовок из термопластичных полимерных композиционных наноматериалов для обработки давлением в твердой фазе. № 2446188 от 27.03.2012.

7. Заявка на изобретение №2011111274 от 24.03.2011 г. Способ обработки полимерных материалов давлением в твердой фазе с применением ультразвукового воздействия на заготовку / Г.С. Баронин, В.М. Дмитриев, Д.Е. Кобзев, П.В. Комбарова, Д.О. Завражин. Патентообладатель: Г.С. Баронин, Д.Е. Кобзев.

8. Патент РФ №93712 10.05.2010 г. Бажин П.М., Столин А.М., Стельмах Л.С. Установка для получения твердосплавных электродов для электроискрового легирования.

9. Патент РФ №2397826 Червяков, В.М., Коптев, А.А., Дворецкий, С.И., Четырин, А.И., Червяков, М.В. Роторный аппарат для создания акустических колебаний в проточной жидкости / В.М. Червяков, А.А. Коптев, С.И. Дворецкий, А.И. Четырин, М.В. Червяков. 2010. Б.И. №24.

10. Патент РФ №2414991. Способ получения керамических изделий с наноразмерной структурой / П.М. Бажин, А.М. Столин, Л.С. Стельмах, В.А. Щербаков. Заявл. 17.03.2010.

#### **Перечень кандидатских и докторских диссертаций, защищенных в НОЦ за период 2010-2012 гг.:**

1. Краснянский, М.Н. Методология прогнозирования и обеспечения надежности функционирования процессов и аппаратов многоассортиментных химических производств»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук 2010.

2. Дивин, А.Г. Методы и средства для определения зависимости теплофизических характеристик жидких полимерных материалов от скорости сдвига и температуры: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук – 05.11.13. – Тамбов, 2011. – 173 с.

3. Пугачев, Д.В. Влияние структурных и реологических факторов на кинетику процессов твердофазной обработки термостойких полимерных ма-

териалов: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – 05.17.08, 05.17.06 — Тамбов, 2010. – 155 с.

4. Быстрицкий, В.С. Методика идентификации рентгеноаморфных фаз полимеров и полимерных мембран: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. 2011.

5. Завражин, Д.О. Кинетика и интенсификация процессов твердофазной технологии обработки модифицированных полимер-углеродных материалов на основе СВЧ-нагрева: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – 05.17.08, 05.17.06 — Тамбов, 2011. – 150 с.

6. Кобзев, Д.Е. Интенсификация процесса твердофазного формования полимеров и композитов ультразвуковым воздействием: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – 05.17.08, 05.17.06 — Тамбов, 2012. – 173 с.

7. Поляков, Б.Б. Оптимизация аппаратурно-технологического оформления высокотемпературного синтеза материалов на основе моделирования нестационарных тепловых процессов: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – 05.17.08, 05.13.18. – Тамбов, 2012.

### **Образовательная деятельность и внешние связи**

В профильных интегрированных НОЦ процесс получения и применения новых знаний включает в себя основные этапы полного инновационного цикла и органично встраивается в образовательный процесс инновационно-ориентированной подготовки инженерных, научных и научно-педагогических кадров.

Работа научно-образовательного центра направлена на решение ряда задач в образовательной деятельности:

- разработка новых программ и методов, обеспечивающих единство и взаимосвязь фундаментальных исследований и учебного процесса;
- развитие экспериментальной базы и создание центров коллективно-го пользования научной аппаратурой высокого уровня – современной инструментальной основы науки и образования;
- развитие связей в области науки и образования с другими организациями, включая институты Российской академии наук, российские и зарубежные вузы;
- разработка и организация учебного процесса для студентов и аспирантов по новым твердофазным химическим технологиям в научно-образовательной лаборатории;
- получение студентами дополнительной квалификации в области менеджмента и коммерциализации новых химических технологий;
- использование новых информационных технологий в образовании для новых твердофазных технологий;
- обеспечение интеграционных процессов между уровнями академической и вузовской науки;
- выполнение фундаментальных и прикладных НИР на мировом уровне студентами и аспирантами по новым наукоемким химическим технологиям.

С 2010-2011 учебного года в ФГБОУ ВПО ТГТУ ведется подготовка бакалавров по направлению 150100 «Материаловедение и технологии новых материалов (в соответствии с ФГОС 3-го поколения).

Был разработан учебный план, подготовлены библиотечные фонды, разработаны учебно-методические комплексы по следующим дисциплинам:

1. Основы твердофазных технологий.
2. Основы структурной макрокинетики.
3. Физикохимия полимерных материалов.
4. Физические и физико-химические методы анализа материалов.
5. Технологические процессы и оборудование отрасли.
6. Теория и технология покрытий.

В продолжение развития образовательной деятельности НОЦ в 2012 году разработана дополнительная профессиональная образовательная программа (повышения квалификации) специалистов по теме «Современные технологии получения наноструктурированных и наномодифицированных материалов методами пластического деформирования».

Среди учебных пособий и монографий, ориентированных на образовательную программу по направлению «Материаловедение и технологии новых материалов» сотрудниками научно-образовательного центра подготовлены издания:

1. Переработка полимеров в твердой фазе. Физико-химические основы / Г.С. Баронин, М.Л. Кербер, Е.В. Минкин, Ю.М. Радько. М.: Машиностроение-1, 2002. – 320 с.

2. Переработка полимеров в твердой фазе: Учебное пособие / Г.С. Баронин, М.Л. Кербер, Е.В. Минкин, П.С. Беляев. Тамбов: Изд-во ТамбГТУ, 2005. 88 с.

3. Аппаратура и методы синтеза твердотельных наноструктур / А.Г. Ткачев, И.В. Золотухин. М.: Машиностроение-1, 2007. – 316 с.

4. Машины и аппараты химических производств: Учебное пособие для вузов/ А.С. Тимонин, В.Я. Борщев, М.А. Промтов и др. / Под общей редакцией А.С. Тимонина. - Калуга: Издательство Н.Ф. Бочкаревой. 2008. - 872 с.

5. Переработка полимеров и композитов в твердой фазе / Г.С. Баронин, А.М. Столин, В.М. Дмитриев. Тамбов: Изд-во ТамбГТУ, 2009. – 140 с.

6. Получение изделий из порошков неорганических соединений методом СВС-экструзии / А.М. Столин, Г.С. Баронин, М.Р. Филонов, П.М. Бажин. М.: Изд-во НИТУ МИСиС, 2010. – 45 с.

7. Детали машин и новые технологии: методические указания к лабораторным работам / Г.С. Баронин, П.М. Бажин, Д.Е. Кобзев, Д.О. Завражин. – Тамбов: Изд-во Тамбовского государственного технического университета, 2010. – 32 с.

НОЦ «Твердофазные технологии» поддерживает тесные деловые связи с организациями НАН Украины, НАН Белоруссии, а также Научно-техническим обществом машиностроителей республики Болгарии. В 2012 году между Научно-техническим обществом машиностроителей республики Болгарии и ФГБОУ ВПО ТГТУ в лице директора НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН

«Твердофазные технологии» заключен договор. Предметом договора является распространение информации в Болгарии и странах ЕС о существующем инновационном продукте, полные или частичные права на который принадлежит НОЦ ТамБГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии».

В июне 2012 года Бажин Павел Михайлович, к.т.н., научный сотрудник НОЦ «Твердофазные технологии» прошел стажировку, которая была организована CRDF в результате конкурсного отбора по «Innovation technology commercialization practicum competition-2011», который проходил в НОЦ «Твердофазные технологии», г. Тамбов.

Стажировка проходила в г. Бостоне, где были проведены групповые занятия с американскими экспертами и менторами на темы правильного построения бизнес-презентации, общения с инвесторами, оценка слабых и сильных сторон инновационного проекта, корректировка бизнес-плана, тренировка Elevator pitch.

Были организованы выездные стажировки «Startup Access», которые представляли собой полное погружение в инновационную систему Массачусетского технологического университета (MIT) и предпринимательскую общину г. Бостона. Представилась реальная возможность увидеть своими глазами, как в MIT создаются инновации, пообщаться с представителями инновационной экосистемы и инвестиционного сообщества г. Бостона. Был посещены MIT Entrepreneurship center, Cambridge Innovation center, MIT Media Lab где руководители центра рассказали, как работает эта организация, какие курсы по предпринимательству ведет центр, и какая помощь доступна предпринимателям со стороны центра. Был организован визит в MassChallenge для знакомства с интернациональным конкурсом бизнес-планов, общения с представителями и стартапами MassChallenge. Была проведена экскурсия по SIC – одним из самых известных технопарков в мире, где находятся порядка 400 стартапов.

Стажировка в г. Бостоне закончилась встречей с бизнес-ангелами и инвесторами.

Заключительная часть стажировки проходила в городах Santa Clara, San-Francisco (Калифорния). Были проведены Technology commercialization course с инновационными экспертами и менторами. Была продолжена работа над бизнес-презентацией, отработка Elevator pitch и корректировка проекта. Были организованы встречи с инвесторами и представителями венчурной индустрии.

Итогом стажировки стало участие в TechConnect World и представление своего инновационного проекта в National Innovation Showcase при участии представителей инновационного сообщества многих стран мира.

*\*Работа поддержана Грантом президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ РФ, код проекта НШ – 3550.2012.3.*

# МУЛЬТИМЕДИЙНЫЙ СПЕЦКУРС «ОСНОВЫ ФИЗИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ: ДИФФУЗИИ, ДИСЛОКАЦИИ И МЕХАНИЗМЫ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ» ДЛЯ МАГИСТРАНТОВ И АСПИРАНТОВ МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

*Хина Б.Б.*

*Физико-технический институт НАН Беларуси, г.Минск  
[khina\\_brs@mail.ru](mailto:khina_brs@mail.ru)*

## **Введение**

В связи с необходимостью повышения уровня подготовки специалистов в области материаловедения и приведения учебных программ в соответствие с современным уровнем научных знаний в этой бурно развивающейся области, весьма актуальной задачей как высшей школы, так и академической науки является создание новых специализированных учебных курсов для магистрантов и аспирантов материаловедческих специальностей.

В данной работе разработан спецкурс лекций “Основы физического материаловедения: диффузии, дислокации и механизмы структурообразования” для студентов, магистрантов и аспирантов технических ВУЗов. В курсе использована компьютерная техника и средств мультимедиа. Спецкурс дополняет и углубляет такие курсы как “Теория термической обработки”, “Технология термической и химико-термической обработки металлов”, “Металлография” и “Механические свойства”, которые обычно входят в программу обучения инженеров-материаловедов. В указанных курсах традиционно используются элементы теории диффузии и дислокаций, однако лишь фрагментарно и без выявления их связи с механизмами фазо- и структурообразования, протекающими в металлах и сплавах при термической (ТО) и химико-термической обработке (ХТО), а также без учета взаимосвязи между диффузионными процессами и дефектами кристаллического строения (дислокациями, границами зерен). Актуальность такой работы связана также с необходимостью создания новых, ресурсо- и энергосберегающих технологических процессов ТО и ХТО, что требует от инженеров более глубокого понимания механизмов превращений в сталях и сплавах и механизмов формирования свойств.

Интенсивное развитие материаловедения в последние десятилетия привело не только к возникновению новых материалов и методов исследований, к переходу на наноуровень, но и к накоплению новых знаний о механизмах превращений и формирования конечных свойств. Это знания непосредственно используются при синтезе новых материалов. В связи с этим так называемая классическая триада материаловедения “состав + обработка → структура → свойства” в современных условиях должна быть дополнена как механизмами структурообразования при синтезе и обработке

материалов, так и механизмами, по которым структура обеспечивает те или иные свойства. Это схематично показано на Рис.1 (один из вводных слайдов к спецкурсу).



Рисунок 1. Обоснование необходимости спецкурса

Поскольку диффузионные процессы играют определяющую роль в механизмах фазо- и структурообразования (существует лишь одно бездиффузионное превращение - мартенситное), а дислокации (при повышенных температурах - и диффузия) во многом определяют свойства материалов, Рис. 1 наглядно иллюстрирует насущную необходимость создания данного спецкурса.

### Особенности и содержание спецкурса

В отличие от одноименных спецкурсов, которые читают на физических факультетах многих университетов, основное внимание уделено не математическим теориям диффузии и дислокаций (как это делают обычно), а механизмам фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах, в которых ведущую роль играет диффузия. Изложены механизмы формирования свойств материалов, связанные с дислокациями, диффузионными процессами и взаимодействием между ними. Такой подход мотивирован следующими соображениями: инженер-материаловед, понимающий сущность и механизмы превращений, сможет сам найти в литературе формулы, необходимые для инженерных оценок или расчетов. Однако, зная только формулы, восстановить по ним физико-химические механизмы процесса невозможно.

В связи с этим основные методы, использованные при подаче материала, формулируются в виде двух тезисов:

- 1) минимум формул, максимум физико-химических механизмов,

2) не только рассказывать, но и показывать.

Для построения и иллюстрирования логических связей и выделения механизмов фазо- и структурообразования использованы средства анимации. Это способствует лучшему пониманию сути рассматриваемых явлений и процессов и более глубокому усвоению студентами материалов спецкурса.

Спецкурс разделен на логические разделы. Использовано большое количество иллюстративных материалов, взятых из современной литературы, в том числе зарубежной: учебников, монографий и научных журналов. Описана роль объемной, зернограницной и поверхностной диффузии в формировании структуры и свойств материалов. Особое внимание уделено взаимодействию диффузионных потоков с точечными дефектами (один из примеров показан на Рис.2), которое определяет такое практически значимое явление как высокотемпературная ползучесть и некоторые другие. По каждому механизму структурообразования приведены фотографии получаемых микроструктур.

При изложении основ теории дислокаций акцент сделан не на математические формулировки, а на роль дислокаций в формировании основных механических свойств сплавов - прочности и пластичности. Изложены механизмы твердорастворного, дисперсионного, дисперсного и зернограницного упрочнения сплавов, которые заключаются во взаимодействии дислокаций с легирующими атомами и включениями. Особое внимание уделено механизмам возникновения трещин при низких и умеренных температурах (см. пример на Рис.3) и пор при высоких температурах (см. Рис.4), которые ответственны за разрушение материалов и изделий при их эксплуатации. Также подробно описаны механизмы разрушения и приведены фотографии изломов для каждого механизма.

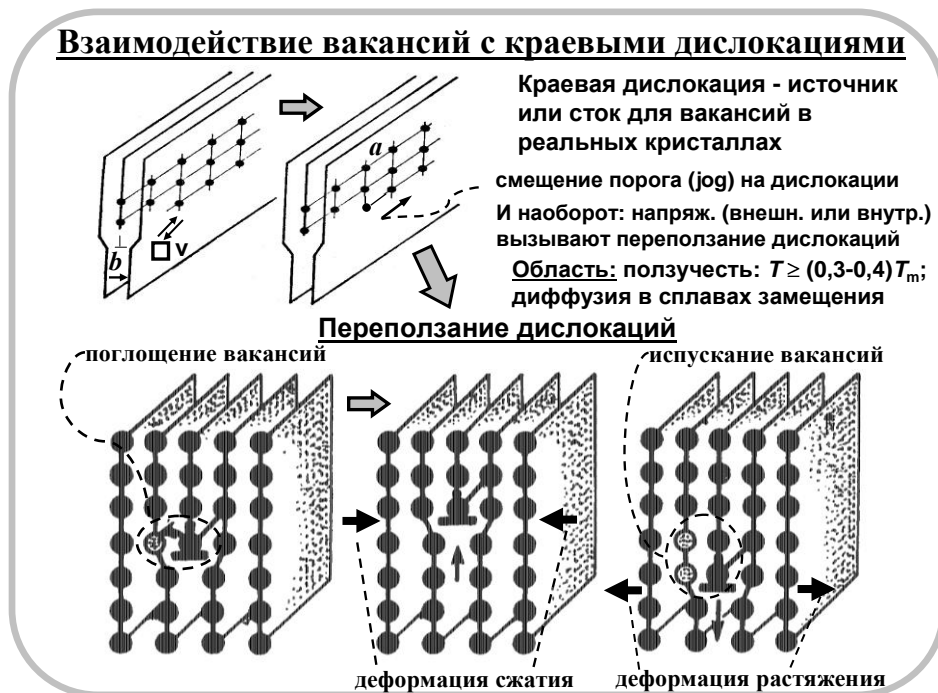


Рисунок 2. Механизм диффузионно-контролируемого переползания дислокаций



Рисунок 3. Некоторые механизмы формирования микротрещин



Рисунок 4. Механизм формирования и роста пор при ползучести

Поскольку во многих практически важных процессах в различных областях параметров (напряжение, температура) работают разные механизмы, связанные с диффузией и поведением дислокаций, возникает вопрос о взаимосвязи этих механизмов и областях их реализации. В связи с этим в спецкурс включены карты механизмов деформации в поликристаллических материалах - так называемые диаграммы Виртман-Эшби (см. пример на Рис. 5).



При изложении такой темы как многокомпонентная диффузия в твердых растворах, которая имеет место при ХТО, контакте различных сплавов и в сварных соединениях, акцент сделан не на хорошо разработанный математический аппарат теории диффузии, базирующийся на линейной неравновесной термодинамике (как обычно делают в курсах, читаемых на физических факультетах многих университетов), а на иллюстративный материал - в частности, на классические эксперименты Даркена (см. Рис.6).



Рисунок 5. Общий вид диаграммы механизмов деформации в поликристаллических материалах (диаграмма Виртман-Эшби)



Рисунок 6. Диффузия в многокомпонентном твердом растворе

При рассмотрении механизмов диффузионно-контролируемых фазовых превращений в данном спецкурсе, наряду с перлитным и аустенитным превращениями, изложен отсутствующий во многих классических учебниках механизм прерывистого распада пересыщенного твердого раствора, когда лимитирующей стадией является не объемная, а зернограничная диффузия по мигрирующим границам (Рис. 7). Этот механизм имеет место, в частности, в безникелевых нержавеющей сталях, легированных азотом.

В спецкурсе также уделено внимание таким процессам и механизмам, которые недостаточно описаны в русскоязычной учебной литературе, но детально изложены в иностранной - например, формирование в сплавах зон, свободных от выделений упрочняющей фазы (precipitate-denuded zones), что послужило причиной ряда аварий в гражданской авиации. В заключительной части показаны особенности диффузии в новых материалах, в том числе наноструктурных, и в новых методах их синтеза, таких как самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС), механическое легирование (МЛ) и некоторых других. В конце курса приведен список рекомендуемой литературы для самостоятельного чтения [1-14]. В настоящее время курс рассчитан на 20 лекций и содержит более 400 анимированных слайдов Power Point.



Рисунок 7. Механизм прерывистого распада твердого раствора

## Заключение

Таким образом, разработан новый спецкурс лекций “Основы теории диффузии и теории дислокаций” для студентов-материаловедов, магистрантов и аспирантов технических ВУЗов. Курс основан на современных представлениях о механизмах фазо- и структурообразования в

металлических материалах и формирования их свойств при ТО, ХТО и последующей эксплуатации.

#### Список используемых источников

1. Бельченко, Г.И. Основы металлографии и пластической деформации стали / Г.И. Бельченко, С.И. Губенко. - Киев-Донецк: Вища школа, 1987. - 240 с.
2. Бокштейн, Б.С. Диффузия в металлах. - М.: Металлургия, 1978. - 248 с.
3. Гегузин, Я.Е. Диффузионная зона. - М.: Наука, 1979. - 344 с.
4. Новиков, И.И. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки / И.И. Новиков, К.М. Розин. - М.: Металлургия, 1990. - 336 с.
5. Трушин, Ю.В. Физическое материаловедение. - СПб.: Наука, 2000. - 286 с.
6. Физическое металловедение / Под ред. Р.У. Кана, П. Хаазена. - М.: Металлургия, 1987, т.1 - 640 с., т.2 - 624 с., т.3 - 663 с.
7. Ashby, M.F. Engineering Materials / M.F. Ashby, D.R.H. Jones. - Oxford: Butterworth-Heinemann, 1996, v.1. - 322 pp.
8. Bhadeshia, H.K.D.H. Steels: Microstructure and Properties / H.K.D.H. Bhadeshia, R. Honeycombe. - Oxford: Elsevier, 2006. - 344 pp.
9. Cahn, R.W. The Coming of Materials Science. - Oxford: Elsevier, 2001. - 598 pp.
10. Heitjans, P. Diffusion in Condensed Matter: Methods, Materials, Models / P. Heitjans, J. Karger. - Berlin: Springer, 2005. - 965 pp.
11. Kaur, I. Fundamentals of Grain and Interphase Boundary Diffusion / I. Kaur, Yu. Mishin, W. Gust. - New York: J.Wiley and sons, 1995. - 590 pp.
12. Mehrer, H. Diffusion in Solids. - Berlin: Springer, 2007. - 651 pp.
13. Meyers, M.A. Mechanical Behavior of Materials / M.A. Meyers, K.K. Chawla. - Cambridge: Cambridge University Press, 2009. - 856 pp.
14. Smallman, R.E. Physical Metallurgy and Advanced Materials / R.E. Smallman, A.H.W. Ngan. - Oxford: Elsevier, 2007. - 672 pp.

# ОПТИМИЗАЦИЯ АППАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОФОРМЛЕНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

*Дворецкий Д.С., Поляков Б.Б., Столин А.М.  
НОЦ ТГТУ - ИСМАН "Твердофазные технологии"*

Технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) твердоплавных материалов включает основные стадии: приготовление шихты из порошкообразных реагентов, проведение собственно процесса высокотемпературного синтеза (сжигание шихты) и формование (уплотнение) пористых продуктов горения до беспористого состояния. Наибольшее развитие технология СВС и формования получила для изготовления изделий из твердых сплавов: режущих пластин, фильер, штампов, валков, электродов для наплавки и электроискрового легирования, мишеней для магнетронного и катодного распыления, изготовления изделий из новых безвольфрамовых твердых сплавов и т.д. [1].

Формование горячих продуктов СВС в пресс-форме при получении тугоплавких неорганических твердосплавных материалов осуществляется в цилиндрической пресс-форме. Она состоит (рис. 1) из подвижной части (пуансона) и неподвижной части (матрицы), полости которых являются негативным (обратным) отпечатком внешней поверхности заготовки изделия.

Из порошков металлов и неметаллов готовится многокомпонентная реакционная шихта в виде брикета. Брикет помещается в пресс-форму и пропусканием электрического тока через воспламенитель инициируется его горение. По окончании горения через определенное время задержки прессования  $t_3$  (1...5 с), необходимое для отвода примесных газов, в пресс-форме создается давление прессования  $P$  и выдержка (в течение определенного времени) прессуемого образца под этим давлением. Спрессованное изделие извлекается из пресс-формы и охлаждается. Длительность процесса СВС и формования не превышает 2...3 мин.

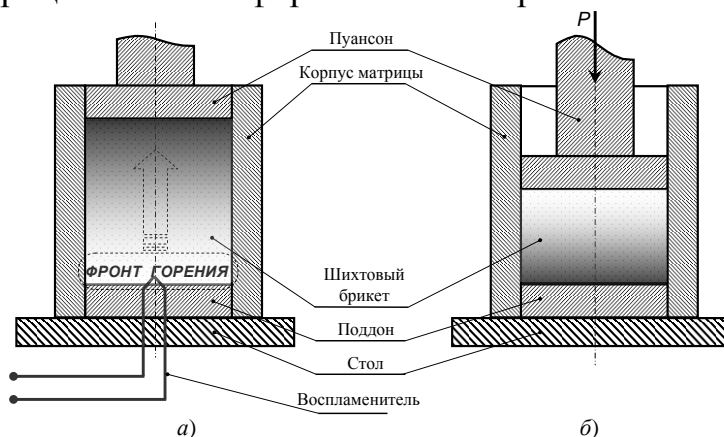


Рисунок 1. Схема процесса СВС-компактирования в пресс-форме: а – горение (синтез)–задержка; б – прессование–выдержка

Твердые сплавы, получаемые методом СВС и формования, называются синтетическими твердыми инструментальными материалами (СТИМ). Их основу составляют карбиды, бориды, нитриды, карбонитриды и другие соединения тугоплавких металлов (Ti, Zr, Nb, Ta и других).

Расчет пресс-формы для формования изделий цилиндрической формы из твердосплавных материалов предусматривает определение конструктивных размеров пресс-формы: внутреннего диаметра  $D$ , толщины стенки  $\delta$  и высоты  $H$ . Наиболее сложной задачей является определение толщины стенки, так как диаметр пресс-формы принимается равным диаметру требуемого СТИМ-изделия, а высота определяется по формуле  $H = H_0 + 2\delta$ , где  $H_0$  – начальная высота шихтового брикета формуемого материала. Толщина стенки выбирается с учетом выполнения условия прочности по нормальным напряжениям в стенке, возникающим в результате действия высоких температурных и механических нагрузок.

Для расчета нестационарного температурного поля в стенке пресс-формы при осуществлении процессов СВС и формования твердосплавных материалов в [2 - 4.] разработаны математическая модель и неизотермическая методика расчета толщины стенки пресс-формы. Модель включает уравнения теплопроводности и движения фронта горения шихты в пресс-форме с краевыми условиями; входными переменными модели являются время задержки прессования  $t_3$  и давление на плунжере пресса  $P$ . Вычислительный эксперимент показал, что наиболее высокие температуры ( $T = 500$  °С) развиваются в средней части пресс-формы и на внутренней поверхности ее стенки.

Образование твердых сплавов в пресс-формах протекает за короткий промежуток времени ( $t = 0,5 \dots 15$  с) при высоких температуре и давлении ( $T = 2000 \dots 3000$  °С,  $P = 100$  МПа). При этом в процессе теплопроводности наблюдается высокий градиент температуры по радиусу и высоте пресс-формы. В цилиндрической стенке возникают термоупругие напряжения, наличие которых обусловлено кратковременностью процесса СВС и неравномерной тепловой нагрузкой в стенке пресс-формы.

Предложенный в нашей работе [4] новый подход к тепловому расчету пресс-оснастки для осуществления процессов СВС и формования твердосплавных материалов учитывает специфику процесса теплопроводности, протекающего внутри пресс-формы, а именно, динамику и качественно различный уровень термической градиентности по толщине стенки пресс-формы.

Анализируя динамику процесса теплопроводности при осуществлении процессов СВС и формования твердосплавных материалов можно констатировать, что наиболее опасным моментом времени для разрушения материала пресс-формы можно считать  $t = t_3$ , когда начинается формирование горячих продуктов синтеза. Для данного момента характерны наибольший перепад  $\Delta T$  и градиент температуры  $\partial T / \partial r$  в стенке в ходе процесса формования, наибольшие значения термоупругих напряжений и необходимо

осуществлять проверку выполнения условий прочности и расчет толщины стенки пресс-формы.

Рассчитанное значение толщины стенки пресс-формы согласно выше приведенной методики без учета неопределенности технологических параметров и коэффициентов математической модели ( $U_r$ ,  $T_r$  и  $\lambda_1$ ) может привести к повреждениям пресс-формы в случае отклонения неопределенных параметров от номинальных значений. Для обеспечения работоспособности технологической оснастки СВС твердосплавных материалов и их формования и определения научно-обоснованного значения коэффициента запаса по конструктивным параметрам пресс-формы будем использовать постановку задачи оптимизации толщины стенки пресс-формы с учетом неопределенных параметров  $\xi = \{U_r, T_r, \lambda_1\}$ : требуется определить время задержки  $t_3^*$  и давление на плунжере пресса  $P^*$  ( $P \geq 90$  МПа) такие, что

$$\min_{\delta, t_3, P} M_{\xi} \{ \delta(t_3, P, \xi) \}, \quad (1)$$

при связях в форме

уравнений теплопроводности [2, 5, 6] в элементах пресс-оснастки:

в синтезируемом материале

$$\frac{\partial T_1}{\partial t} = a_1 \nabla^2 T_1 = a_1 \left( \frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_1}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} \right); \quad (2)$$

- теплоизоляторе

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} = a_2 \nabla^2 T_2 = a_2 \left( \frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_2}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial z^2} \right), \quad (3)$$

- корпусе пресс-формы

$$\frac{\partial T_3}{\partial t} = a_3 \nabla^2 T_3 = a_3 \left( \frac{\partial^2 T_3}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_3}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial z^2} \right), \quad (4)$$

уравнения движения фронта горения:

$$z_* = U_r t;$$

граничных условиях:

на границе материал–теплоизолятор:  $T_1 = T_2, -\lambda_1 \partial T_1 / \partial n = -\lambda_2 \partial T_2 / \partial n$ ;

на границе теплоизолятор–пресс-форма:  $T_2 = T_3, -\lambda_2 \partial T_2 / \partial n = -\lambda_3 \partial T_3 / \partial n$ ;

на границе пресс-форма–окружающая среда:  $-\lambda_3 \partial T_3 / \partial n = \alpha(T_3 - T_0)$ .

начальных условиях:

$$t = 0, T_1 = T_0, T_2 = \begin{cases} T_0, z \leq \delta + H_0 \\ T_r, \delta < z \leq \delta + \varepsilon \end{cases},$$

где  $\varepsilon$  – малая величина, которая выбирается из условия возможности начать численный счет; на фронте задано условие:

$$T(r, z_*, z_* / U_r) = T_r; \quad (5)$$

уравнений модели напряженно-деформированного состояния пресс-оснастки:

$$\sigma_r = -\frac{2Gg_1}{r^2} \int_{a_0}^r T r dr + \frac{2Gg_3}{r^2} \int_{a_0}^r \frac{\partial w}{\partial z} r dr - G \frac{\partial w}{\partial z} + (\lambda + G)a(z) + G \frac{a_0^2}{r^2} a(z) - \frac{2Gb(z)}{r^2}, \quad (6)$$

$$\sigma_\theta = -\frac{2Gg_1}{r^2} \int_{a_0}^r T r dr - 2Gg_1 T(r, z) + \lambda g_4 \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{2Gg_3}{r^2} \int_{a_0}^r \frac{\partial w}{\partial z} r dr + (\lambda + G)a(z) - G \frac{a_0^2}{r^2} a(z) + \frac{2Gb(z)}{r^2}, \quad (7)$$

$$\sigma_z = (\lambda g_4 + 2G) \frac{\partial w}{\partial z} - 2Gg_1 T(r, z) + \lambda a(z), \quad (8)$$

$$\tau_{rz} = \frac{G(g_1 + g_2)}{r} \int_{a_0}^r \frac{\partial T}{\partial z} r dr + G \frac{r^2 - a_0^2}{2r} a(z), \quad (9)$$

где  $g_i$  – постоянные величины ( $i = \overline{1,5}$ ), определяемые следующими выражениями:  $g_1 = \alpha_L (1+\mu)/(1-\mu)$ ;  $g_2 = 2\alpha_L (1+\mu)/(1-2\mu)$ ;  $g_3 = 1/2(1-\mu)$ ;  $g_4 = (1-2\mu)/2(1-\mu)$ ;  $g_5 = 1/(1-2\mu)$ ,  $r, z$  – радиальная и вертикальная координаты;  $R_1, R_2$  – внутренний и внешний радиусы пресс-формы;  $0,5 \leq k \leq 1$  – коэффициент передачи давления на стенку пресс-формы,  $w$  – перемещение в вертикальном направлении;  $\alpha_L$  – коэффициент линейного теплового расширения;  $E$  – модуль Юнга;  $\mu$  – коэффициент Пуассона;

и ограничениях:

– по температуре на внутренней стенке пресс-формы

$$g_1(\delta, t_3, \xi) = (\max_{\xi \in \Xi} \min_{t_3} T_1^c(\delta, t_3, \xi) - T_{кр}) \leq 0; \quad (10)$$

– по толщине пограничного слоя стенки пресс-формы

$$g_2(\delta, t_3, P, \xi) = \left( 10 - \max_{\xi \in \Xi} \min_{t_3, P} \left[ \delta_1(t_3, P, \xi) / \delta_1(\delta, t_3, P, \xi) \right] \right) \leq 0; \quad (11)$$

– по эквивалентному напряжению в стенке

$$g_3(\delta, t_3, P, \xi) = (\max_{\xi \in \Xi} \min_{t_3, P} \sigma_{\text{эКВ}}(\delta, t_3, P, \xi) - [\sigma]) \leq 0; \quad (12)$$

– по нормальным напряжениям в стенке

$$g_4(\delta, t_3, P, \xi) = (\max_{\xi \in \Xi} \min_{t_3, P} \sigma_{r,\theta,z}(\delta, t_3, P, \xi) - [\sigma_{r,\theta,z}]) \leq 0; \quad (13)$$

– по касательным напряжениям в стенке

$$g_5(\delta, t_3, P, \xi) = (\max_{\xi \in \Xi} \min_{t_3, P} \tau_{rz}(\delta, t_3, P, \xi) - [\tau_{rz}]) \leq 0. \quad (14)$$

Сформулированная задача (1)-(14) относится к классу одностадийных задач оптимизации в условиях неопределенности, и для ее решения будем использовать алгоритм, предложенный в нашей работе [7].

Результаты решения одностадийной задачи оптимизации на примере получения твердого сплава СТИМ-2А, СТИМ-2/30Н представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты решения задачи оптимизации конструктивных параметров и режимных переменных установки СВС твердосплавных материалов

Наименование переменных / параметров	Значения переменных / параметров	
	Без учета неопределенности	С учетом неопределенности
<b>Конструктивные параметры</b>		
Толщина стенки пресс-формы $\delta$ , мм	42	45
Высота пресс-формы	134	143
<b>Режимные (управляющие) переменные</b>		
Время задержки $t_z$ , мм	4,5	6,5
Давление прессования, $P$ МПа	100	90
<b>Критерий оптимизации</b>		
Толщина стенки пресс-формы $\delta$ , мм	42	45
<b>Значения функций ограничений</b>		
Температура на внутренней поверхности пресс-формы $T_1^c$ , °С	498,5	499,0
Толщина пограничного слоя $\delta_1$ , мм	4,2	4,5
Эквивалентные напряжения в стенке $\sigma_{\text{эkv}}$ , МПа / допустимое напряжение $[\sigma]$ , МПа	270 / 490	280 / 490
Максимальное значение компоненты нормальных напряжений $\sigma$ , МПа / допустимое напряжение на растяжение-сжатие $[\sigma]$ , МПа	483 / 490	342 / 490
Касательные напряжения $\tau$ , МПа / допустимое напряжение на сдвиг $[\tau]$ , МПа	232 / 240	238 / 240
Функция гибкости $\chi$	–	– 0,00019

Анализ результатов решения задачи оптимизации (таблица) показывает, что для обеспечения прочности конструкции толщина стенки пресс-формы и время задержки должны быть увеличены на 3 мм и 2 с, соответственно, а давление прессования снижено на 10 МПа по сравнению с результатами расчета пресс-формы без учета неопределенности.



Таким образом, можно утверждать, что определены конструктивные параметры установки для осуществления процессов СВС и формования твердосплавных изделий марок СТИМ-2А, СТИМ-2/30Н диаметром 65 мм ( $\delta = 45$  мм,  $H = 140$  мм, время задержки  $t_3 = 6,5$  с, давление формования  $P = 90$  МПа, материал – сталь 40Х), обеспечивающие ее нормальную работу независимо от случайного изменения неопределенных параметров  $U_T$ ,  $T_T$  и  $\lambda_1$  в заданных пределах.

#### Список используемых источников

1. Мержанов А.Г., Столин А.М. Силовое компактирование и высокотемпературная реодинамика // Инженерно-физический журнал. – 1992. – Т. 63, № 5. – С. 515–516.
2. Стельмах Л.С., Жилиева Н.Н., Столин А.М. Математическое моделирование тепловых режимов силового СВС-компактирования // Инженерно-физический журнал. – 1992. – Т. 63, № 5. – С. 623 – 629.
3. Stolin A.M., Stelmakh L.S. Mathematical Modeling of SHS compaction / Extrusion: An Autoreview // J. SHS. – 2008. – V. 13, № 1. – P. 53.
4. Стельмах Л.С., Столин А.М., Дворецкий Д.С. Неизотермический метод расчета пресс-оснастки установки компактирования горячих продуктов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза // Теоретические основы химической технологии.– 2010.– Т. 44, № 1. – С. 1 – 9.
5. Столин А.М., Стельмах Л.С. Математические модели СВС-технологий / Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: теория и практика.-Черноголовка, «Территория», 2001. – С. 122–156.
6. Жилиева Н.Н., Стельмах Л.С., Тепловые режимы СВС-прессования. // Тепло- и массообмен в химически реагирующих системах: Материалы Межд. школы-семинара.- Минск: ИТМО им. А.В.Лыкова АН БССР, Ч.2. 1989. – С. 44–53.
7. Дворецкий Д.С., Дворецкий С.И., Островский Г.М. Новые подходы к проектированию химико-технологических процессов, аппаратов и систем в условиях интервальной неопределенности. –М.: Издательский дом «Спектр», 2012. -344с.

# НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА И ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР

*Ткачев А.Г., Меметов Н.Р.  
ФГБОУ ВПО «ТГТУ», кафедра ТТПН*

Чрезмерно раздутый различными масс-медиа интерес к нанотехнологиям постепенно снижается. Одними из самых перспективных объектов на волне "популярности" называли углеродные нанотрубки (УНТ). Участвуя во всех проводимых выставках и форумах, проводимых корпорацией "РОСНАНО" мы ощутили это, как говорится, на себе. Если в 2008 году люди восторгались увиденным и делились радостными перспективами, то в 2011 году форум был больше похож на мероприятие, собравшее специалистов довольно узкой области. Вместе с тем следует отметить, что интерес к нанотехнологиям представителей различных отраслей стал более предметным и квалифицированным.

В частности, что касается многослойных углеродных нанотрубок, это просматривалось очень хорошо. Этими материалами стали интересоваться как ученые, так и представители инновационных компаний, четко понимающих, что это за материал, какие преимущества сулит его использование и какие трудности при этом могут возникнуть.

Анализ динамики продаж УНТ, производимых ООО "НаноТехЦентр", за последние четыре года однозначно свидетельствует о том, что интерес к этим продуктам растет, хотя и не так быстро как хотелось бы. Поэтому уже сегодня нужно задумываться о том, как сделать оборудование для синтеза УНТ более эффективным, а так же продолжать искать новые области применения УНТ.

В 2012 году специалистами ООО "НаноТехЦентр" совместно с учеными ФГБОУ ВПО ТГТУ была разработана новая конструкция реактора для синтеза многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ) увеличенной производительности. Анализируя недостатки существующей конструкции представленной на рисунке 1 можно выделить следующее:

- процесс напыления катализатора на диск-подложку требует точных аэродинамических режимов подачи газа, чтобы исключить неравномерность распределения материала и осаждение его вне диска;

- реактор работает в полунепрерывном режиме, что означает периодическую загрузку катализатора и выгрузку готового продукта без разгерметизации реактора. Эти две операции с учетом времени на осаждение катализатора достаточно длительны и составляют в общей сложности порядка 40 – 45 минут, что сопоставимо с временем самого синтеза;

- значительный объем реактора занимают нагревательные элементы, а процесс синтеза проходит на тонком слое катализатора, что приводит к нерациональному соотношению энергозатрат по сравнению с производительностью;

- для увеличения мощности производства необходимо увеличивать количество циклов синтеза, что приводит к повышенной нагрузке на конструкцию реактора и снижает долговечность эксплуатации.

В новой конструкции авторы постарались устранить указанные недостатки. В процессе проектирования авторам потребовалось устранить ряд противоречий, главное из которых заключалось в следующем.

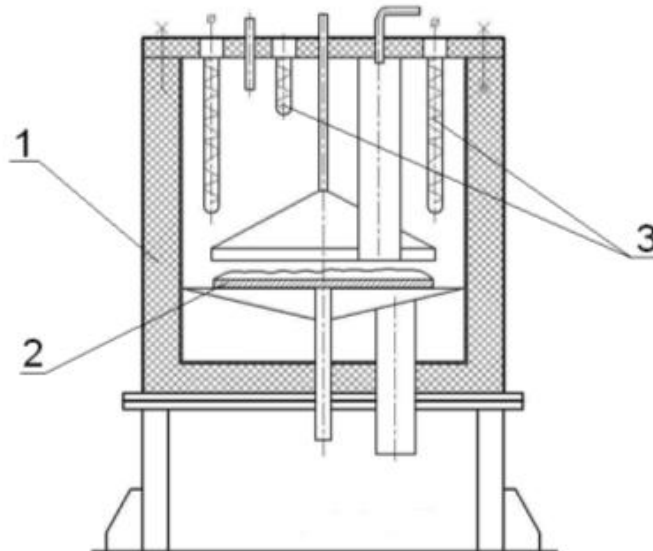


Рисунок 1. Конструкция реактора синтеза УНТ с катализатором на диске подложке.

Как известно одной из основных характеристик катализатора является его удельная геометрическая поверхность. Чем она выше, тем больше активных центров доступно для контактирования с газом, поэтому в исходной конструкции катализатор располагался тонким слоем (до 0,8 мм) на диске подложке. Однако, для повышения производительности реактора без увеличения его габаритов внутрь реакционной зоны придется помещать гораздо большее количество катализатора, что приведет к снижению эффективности его работы.

Было предложено помещать катализатор не в виде порошка, а в виде компактированных брикетов, состав которых подобран таким образом, чтобы работала поверхностная их часть. После того как масса выращенных на поверхности брикета УНТ достигает некоторого критического значения они под действием силы тяжести обрушаются вниз, открывая доступ к частицам катализатора для контакта с углеродсодержащим газом. Конструкция реактора представлена на рисунке 2.

Реактор работает следующим образом. Для первоначальной загрузки компактированный катализатор на специальных подвесках 1 помещается внутрь корпуса реактора 2. Реактор герметизируется, из него удаляется воздух, включаются нагреватели 4. По достижении температуры синтеза в реактор подается предварительно подогретая в теплообменнике 6 реакционная газовая смесь. Выращенный слой материала под действием акустического активатора 8 опускается в нижнюю часть реактора 5, где некоторое время продолжается рост МУНТ. Полученный продукт выгружается из реактора с помощью шнека 7 без разгерметизации реактора.

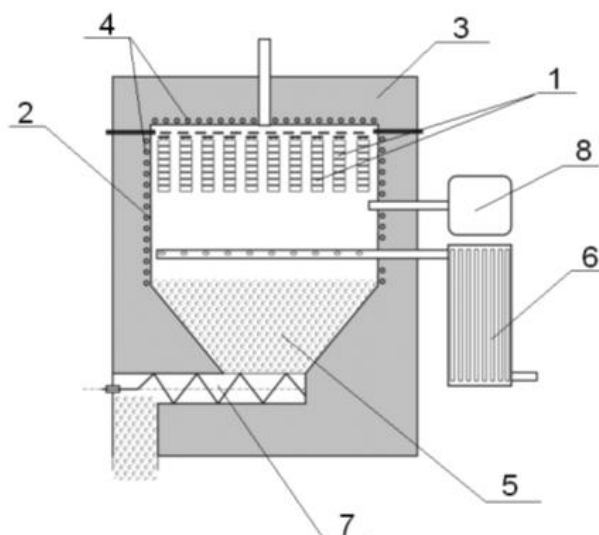


Рисунок 2. Реактор синтеза МУНТ с компактированным катализатором.

Такая конструкция позволила устранить указанные выше недостатки и сохранить принципы заложенные в предыдущей конструкции. В частности рост МУНТ происходит на неподвижном слое, что позволяет получать материал сравнительно легко в дальнейшем очищаемый и диспергируемый, в различных жидкостях до состояния практически отдельных нанотрубок.

Сравнительные технические характеристики конструкций реакторов приведены в таблице 1.

Сравнивая показатели приведенные выше, легко видеть, что при увеличении потребляемой мощности на 30 -40 %, удалось повысить производительность единицы оборудования на два порядка.

Таблица 1.  
Сравнительные технические характеристики конструкций реакторов.

	<b>С порошковым катализатором</b>	<b>С компактированным катализатором</b>
Производительность, т/год	1,5÷2,0	250÷300 и более
Материал	«Таунит»	«Таунит», «Таунит-М», «Таунит-МД» и др.
Принцип действия	Полунепрерывный	Полунепрерывный
Режим управления	Полуавтоматический	Автоматический
Принцип подачи сырья	Проточный	Замкнутый цикл
Количество циклов	5÷7	Неограничено
Мощность, кВт	35	45÷50
Степень превращения $C_xH_y$ , %	1,5÷2,0	1,5÷2,0

В заключении следует отметить, что опытная конструкция реактора уже изготовлена и в настоящее время успешно завершает опытную эксплуатацию на производственной площадке ООО «НаноТехЦентр».

# РАЗМЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ АНОДНОМ ПОВЕДЕНИИ И ПРОТЕКТОРНОМ ДЕЙСТВИИ ЦИНКОВОГО ПОРОШКА

*Вигдорович В.И., Панфилова Ю.В., Пудовкина А.Ю.  
Тамбовский государственный технический университет, Россия  
Кафедра «Химия наноматериалов»*

## **Введение**

В настоящее время широкое практическое применение находят антикоррозионные материалы самой различной природы и компонентного состава. Известные защитные композиции на масляной основе, протекторные системы на базе магния или цинка, ингибиторы различных типов. Однако, практически полностью отсутствуют данные о защитной эффективности микроструктурированных порошков электрохимически активных металлов, например цинка, вводимых в различные масляные фазы.

Вместе с тем, достаточно широко рекламируются и в ряде случаев используются цинкнаполненные лакокрасочные композиции [1, 2], содержащие до 97 масс. % цинкового порошка (здесь и далее всюду проценты по массе), использование которых не предусматривает возможности их многократной расконсервации и переконсервации. Следовательно, они не могут использоваться как составы для временной защиты металлоизделий и запасных частей. Напротив, наши предварительные исследования показали, что цинкнаполненные масляные композиции при высокой защитной эффективности позволяют до двух раз снизить концентрацию в масле цинкового порошкового протектора. Очевидно, микроструктурирование может существенно изменить поверхностные свойства протекторной фазы, а введение ее в жидкое связующее, компоненты которого способны сорбироваться на металле, - способно подавить электрохимическую активность таких материалов по отношению к кинетике анодной ионизации, саморастворению (при  $E_{кор}$ ) и протекторной способности.

По существу, на поверхности способны сорбироваться как молекулы углеводов за счет сравнительно слабого Ван-дер-Ваальсова взаимодействия, так и ПАВ, являющиеся обычно донорами электронов.

Целью настоящей работы явилось изучение протекторной способности цинкового порошка, используемого в качестве наполнителя масел различной природы, как растворителя-основы, при коррозии стали в хлоридной среде и кинетики его анодной ионизации в подобных условиях.

## **Методика эксперимента.**

Исследования проведены на стальном электроде (Ст 3), покрытом композицией на основе низкоэрукового рапсового масла (РМ) с жирнокислотным составом, представленным в таблице, содержащей 50 масс. % цинкового порошка, вводимого в качестве протектора, в 3 %- ном растворе NaCl (комнатная температура). В ряде случаев защитные материалы,

содержали дополнительно микрографит или многослойные углеродные нанотрубки.

Таблица 1.

Жирнокислотный состав низкоэрукового рапсового масла.

Кислота	Формула	$M_i$ , г/моль	$\omega_i$ , %
Пальмитиновая (гексадекановая)	$C_{16}H_{32}O_2$	256	3,5
Стеариновая (октадекановая)	$C_{18}H_{36}O_2$	284	1,6
Олеиновая	$C_{18}H_{34}O_2$	282	65,8
Вакценовая	$C_{18}H_{34}O_2$	282	0,5
Линолевая (октадекадиеновая)	$C_{18}H_{32}O_2$	280	19,5
Линоленовая	$C_{18}H_{30}O_2$	278	6,6
Арахидиновая (эйкозановая)	$C_{20}H_{40}O_2$	313	0,1
Гадолеиновая (эйкозеновая)	$C_{20}H_{38}O_2$	311	1,8
Эйкозодиеновая	$C_{20}H_{36}O_2$	308	0,05
Эруковая (доказеновая)	$C_{20}H_{42}O_2$	339	0,6
Нервоновая (тетракозеновая)	$C_{20}H_{46}O_2$	367	0,02

Стационарные потенциостатические поляризационные измерения проведены с использованием потенциостата П-5827М в трехэлектродной ячейке из стекла «Пирекс» с разделенными анодным и катодным пространствами. Потенциалы измерены относительно насыщенного хлорсеребряного электрода сравнения и пересчитаны по н.в.ш., вспомогательный электрод – гладкая платина.

Поляризация проведена с шагом потенциала 20 мВ (комнатная температура, воздушная атмосфера) и выдержкой 30 с на точке в случае электродов, покрытых пленками изучаемых составов.

Рабочий электрод из стали Ст 3 с горизонтальной рабочей поверхностью площадью 0,5 см<sup>2</sup> армировали в оправку из эпоксидной смолы ЭД-16, отвержденной полиэтиленполиамином марки Б, полировали, обезжиривали ацетоном и сушили фильтровальной бумагой. Толщина защитной пленки оценивалась гравиметрическим методом так же с точностью  $5 \cdot 10^{-5}$  г.

В масляные композиции вводили цинковый порошок марки ПЦ, выполняющий функцию протектора. Его состав по диаметру частиц, %: 0 ÷ 3 мкм – 50,5; 3 ÷ 4 мкм – 41,5; 4 ÷ 10 мкм – 1,3; 10 ÷ 25 мкм – 1; 25 ÷ 75 мкм – 0,4; 75 ÷ 150 мкм – 0,9; 150 ÷ 200 мкм – 0,9; 200 ÷ 300 мкм – 0,5; 300 ÷ 400 мкм – 0,5; 400 ÷ 600 мкм 0,5; более 600 мкм – 1,9.

В качестве углеродных частиц использовали графит следующего фракционного состава, масс. %: 0 ÷ 3 мкм – 50,5; 3 ÷ 4 мкм – 41,5; 4 ÷ 10 мкм – 1,3; 10 ÷ 25 мкм – 1; 25 ÷ 75 мкм – 0,4; 75 ÷ 150 мкм – 0,9; 150 ÷ 200 мкм – 0,9; 200 ÷ 300 мкм – 0,5; 300 ÷ 400 мкм – 0,5; 400 ÷ 600 мкм 0,5; более 600 мкм – 1,9 или многослойные нанотрубки МУНТ, являющиеся хорошо электропроводящим наполнителем. Параметры использованных МУНТ: наружный диаметр – 10 ... 20 нм, содержание аморфного углерода – 0,3 ...

0,5 %, удельная геометрическая поверхность не ниже  $12 \text{ м}^2/\text{г}$ , средний объем пор –  $0,22 \text{ нм}^3$ , средний эффективный размер пор – 7 нм.

Нанотрубки были получены каталитическим пиролизом пропан-бутановой смеси при  $600 - 650 \text{ }^\circ\text{C}$  на Ni/Mg катализаторе. МУНТ активировали в разбавленном растворе  $\text{HNO}_3$  для удаления фрагментов катализатора и дополнительно в течение двух часов при  $106 \text{ }^\circ\text{C}$  в смеси концентрированных  $\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{SO}_4 = 1:3$  в течение 2 ... 6 часов.

Исследования проведены на углеродистой стали Ст 3 состава, %: С – 0,2; Mn – 0,5; Si – 0,15; P – 0,04; S – 0,05; Cr – 0,30; Ni – 0,20; Fe – 98,36.

Концентрацию цинка, перешедшего в раствор, оценивали титрованием Трилоном Б с индикатором эриохромом черным Т, железа – титрованием тем же реагентом после предварительного введения персульфата натрия и кипячения с сульфасалициловой кислотой в качестве индикатора. На начальных стадиях переход железа в раствор контролировали качественной реакцией с  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ .

### **Экспериментальные результаты**

На рис. 1 приведены анодные поляризационные кривые массивного цинка (1) и цинкового порошка (50 %), находящегося в покрывающей сталь Ст3 масляной пленке на основе рапсового масла (2), и подобная же кривая, полученная по данным химического анализа 3 %-го раствора NaCl после 6-ти часовой выдержки электродной системы при каждом заданном анодном потенциале (3).

Анодная поляризационная кривая массивного цинка имеет характерный для этого металла тафелевский наклон, составляющий  $0,030 \text{ В}$ . Растворение его протекает в активном состоянии и при максимально используемой в работе плотности анодного тока металл не удается перевести в пассивное состояние (кривая 1). Цинк, находящийся в виде порошка в рапсовом масле, ведет себя существенно иначе. По данным, полученным посредством химического анализа, при сдвиге потенциала (E) исследуемой системы в анодную область на  $0,14 \dots 0,13 \text{ В}$  скорость его растворения ( $i_{\text{Zn}}$ ) в электрических единицах не зависит от E и существенно ниже, чем массивного цинка (кривая 1) в расчете в том и в другом случае на геометрическую поверхность электрода. И лишь при E, большем  $E_{\text{кор}}$  на  $0,15 \dots 0,20 \text{ В}$ , наблюдается экспоненциальное увеличение  $i_{\text{Zn}}$  с ростом анодной поляризации, соответствующее требованиям электрохимической кинетики, но с большим тафелевым наклоном ( $E < - 0,48 \text{ В}$ ). При  $E = - 0,48 \text{ В}$  появляется максимум пассивации, характеризующий переход цинкового порошка в пассивное состояние.

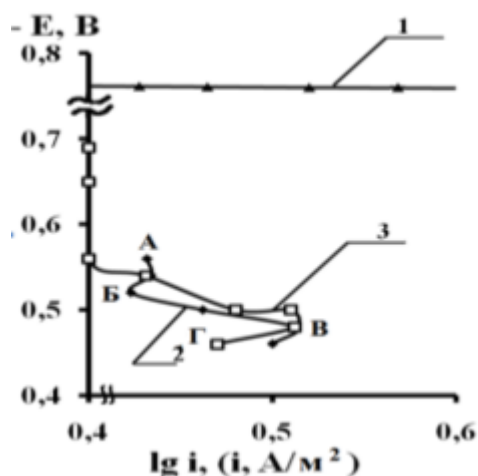


Рисунок 1. Анодные поляризационные кривые массивного цинка (1) и микроразмерного цинкового порошка (50 %), введенного в пленку на основе рапсового масла (2, 3) полученные в 3 %-м растворе NaCl (неподвижный электрод).

2 – внешняя анодная поляризация сразу после погружения системы «сталь/покрытие» в раствор.

3 – по данным химического анализа раствора на цинк при выдержке системы в течение 6-ти часов при каждом заданном потенциале.

Анодная поляризационная кривая цинкового порошка, находящегося в исследуемой электродной системе (рис. 1, кривая 2) полученная в результате внешней поляризации полностью совпадает с зависимостью в координатах  $\lg i_{Zn} - E$ , рассчитанной по данным химического анализа среды (кривая 3). На этой кривой 1 также хорошо видна область практической независимости  $i_{Zn}$  от  $E$  (участок АБ), правда ток в пассивном состоянии в последнем случае несколько больше, и несколько расширена область потенциалов первого пассивного состояния (до  $\sim -0,5$  В). Мы называем ее первой, так как после участка перепассивации опять-таки с тем же большим наклоном вновь наблюдается вторая область пассивации цинка (рис. 1). Причем  $E_{\text{пасс.}}^{\text{II}}$ , независимые от истинной площади поверхности металла и полученные различными методами, совпадают. Одновременно, наличие порошка цинка в масляной защитной пленке обуславливает потенциал коррозии исследуемой системы (цинк (в масле) – сталь 3), равный – 0,7 В (рис. 1, кривая 3). Таким образом, цинк в масляном покрытии при  $E_{\text{кор}}$  и его смещении в анодную область по крайней мере на 0,15 В находится в пассивном состоянии. Одновременно за счет навязывания системе такого отрицательного потенциала он обуславливает высокий протекторный эффект, что подтверждается полным подавлением ионизации железа, так как скорость коррозии стали, по данным качественной реакции с  $K_4[Fe(CN)_6]$ , практически равна нулю.

Подобная картина достаточно неожиданна. С одной стороны, переход порошка цинка в пассивное состояние увеличивает его стационарный потенциал всего на 0,1 В, обуславливая очень малый ток растворения, а с другой – практически нацело подавляет окисление стали.



Отметим, что пассивация цинка может быть обусловлена следующими обстоятельствами:

1. Его состоянием в виде порошка,
2. Влиянием масляного связующего,
3. Взаимовлиянием того и другого факторов одновременно.

Экспериментально можно оценить действие этих факторов. Нанесение на массивный цинк пленки рапсового масла увеличивает потенциал коррозии металла на 0,02 ... 0,03 В без следов перевода его в пассивное состояние. Двадцатикратное уменьшение площади рабочей поверхности цинка без защитной пленки также не влияет на его состояние и характер анодной поляризационной кривой, т.е. цинк находится в изученной области анодных токов в активном состоянии. И, лишь одновременное воздействие размерного фактора и наличия масла приводит к его пассивации. Таким образом, налицо микроразмерный (но не наноразмерный) эффект, наблюдаемый в специфических условиях. Благодаря ему цинк растворяется со значительно меньшей скоростью, чем в активном состоянии и одновременно обеспечивает высокий протекторный эффект. Следовательно, свойства металла существенно изменились при диспергировании, ведущем к значительному возрастанию доли поверхностных атомов, характеризующихся повышенной энергией, и дополнительном смачивании их эфирами глицерина и преимущественно непредельных одноосновных карбоновых кислот (составляющие рапсового масла).

Далее в работе изучалось влияние на поведение цинка еще двух факторов:

1. Наличия в качестве второго наполнителя масла микроструктурированного графита (МСГ).

2. Введения МУНТ вместо МСГ с целью выявления наноэффекта углеродной составляющей. Графит вводили в связи с тем, что ранее в [3] была показана возможность снижения концентрации цинка в защитной композиции в его присутствии без изменения защитной эффективности масляной пленки.

Наличие 1 % микрографита в покрытии того же состава (50 масс. % Zn) привело практически к тем же результатам (рис. 2), что и наблюдавшиеся ранее. В последнем случае несколько различаются лишь потенциалы пассивации, полученные из данных анодной поляризации и химического анализа раствора (рис. 2, кривые 2 и 3). И снижается наклон линейного участка кривых в области перепассивации. Но никаких принципиальных изменений в системе не произошло.

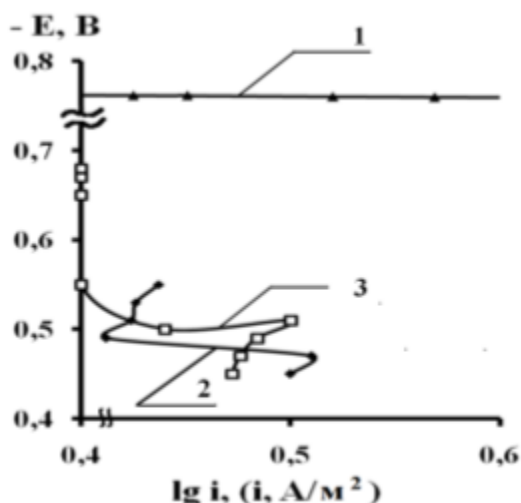


Рисунок 2. Анодные поляризационные кривые массивного цинка (1) и цинкового порошка (с 1 % МСГ), введенного в пленку рапсового масла (2, 3) в 3 %-м растворе NaCl.  
 2. – Внешняя анодная поляризация сразу после погружения в раствор.  
 3. – По данным химического анализа раствора на цинк при выдержке системы при фиксированном потенциале ( $E = \text{const}$ ) в течении 6-ти часов.

Существенных изменений в анодном поведении цинка не наблюдалось и при введении в защитную пленку вместо микрографита 1 % углеродных нанотрубок. Особенно четко это проявилось по данным химического анализа раствора (рис. 3 кривые 2 и 3). Различие заключается лишь в отсутствии вторичной пассивации, т.е.  $E_{\text{пасс}}^{\text{II}}$ , видимо, смещается в этом случае в положительную сторону, и несколько, но не принципиально, различаются по абсолютным значениям анодные токи при  $E = \text{const}$  в области потенциалов более  $-0,55$  В. Расхождение скорее всего связано с тем, что кривая 2 снята сразу после погружения в раствор системы «СтЗ/масляное защитное покрытие», когда ее стационарное состояние еще не было достигнуто.

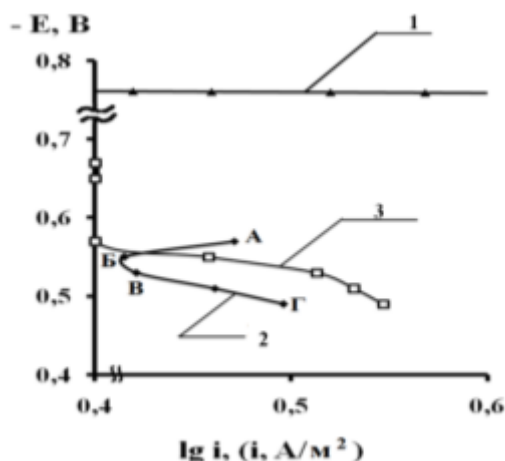


Рисунок 3. Анодные поляризационные кривые массивного цинка (1) и цинкового порошка (50 %) в присутствии 1 масс. % МУНТ (1, 2), введенного в пленку рапсового масла (1, 2) в 3 %-ном растворе NaCl.

2. Внешняя анодная поляризация сразу после погружения системы «сталь/защитное покрытие» в раствор.

3. По данным химического анализа раствора на цинк при выдержке системы при  $E = \text{const}$  в течении 6-ти часов.

Важно было выяснить, влияет ли наличие микроструктурированного цинка в масляном покрытии на анодное поведение стали. Соответствующие результаты приведены на рис. 4. В этом случае, по данным химического анализа раствора, железо начинает переходить в жидкую фазу только при смещении потенциала системы на 0,15 ... 0,20 В в анодную сторону. Причем и окисляющаяся сталь находится в пассивном состоянии (рис. 4, кривая 2), чего не наблюдается при нанесении на нее рапсового масла, не содержащего микроразмерного цинкового протектора [3 - 5]. Данные, полученные посредством анодной поляризации (кривая 1) и химического анализа раствора ( $E = \text{const}$ ) (кривая 2), практически совпадают (рис. 4).

Другой важной особенностью, связанной с нанесением цинкнаполненного масляного покрытия, является то, что железо в этих условиях растворяется при более отрицательных потенциалах и с большей скоростью чем, в отсутствие поверхностной цинкнаполненной защитной пленки (рис. 4, кривые 2 и 3).

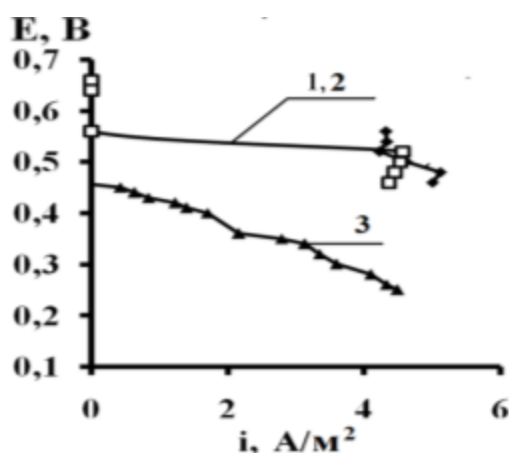


Рисунок 4. Анодные поляризационные кривые стали, покрытой пленкой композиции с 50 % цинка в рапсовом масле (1, 2), и массивного незащищенного образца Ст 3 (3) в 3 %-м NaCl. 1 - внешняя анодная поляризация. 2 - по данным химического анализа раствора на железо при выдержке исследуемой системы при фиксированном анодном потенциале ( $E = \text{const}$ ) в течение 6-ти часов.

Возникает естественный вопрос, почему в присутствии микроразмерного связующего цинк переходит в пассивное состояние, а железо, напротив, «активируется».

В случае цинка это, в первом приближении, можно объяснить зависимостью эффекта смачивания от размерного фактора. Если смачиваемость цинка водой с уменьшением его размера резко снижается, то вода может легко вытесниться с корродирующей поверхности маслом, что, естественно, тормозит в отсутствие  $H_2O$ , как реагента и активатора процесса, скорость окисления цинка и способствует переводу его в пассивное состояние. На наличие размерного эффекта смачивания указано в [6], где отмечается, что косинус краевого угла смачивания ( $\theta_r$ ) является функцией радиуса кривизны, согласно выражения:

$$\cos \theta_r = \cos \theta_0 + \frac{\chi}{r\sigma}, \quad (1)$$

где  $\theta_0$  – краевой угол смачивания на границе жидкость/твердое на плоской поверхности,  $\chi$  – константа,  $r$  – радиус кривизны и  $\sigma$  – поверхностное натяжение на той же границе. Из уравнения (1) следует, что снижение  $r$  повышает  $\theta_r$  и уменьшает смачивание. Если на поверхность цинка поступают  $H_2O$  и углеводороды, то влияние величины  $r$  на границы Ж<sub>1</sub>/Г и Ж<sub>2</sub>/Г может быть различным, что и приводит к наблюдаемым результатам.

Сложнее объяснить поведение железа. Не ясно, почему в присутствии микроразмерного цинка смачивание его водой ухудшается и металл активизируется. Активация, видимо связана с удалением следов влаги, пассивирующей железа. Однако, этот вопрос требует дополнительного изучения.

#### Список используемых источников

1. Фришберг И.В., Субботина О.Ю., Павлюкова О.Н., Лисовских В.Г. Цинкнаполненные материалы ВМГ для «холодного цинкования». Разработка, производство, применение. // Практика противокоррозионной защиты. 2004. № 2 (32). С. 26 – 37.
2. Останина Т.Н., Рудой В.М., Ярославцева О.В. и др. Оценка электрофизических свойств цинкнаполненных лакокрасочных покрытий. // Материалы научно-техн. конф. «Проблемы химии и химической технологии», Тамбов. 2003. С. 146 – 148.
3. Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Парамонов С.Ю., Минина И.Ю. Цинкнаполненные масляные защитные покрытия. Влияние добавок графита. // Практика противокоррозионной защиты. 2007. № 3 (45). С. 34-46.
4. Шель Н.В., Головченко А.О., Вигдорович В.И. Цинкнаполненные составы на базе отработавшего моторного масла, модифицированного углеродными добавками, как защитные композиции в условиях атмосферной коррозии стали. // Практика противокоррозионной защиты. 2011. № 2 (60). С. 36-44.
5. Шель Н.В., Головченко А.О., Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е. Цинкнаполненные консервационные материалы на масляной основе, модифицированные углеродными добавками. // Журнал прикладной химии. 2011. Т. 84. № 5. С. 773-780.
6. Сумм Б.Д., Иванова Н.И. Коллоидно-химические аспекты нанохимии – от Фарадея до Пригожина. // Вестник Московского гос. Ун-та. Серия 2. Химия. 2001. Т. 42. № 5. С. 300-305.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ ПОРОШКОВ\***

*Агеев Е.В., Латыпова Г.Р., Гладких А.В.*

*Юго-Западный государственный университет, Курск, [ageev\\_ev@mail.ru](mailto:ageev_ev@mail.ru)*

Анализ исследовательских работ в области твердых сплавов показывает, что большинство из них связано с вопросом экономии вольфрама. Этот вопрос имеет весьма актуальное значение в связи с дефицитом, дороговизной и непрерывным расширением областей применения вольфрама. С экономией вольфрама тесно связаны мероприятия по сбору отходов твердых сплавов и их переработка [1].

Одним из наиболее перспективных методов переработки отходов твердых сплавов, отличающийся относительно невысокими энергетическими затратами и экологической чистотой процесса, является метод электроэрозионного диспергирования (ЭЭД). Процесс ЭЭД – это разрушение токопроводящего материала в результате локального воздействия кратковременных электрических разрядов [2].

Широкое использование метода ЭЭД для переработки вольфрамсодержащих твердых сплавов в порошковые материалы с целью их повторного использования сдерживается отсутствием в научно-технической литературе полноценных сведений о физико-технологических свойствах порошков.

Целью настоящей работы являлось исследование удельной поверхности порошков карбида вольфрама, получаемых ЭЭД отходов вольфрамсодержащих твердых сплавов.

Удельная поверхность частиц влияет на поведение порошков при формовании и спекании, очень важна в гетерогенном катализе, адсорбции и для реакций на поверхности. Удельная поверхность порошка представляет собой сумму наружных поверхностей всех частиц, имеющих в единице его объема или массы. Она зависит от размера, формы и микроструктуры частиц. Для высокодисперсного порошка характерны величины удельной поверхности от единиц до нескольких десятков м<sup>2</sup>/г.

Удельная поверхность порошков, полученных ЭЭД твердых сплавов марок ВК8, Т15К6 и ТТ20К9 представлена на рисунке 1.

Кривые основных характеристик удельной поверхности порошков, полученных методом ЭЭД из отходов спеченных твердых сплавов марок ВК8, Т15К6 и ТТ20К9, представлены на рисунках 2 – 4.

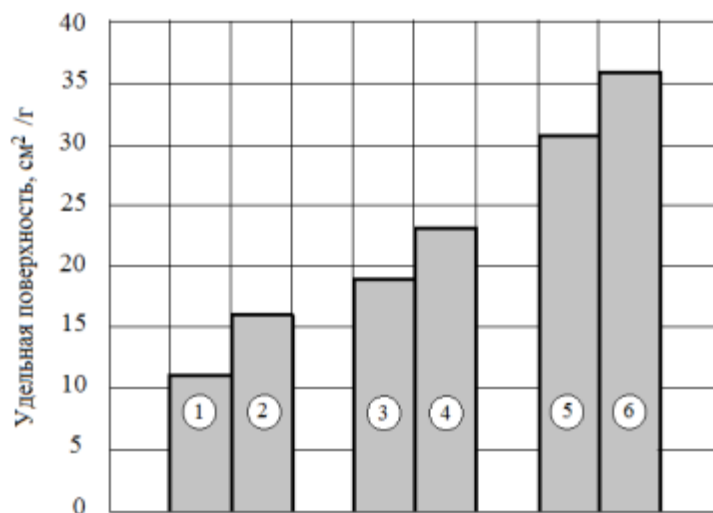


Рисунок 1. Удельная поверхность порошков, полученных ЭЭД твердого сплава марки: 1 – ВК8 в воде, 2 – ВК8 в керосине, 3 – ТТ20К9 в воде, 4 – ТТ20К9 в керосине, 5 – Т15К6 в воде, 6 – Т15К6 в керосине.

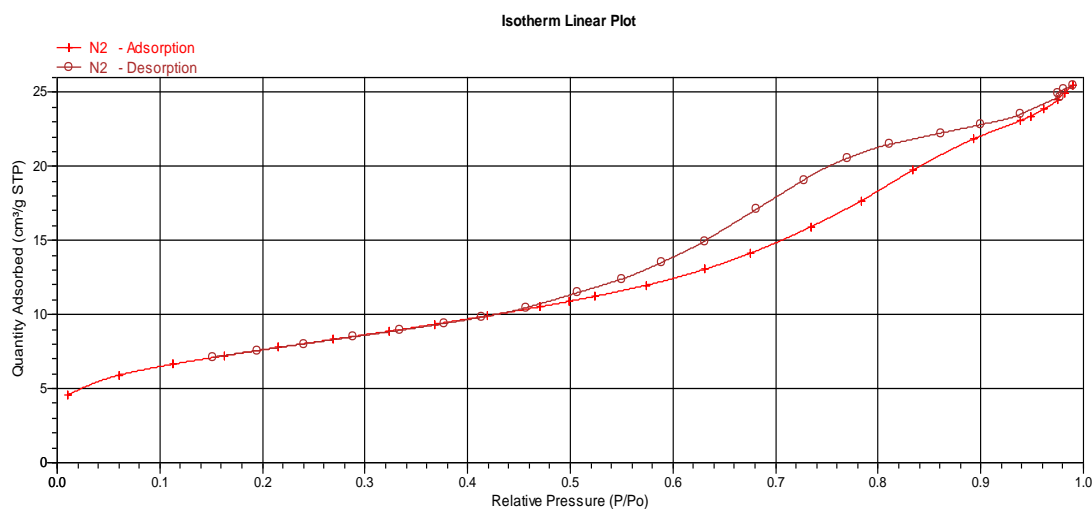


Рисунок 2. Кривая изотермы адсорбции и десорбции для исследуемого образца (Ось «X» – относительное давление  $P/P_0$ , где  $P$  – измеряемое давление,  $P_0$  – давление насыщения; ось «Y» – количество адсорбированного газа).

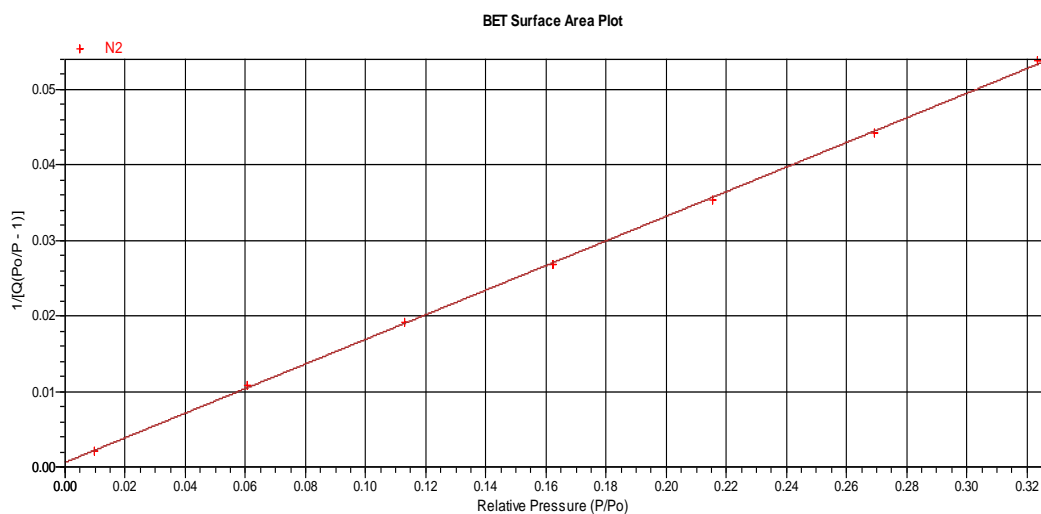


Рисунок 3. Кривая удельной поверхности по пятиточечному методу БЭТ.

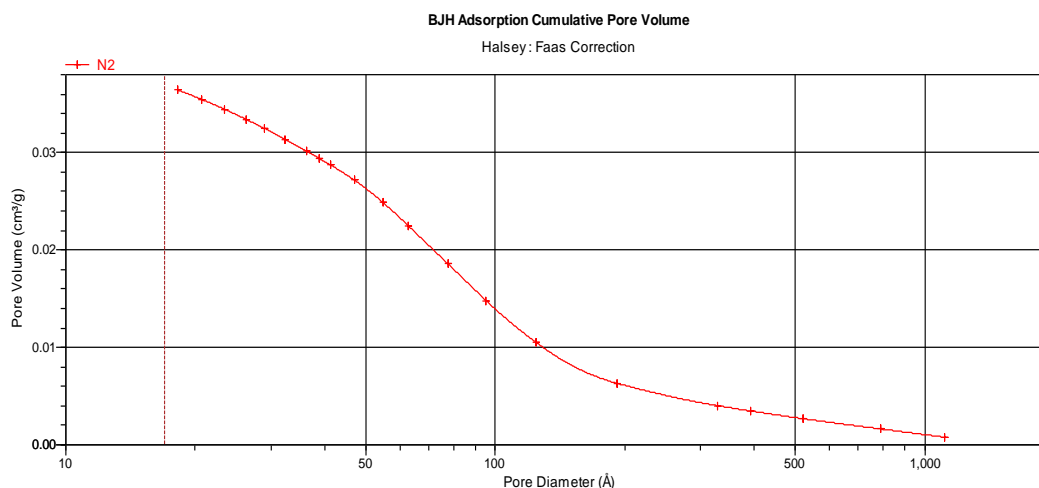


Рисунок 4. Зависимость диаметра пор от суммарного объема пор в образце (Ось «X» – диаметр пор (Å), ось «Y» – объем пор (см<sup>3</sup>/г)).

Таким образом, экспериментально установлено, что порошки из сплава ВК8 имеют меньшую удельную поверхность по сравнению с порошками из сплавов ТТ20К9 и Т15К6. Отмечено также, что порошки, полученные в керосине осветительном большую удельную поверхность по сравнению с порошками, полученными в воде дистиллированной, поскольку имеют меньшую дисперсность.

#### Список используемых источников

1. Анциферов, В.Н. Порошковая металлургия и напыленные покрытия [Текст] / В.Н. Анциферов, Г.В. Бобров, Л.К. Дружинин. – М.: Металлургия, 1987. – 792 с.
2. Агеев, Е.В. Выбор метода получения порошковых материалов из отходов спеченных твердых сплавов [Текст] / Е.В. Агеев, Б.А. Семенихин // Известия Самарского научного центра РАН. – Самара: Изд-во Самарского науч. ц-ра РАН. – 2009. – Спец. вып.: Актуальные проблемы машиностроения.– С. 12–15.

*\*Работа выполнена в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.*

# ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОБРАЗЦОВ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА И КОМПОЗИТОВ НА ЕГО ОСНОВЕ\*

*Худяков В.В.,<sup>1</sup> Мещерякова Ю.В.,<sup>1</sup> Юрков Г.Ю.,<sup>2</sup> Баронин Г.С.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>-Тамбовский государственный технический университет,  
НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии», Тамбов  
[profnoctt@mail.ru](mailto:profnoctt@mail.ru)*

*<sup>2</sup>-Институт металлургии и проблем материаловедения РАН  
им. А.А. Байкова, Москва*

При создании конструкционных полимерных материалов с заданными свойствами часто возникает задача регулирования теплофизических свойств, таких как, теплопроводность, удельная теплоемкость и температуропроводность. Теплофизические свойства полимеров имеют большое значение, т.к. от них зависят технологические и эксплуатационные показатели материалов.

Настоящая работа посвящена исследованию теплофизических свойств полимеров и композитов на их основе с использованием модернизированного прибора DSC-2 производства фирмы «Perkin-Elmer», работающего по методу дифференциальной сканирующей калориметрии и информационно – измерительной системы (ИИС) неразрушающего контроля (НК).

Объектом исследования является политетрафторэтилен (ПТФЭ). Модифицирующими добавками служат кобальто-фторорганический порошок (КоФП), кремний-фторорганический порошок (КФП) и титано-фторорганический порошок (ТФП), полученные по новой технологии [1, 2].

Дифференциально-сканирующий калориметр позволяет определять удельную скорость поглощения энергии образцами при различной температуре. Информационно – измерительная система неразрушающего контроля позволяет определять теплопроводность и температуропроводность материала.

На рисунке 1 приведена зависимость максимальной скорости поглощения энергии образцов полимерной системы политетрафторэтилена с модифицирующей добавкой – кобальто-фторорганический порошок (ПТФЭ + КоФП) от массовой части КоФП.

Из рисунка видно, что для ПТФЭ с модифицирующими добавками характерно увеличение удельной скорости поглощения энергии образцов по сравнению с исходным ПТФЭ.



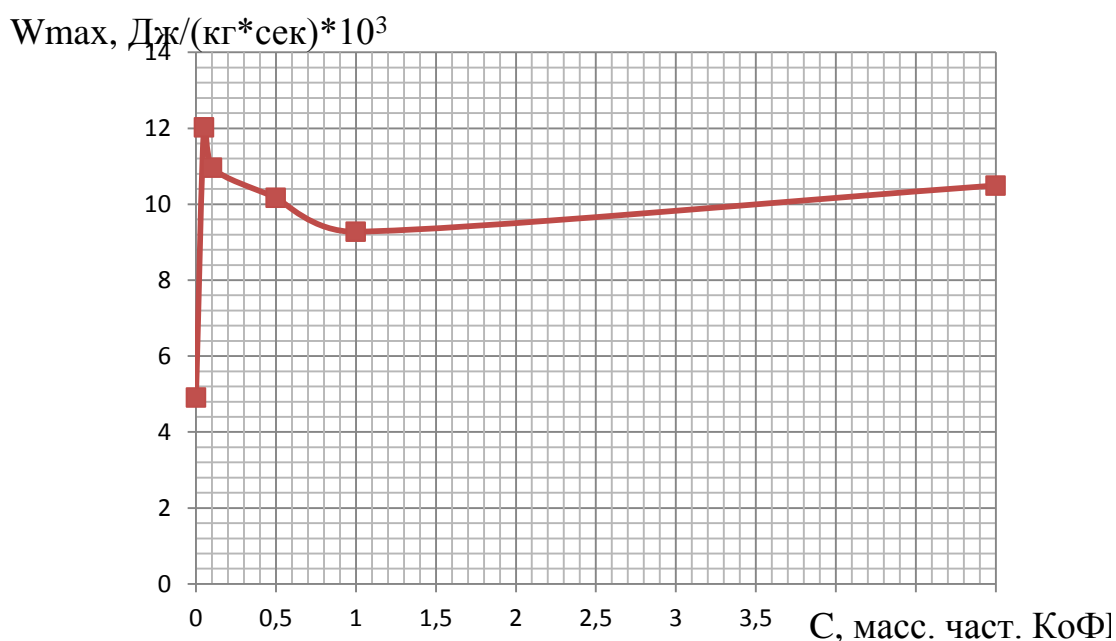


Рисунок 1. График зависимости максимальной скорости поглощения энергии образцов полимерной системы ПТФЭ + КоФП от массовой части КоФП.

При изучении графиков зависимости максимальной скорости поглощения энергии образцов, теплопроводности и температуропроводности полимерной системы ПТФЭ + КоФП от массовой части КоФП (рисунок 1,2,3) наблюдается увеличение данных показателей в области малых добавок.

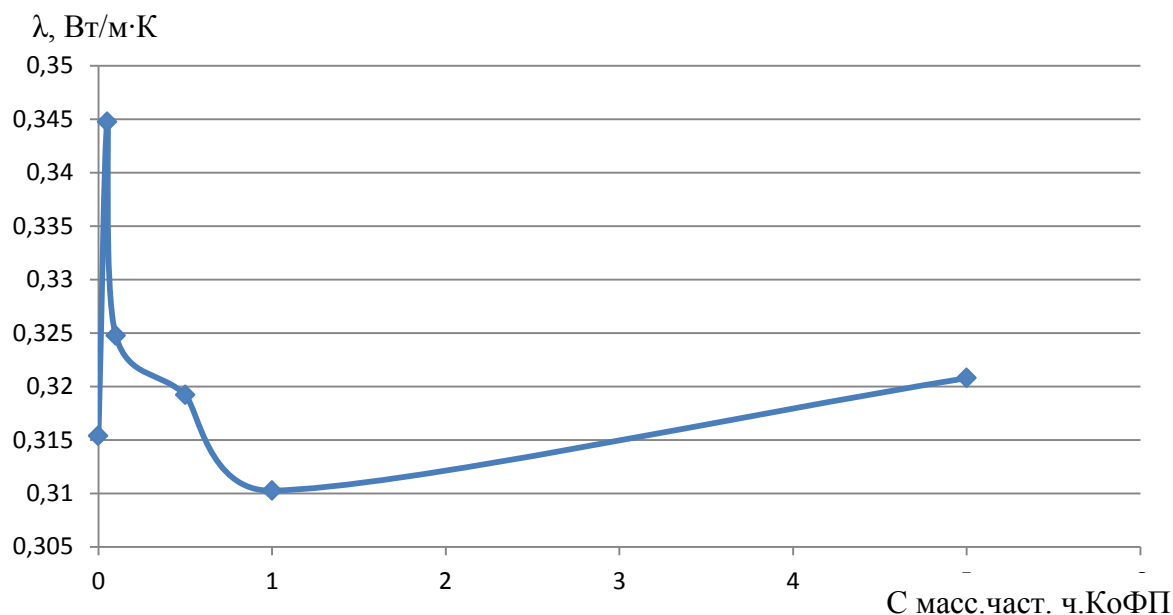


Рисунок 2. График зависимости теплопроводности образцов от концентрации добавки КоФП.

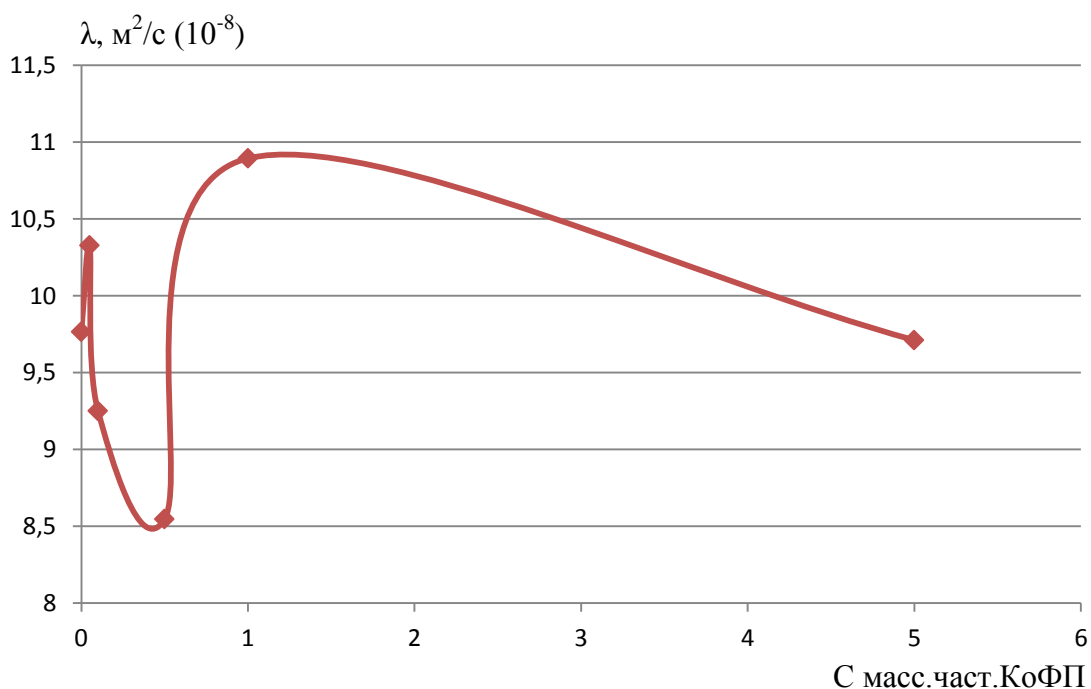


Рисунок 3. График зависимости температуропроводности образцов полимерной системы ПТФЭ+КоФП от концентрации добавок КоФП.

Таким образом, теплофизические свойства полимерной системы ПТФЭ+КоФП в области малых добавок (до 1 масс.част.) имеют экстремальный характер, а дальнейшее увеличение модифицирующей добавки не приводит к увеличению теплофизических показателей, график приобретает монотонный характер. Аналогичные результаты наблюдались и для образцов ПТФЭ с другими модифицирующими добавками, полученными по новой технологии [1].

#### Список используемых источников

1. Кантаев, А.С. Фторидная технология производства композиционных материалов с использованием оксидов титана и кремния при переработке политетрафторэтилена: автореф. диссерт. На соискание уч.ст.кан. тех. наук / А.С. Кантаев.- Томск: 2012.-24 С.
2. Влияние структурных фторопластов на кинетику уплотнения фторопластов различных марок / Д.В. Пугачёв, В.М. Бузник, А.М. Столин, Ю.Е. Вopilов, Г.С. Баронин // Вестник ТГТУ. -2011 г. - №2. –С. 552-562.

*\*Работа выполнена в рамках Госзадания Минобрнауки на 2012 г. Тема №6ГЗ/12 «Разработка физико-материаловедческих и реологических принципов управления формированием микроструктуры композиционных материалов в условиях ИПД с наложением электрофизического воздействия энергетических полей» и поддержана Грантом президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ РФ код проекта НШ – 3550.2012.3.*

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Кацуба Д.С., Rogov И.В., Жуков Н.П.*

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»  
[teplotehnika@nnn.tstu.ru](mailto:teplotehnika@nnn.tstu.ru)*

В настоящее время в связи с созданием техники, излучающей широкий спектр электромагнитных колебаний, всё острее становится проблема электромагнитной совместимости технических средств и проблема обеспечения экологической безопасности среды обитания [1].

Наиболее перспективными материалами для использования в качестве экранов электромагнитного излучения являются полимерные композиционные материалы (ПКМ), состоящие из непроводящей полимерной матрицы и дисперсного проводящего наполнителя. Полимерные композиции с электропроводящими наполнителями (дисперсные металлические частицы, металлические и углеродные волокна, сажа и т.д.) достигли того технического уровня, при котором они выдерживают конкуренцию с традиционными электропроводящими материалами, например, металлами [1].

В качестве связующих для высокопрочных ПКМ в ответственных конструкциях широко применяются различные связующие на основе эпоксидных олигомеров – ЭД-20, ЭДФ, ЭХД-МК, ЭХМ-МД, DEN и др. Эпоксидные олигомеры имеют такие достоинства, как хорошие прочностные свойства, низкую усадку при отверждении, высокую термостойкость [2 – 10].

В данной работе экспериментальные исследования температурных зависимостей теплопроводности проводились на образцах, предоставленных РХТУ им. Д.И. Менделеева, из эпоксиноволачной смолы DEN 425, отверждённой метилэндиковым (МЭА) ангидридом дикарбоновой кислоты. В качестве ускорителя использован 2,4,6– трис (диметиламинометил) фенол (УП 606/2), в качестве наполнителей применены многослойные углеродные нанотрубки (УНТ) в растворе Лапролат-301 (Лапролат-301 – олигоэфирциклокарбонат).

Исследования температурных зависимостей теплопроводности ПКМ, содержащих углеродные волокна, проводили на измерительной системе (ИС), позволяющей в одном краткосрочном эксперименте определять температурные зависимости теплопроводности твердых материалов через определяемые программно интервалы температуры.

Для измерения теплопроводности в измерительной системе используется метод динамического  $\lambda$  – калориметра. Схема ИС представлена на рис. 1. ИС состоит из персонального компьютера (ПК), встраиваемой в компьютер измерительно-управляющей платы РС1-1202Н, тепло-измерительной ячейки (ТИЯ) и регулируемого блока питания (БП).

Фиксирование температуры в заданных точках контроля осуществляется термоэлектрическими преобразователями (ТП).

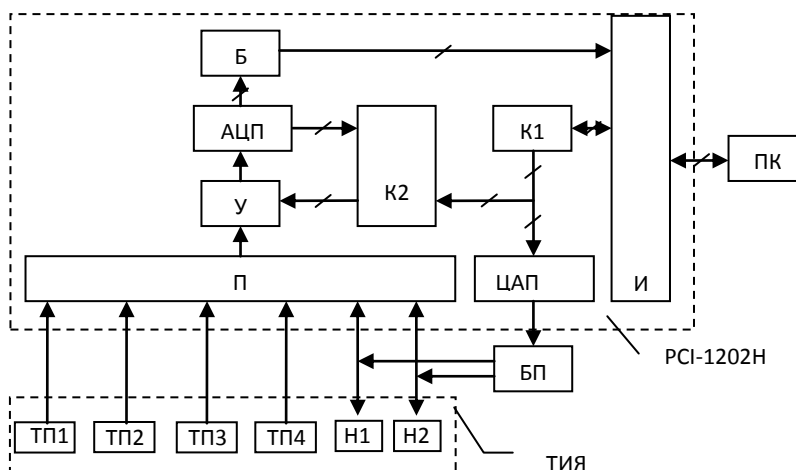


Рисунок 1. Структурная схема измерительной системы.

Мощность и длительность теплового воздействия встроенных в основание ТИЯ нагревателей (Н1) и (Н2) задаются программно через интерфейс (И), контроллер К1, цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) и БП. Сигналы с термоэлектрических преобразователей и блока питания поступают через мультиплексор (П), усилитель (У), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), буфер обмена (Б) и интерфейс в персональный компьютер. Контроллер К2 обеспечивает необходимый порядок опроса каналов и различные диапазоны измерения на каждом из них.

Сбор информации производится при нагреве. Обработка результатов измерений существенно упрощена благодаря разработанному программному обеспечению, входящему в ИС.

Как известно, введение наполнителей или модификаторов в полимер влияет на теплопроводность, причем численное значение теплопроводности  $\lambda$  композиционного материала будет определяться не только количеством введенной добавки, но и характером её взаимодействия с полимерной фазой [2].

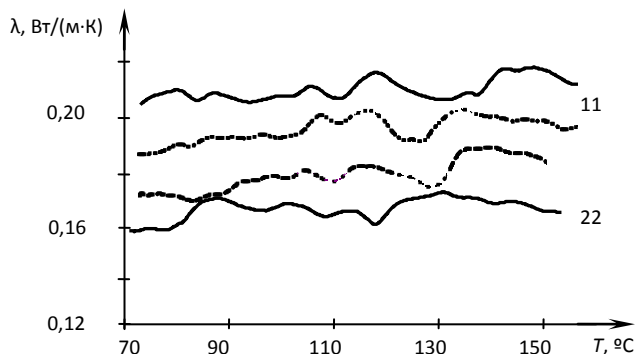


Рисунок 2. Зависимости теплопроводности композиционных материалов (с наполнителем) от температуры. Количество наполнителя: 1 – исходный материал; 2 – 0,7%; 3 – 1,5%; 4 – 2%.

На рис. 2 представлены экспериментальные данные, полученные в опытах с образцами из композиционных материалов на основе эпоксисилокисной смолы. Наполнение эпоксисилокисной смолы DEN 425 углеродными нанотрубками существенно понижает теплопроводность материала (на 25%) во всём исследуемом интервале значений температуры (70...160 °С), фактически не меняя характера кривой.

#### Список используемых источников

1. Вовченко Л.Л. Поглощение электромагнитных волн в композитах графит-эпоксидная смола / Л.Л. Вовченко, Л.Ю. Мацуй, В.В. Олейник, В.Л. Лаунец // Журнал «Пластические массы». – 2008. – №9. – С. 30 – 33.
2. Эпоксидные олигомеры и клеевые композиции / Ю.С. Зайцев [и др.]. – Киев: Наукова Думка, 1990. – 200 с.
3. Осипчик В.С. Исследование свойств модифицированных эпоксисодержащих олигомеров / В.С. Осипчик, С.А. Смотров, А.Я. Томильчик // Журнал «Пластические массы». – 2011. – №2. – С. 4 – 7.
4. Создание эпоксидных связующих нового поколения для ПКМ, используемых при изготовлении агрегатов натурной конструкции ЛА и их ДПМ / С.А. Смотров, В.С. Осипчик, А.В. Смотров // Механика и наномеханика структурно-сложных и гетерогенных сред. Успехи, проблемы, перспективы. Сборник трудов Всероссийской конференции под ред. проф. Ю.Г. Яновского. – М.: ИПРИМ РАН, 2010. – С. 58 – 63.
5. Чернин И.З. Эпоксидные полимеры и композиции / И.З. Чернин, Ф.М. Смахов, Ю.В. Жердев // М.: Химия, 1982. – 230 с.
6. Лапицкий В.А. Физико-механические свойства эпоксидных полимеров и стеклопластиков / В.А. Лапицкий, А.А. Крицук // Киев: Наукова думка, 1986. – 94 с.
7. Эпоксидное связующее для полимерных композиционных материалов / О.И. Сидоров, М.А. Юсуфов // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. 2000. №4, С. 126 – 128.
8. Оптимизация технологические параметров переработки эпоксидных связующих при создании изделий из композиционных материалов / О.И. Сидоров, М.А. Юсуфов // Конверсия в машиностроении. – 2002. – №2. – С. 99 – 102.
9. Углеродные волокна: Пер. с япон. / Под ред. С. Симамуры. – М.: Мир, 1987. – 304 с.
10. Композитные материалы. Механика и технология / Ф. Мэттьюз, Р. Роллингс // Пер. с англ. – М.: Техносфера, 2004. – 408 с.

# ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТВЕРДОФАЗНОЙ ЭКСТРУЗИИ ПОВЕРХНОСТНЫМ НАСЫЩЕНИЕМ И ПЛАСТИФИКАЦИЕЙ ЗАГОТОВОК ПОЛИМЕРА\*

*Комбарова П.В., Баронин Г.С., Хабаров С.Н.*  
*Тамбовский государственный технический университет*  
*НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии»*  
*Baronin-gs@yandex.ru*

Рынок промышленных изделий из полимеров является быстроразвивающимся, среднегодовые темпы роста потребления изделий из полимеров производственного назначения составляют 12%. Во многих отраслях промышленности России наблюдается дефицит быстроизнашивающихся деталей оборудования. В этой связи для решения задач по широкому освоению ресурсосберегающих технологий в этих отраслях большое место отводится созданию новых конструкционных материалов с высокими эксплуатационными показателями и технологии производства готовой продукции [1].

Одной из ресурсо- и энергосберегающей является твердофазная технология обработки полимеров и композитов на их основе. При такой технологии из-за снижения скорости релаксационных процессов материала твердофазной заготовки в отличие от расплава происходит значительная ориентация полимерных цепей, что позволяет получать изделия с более высокими эксплуатационными характеристиками. В предлагаемой работе стадию нагрева заготовки заменили на стадию кратковременного поверхностного насыщения заготовки неорганическим веществом, что позволяет улучшить скольжение и ориентацию цепей полимера [2].

Целью исследования стала интенсификация твердофазной экструзии поверхностным насыщением и пластификацией заготовок полимера.

В качестве базового материала использовался полиамид-6, модификатор - углеродный наноматериал, производства ООО «Нанотехцентр» (г. Тамбов). В работе использовались методы линейной дилатометрии, зонального диффузионного метода, дифференциальной калориметрии, определение значений твердости по Шору, прочности в условиях срезающих напряжений.

Анализ дилатометрических кривых усадки образцов полиамида-6, прошедших обработку давлением в твердой фазе, показывает, что наиболее оптимальной композицией является композиция ПА+0,05 масс. част. УНМ, так как наблюдается наименьшая усадка экструдата в результате поднятия температуры, то есть отмечается наибольшая геометрическая стабильность полученного образца. Для образцов из полиамида-6+0,05 масс. част. УНМ с помощью дифференциальной сканирующей калориметрии отмечен температурный интервал плавления 222-235°C. Испытания зональным диффузионным методом показали, что максимальную абсорбционную

способность проявляет ПА-6 по отношению к ацетону. Таким образом, поверхностная обработка ацетоном позволяет снизить твердость образцов на стадии подготовки к твердофазной экструзии, т.е. повысить пластичность материала и тем самым снизить давление формования с 280 МПа до 130 МПа для пластифицированного композита ПА+0,05 масс. част. УНМ по сравнению с чистым не пластифицированным. Кроме того, применение обработки давлением в твердой фазе позволяет восстановить первоначальную твердость образцов. Оценивая физико-механические показатели в условиях напряжений среза полимерных композитов, прошедших обработку давлением в твердой фазе в сравнении с полимером, переработанным литьем под давлением ( $\sigma_{cp} = 55$  МПа), следует отметить существенное повышение прочностных характеристик материала в направлении, перпендикулярном ориентации. Наибольшее повышение прочности в условиях среза образцов с предварительной обработкой в ацетоне наблюдается для чистого полимера ( $\sigma_{cp} = 113$  МПа), чем для содержащего 0,05 масс. част. УНМ ( $\sigma_{cp} = 100$  МПа), что возможно объяснить специфическим лимитирующим воздействием пластификаторов на модифицирующую добавку, не позволяющую ей проявить полностью свои упрочняющие свойства.

Таким образом, получен композиционный полимерный материал с улучшенными эксплуатационными свойствами. Изделия из данного материала смогут заменить на рынке аналогичные металлические изделия, работающие при низких и средних нагрузках.

#### Список используемых источников

1. [http://www.elefoam.ru/stiropor\\_market/perspective](http://www.elefoam.ru/stiropor_market/perspective)
2. Способ подготовки заготовок из термопластичных полимерных композиционных наноматериалов для обработки давлением в твердой фазе / Г.С. Баронин, В.М. Дмитриев, П.В. Комбарова, Д.О. Завражин, Д.Е. Кобзев, А.Г. Ткачев. Патент РФ № 2446488 от 9.03.2010.

*\*Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (ГК 14. 740. 11. 1253).*

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ ПО ИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ФЛУКТУАЦИЯМ

*Ивановский В.А.*

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов,  
[iwanows@yandex.ru](mailto:iwanows@yandex.ru)*

Для полноценной диагностики состояния полимерной системы и исследования особенностей процессов молекулярной подвижности ее подсистем может быть использован метод электромагнитных флуктуации (МЭФ), позволяющий обнаруживать изменение макроскопических характеристик анализируемых объектов и формулировать закономерности, которым они подчиняются [1]. Этот факт дает возможность определять и теплофизические характеристики полимеров [5,6,7].

Основная измеряемая характеристика электромагнитных флуктуаций - источника измерительной информации - это напряжение, возникающее на зажимах емкостного измерительного преобразователя с исследуемым материалом в качестве диэлектрического слоя (рисунок 1)  $u_{\text{ППП}}(t, T)$  и усиленное предварительным малошумящим усилителем, зависящее явно от времени  $t$  и температуры  $T$ .

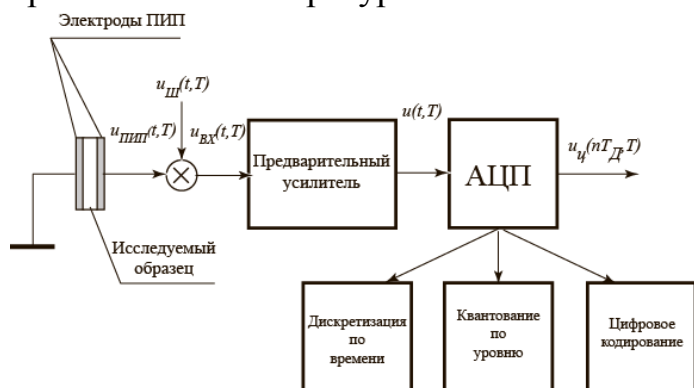


Рисунок 1. Общая схема измерения флуктуационного напряжения  $u_{\text{ППП}}(t, T)$  на зажимах первичного измерительного преобразователя.  $u_{\text{ш}}(t, T)$  - суммарное напряжение шума входной части измерительного устройства.

Выходной сигнал  $u(t, T)$  усилителя преобразуется в цифровой сигнал  $u_c(nT_D, T)$  с временем дискретизации  $T_D$ . Величина  $nT_D$  определяет общее время наблюдения сигнала измерительной информации.

Значение флуктуирующей величины в момент времени  $t$  определяется двумя факторами: насколько система «помнит» свое предыдущее состояние в момент  $t - \tau$ , т.е. насколько медленно релаксируют ее параметры после предыдущего случайного возмущения и как сильно она изменила свое состояние вследствие любых взаимодействий, которые произошли за период  $t + n_i \tau$ , где  $\tau$  - время релаксации, а  $n_i$  - целое число  $n_i = 1, 2, 3, \dots$ .

Поскольку ход релаксационных процессов, равно как частота и интенсивность случайных взаимодействий в системе, существенно зависят от характера протекающих в ней физических процессов, а также природы и особенностей взаимодействующих частиц (квазичастиц), то флуктуационные



характеристики несут информацию, как о возмущениях, так и о релаксации системы, т.е. сразу о двух происходящих в ней процессах. Поэтому флуктуационные характеристики чрезвычайно информативны.

Для описания и исследования флуктуационных процессов можно указать на две информационные характеристики корреляционной функции, связанные с особенностями протекания процессов молекулярной подвижности в полимерных системах. Во-первых, значение  $R(\tau)$  при временном сдвиге  $\tau = 0$  -  $R(0) = D_U = \sigma_U^2$  - равно квадрату среднеквадратичного отклонения процесса  $u(t) - \sigma_U^2$  или дисперсии  $D_U$ . Во-вторых, это время корреляции  $\tau_k$

$$\tau_k = \int_0^{\infty} \frac{R(\tau)}{D_U} d\tau.$$

Первая характеристика процесса  $u(t) - D_U$  связана с количеством действующих релаксаторов подсистемы полимера  $n_i$  и интенсивностью электромагнитных флуктуаций. Вторая – время корреляции  $\tau_k$ , определяет время переходных процессов в анализируемой системе и может быть поставлена в соответствие со временем молекулярной релаксации  $\tau_{rel}$  при температуре наблюдения  $T$ .

Существующая связь между спектральной плотностью флуктуаций  $S(\omega)$  и функцией корреляции  $R(\tau)$ , определяемая теоремой Винера-Хинчина [2], позволяет говорить об эквивалентности этих характеристик с точки зрения информативности.

### Конструкции тепловой камеры для электрофлуктуационных измерений

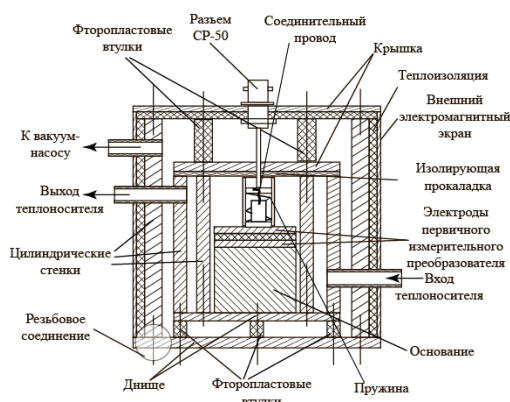


Рисунок 2. Тепловая камера для электрофлуктуационных измерений.

Тепловая камера первичного преобразователя представляет собой рекуперативный теплообменник с адиабатической оболочкой, основной функцией которого является нагрев исследуемого образца (рисунок 2).

Для определения теплопроводности используется тепловая камера, включающая два первичных преобразователя, располагаемых по длине плоского образца.

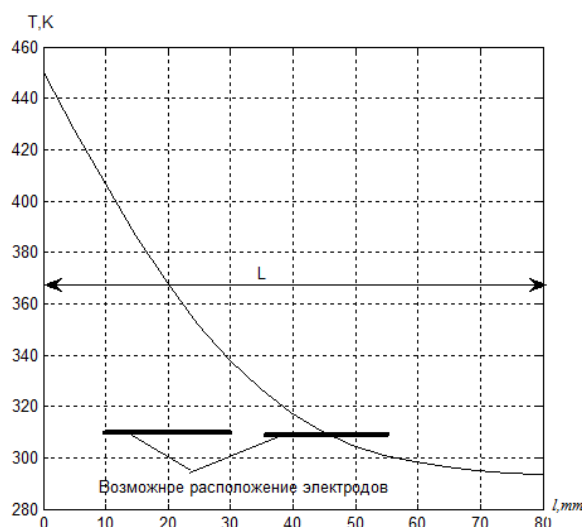


Рисунок 3. Изменение температуры образца по длине образца  $L$  после держателя.

Средний квадрат напряжения электромагнитных флуктуаций определяется по средней температуре, при которых находятся электроды преобразователей.

#### Список используемых источников

1. Ивановский В.А. Диагностика состояния полимерных материалов на основе анализа их электромагнитных флуктуации.- Приборы, 2010, № 6, с.46-54.
2. Хинчин А.Я. Теория корреляции стандартных случайных функций.// Успехи математических наук, вып. 5, 1938.
3. Пат. 1746281 Российская Федерация, G 01 N 27/22. Способ определения дипольных моментов в полимерах/В.А. Ивановский, Ю.В. Зеленов; заявитель и патентообладатель Тамбовское ВВАИУ.- № 4841619; заявл. 25.06.90; опубл. 10.05.97. Бюл. № 31/2000.-3 с.
4. Справочник по дипольным моментам. Изд. 3-е., переработ, и доп, М., «Высшая школа», 1971. 416 с. с илл. Перед загл. авт.: О. А. Осипов, В. И. Минкин, А. Д. Гарновский.
5. Пат. 2332675 РФ, G 01 R 27/26. Способ определения диэлектрических характеристик полимерных систем заявл. 15.12.2006; опубл. 27.08.08. Бюл. № 24.
6. Пат. 2181200 РФ, G 01 N 25/20. Способ определения теплоемкости полимеров при постоянном давлении / В.А. Ивановский, Ю.В. Зеленов, Т.В. Отмахова.- № 97111254/28; заявл.02.07.97; опубл. 10.04.02. Бюл. № 10.
7. Пат. 2180440 РФ, G 01 N 25/18. Способ определения коэффициента теплопроводности полимеров / № 2000100440/28; заявл.06.01.00; опубл. 10.03.02. Бюл. № 6.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ БЕТОНОВ\*

*Фокин В.М.<sup>1</sup>, Образцов Д.В.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>- ФГБОУ ВПО Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, Волгоград;*

*<sup>2</sup>- ФГБОУ ВПО Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, [odvru@rambler.ru](mailto:odvru@rambler.ru)*

Основным строительным материалом на сегодняшний день остаётся бетон и его различные виды (железобетон, пенобетон, газобетон и др.). Современные темпы строительства и инженерные проекты предъявляют к бетону повышенные требования, например уменьшение его веса с одновременным увеличением прочности. В связи с этим актуальной задачей исследования является разработка бетонов с улучшенными свойствами: прочности, теплопроводности и др.

Возрастает потребность в высокопрочных бетонах по мере проектирования и возведения большепролетных и сильно нагруженных несущих конструкций. Высокопрочные бетоны в этих случаях позволяют перейти на более эффективные сечения конструктивных элементов, уменьшить расход бетона и существенно снизить вес конструкций, что должно повысить конкурентоспособность железобетона по сравнению с другими современными конструкционными материалами и расширить область его применения. Именно в этом направлении особенно перспективным представляется решение задачи использования наномодификаторов для повышения различных эксплуатационных характеристик бетона при одновременном снижении расхода цемента.

Для достижения поставленной задачи необходимо произвести экспериментальные исследования, которые позволят выявить зависимости прочности, теплопроводности и других свойств бетона от количества, структуры и состава наномодифицирующих добавок. Предположительно наномодифицирующие добавки в зависимости от состава изменяют свойства бетона по двум направлениям. Первое направление заключается в образовании новых химических связей, которые изменяют состав и структуру бетона. Второе направление основано на способностях нанообъектов, становиться центрами кристаллизации цементного камня, что позволяет создавать более стабильную структуру во всём объеме. При использовании многокомпонентных наномодифицирующих добавок, также возможно проявление различных вариантов формирования структуры цементного камня в связи с этим основным направлением исследования является определение оптимальной концентрации и состава

наноструктурных добавок, которые улучшают прочностные и теплофизические свойства бетонов.

Одним из основных параметров бетона является прочность, которая зависит от множества факторов, таких как количество затравочной воды, температура и время отверждения, влажность воздуха при отверждении, химический и гранулометрический состав цемента, присутствие в растворе специальных модифицирующих добавок. В научных источниках описывается фактическое увеличение прочности бетонов при применении наноструктурных добавок, наряду с внесением в готовый бетон также возможно внесение дополнительных наноструктурных добавок в процессе домола цемента, что позволит равномерно распределить их во всем объеме для получения стабильных параметров при производстве наномодифицированного бетона.

Прочность бетона нарастает в течение длительного времени, но наиболее интенсивный ее рост наблюдается в начальный период твердения. Прочность бетона, приготовленного на портландцементе, интенсивно нарастает первые 28 суток, а на пуццолановом и шлаковом портландцементе в первые 90 суток. В дальнейшем при благоприятных условиях твердения, таких как положительная температура, влажность прочность бетона может нарастать весьма продолжительное время, которое может измеряться годами, что объясняется длительным процессом твердения геля и ростом кристаллов.

Лабораторные испытания на прочность бетона согласно стандарту производят с помощью кубов определенных размеров 10, 15, 20 см. Опытами установлено, что прочность бетона одного и того же состава зависит от размера куба, это объясняется изменением эффекта обоймы с изменением размеров куба и расстояния между его торцами. При осевом сжатии бетонные кубы разрушаются вследствие разрыва в поперечном направлении. Наклон трещин разрыва обусловлен силами трения, которые развиваются на поверхностях между плитами пресса и гранями куба. Силы трения, направленные внутрь, препятствуют свободным поперечным деформациям куба и создают эффект обоймы. Удерживающее влияние сил трения по мере удаления от торцовых граней куба уменьшается, поэтому после разрушения куб приобретает форму усеченных пирамид, сомкнутых малыми основаниями.

На результаты определения прочности бетона влияет множество факторов, так образцы из одного и того же замеса, твердевшие в одинаковых условиях и испытанные на одном прессе, показывают различные значения прочности бетона. На результаты испытаний влияют параллельность граней образца, их ровность и шероховатость, условия изготовления. Так при изготовлении бетонных образцов из пластичных, смесей при больших расходах воды и в ряде других случаев под зернами заполнителя вследствие седиментации возникают ослабленные места, которые имеют горизонтальное направление. При испытании в этом случае заметное влияние на результаты будет оказывать расположение образца между плитами пресса.

При испытании бетонного образца в прессе, напряжения возникают не только в образце, но и в плитах пресса. Между плитами пресса и образцом обычно действуют силы трения, в результате чего поверхность бетонного образца, прилегающая к плитам пресса, имеет одинаковые с последними деформации. Эти деформации значительно меньше деформаций в других сечениях. Образец же разрушается тогда, когда деформации достигают предельных значений, при которых возникают сплошные трещины. Действие плит пресса, уменьшая деформации слоев бетона, прилегающих к ним, как бы оказывает на них поддерживающее влияние и предохраняет от разрушения, это явление принято называть эффектом обоймы. Поэтому кубы бетона имеют обычно характерную форму разрушения, когда наибольшие деформации и разрушения наблюдаются в среднем сечении образца.

Теплопроводность бетона в значительной мере определяется видом используемого в нем заполнителя. Например, теплопроводность керамзитобетона при плотности 1000 кг/м<sup>3</sup> составляет 0,41 Вт/(м°С), что в 2 раза меньше теплопроводности кирпичной кладки. Теплопроводность бетона также зависит от его влажности. Теплопроводность воды составляет 0,58 Вт/(м°С), что во много раз больше теплопроводности воздуха. Поэтому, если поры бетона вместо воздуха заполняет вода, то теплопроводность его резко увеличивается, данное обстоятельство необходимо учитывать при проведении исследований.

**Выводы:** Таким образом, анализ работ посвящённых получению высокопрочных бетонов позволил определить основные направления проведения исследований, намечены возможные варианты модификации бетона, как на этапе производства цемента, так и в процессе замеса и отверждения. Для проведения экспериментов по прочности бетона на приборе ГП 100 будет применена оправка для приготовления одновременно трёх образцов кубической формы с гранью размером 10 см, а для проведения измерения теплопроводности бетонов на приборе ИТП-МГ4 "250" будут изготовлены образцы в заливочной форме размером 250x250x10 мм.

#### Список используемых источников

1. Дворкин, Л.И., Дворкин, О.Л. Специальные бетоны. – М.: Инфра-Инженерия, 2012. 368 с.
2. Лермит, Р. Проблемы технологии бетона. – Издательство ЛКИ, изд. 4-е, 2010. 296 с.
3. Бетоны. Материалы. Технологии. Оборудование. – Ростов н/Д.: Феникс, изд. 2-е, 2008. 384 с.
4. Сухие строительные смеси. Бетоны. Материалы и технологии. – НТС "Стройинформ", 2007. 828 с.

*\*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 12-08-90818-мол\_рф\_нр).*

# РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Дивина Д.А., Дивин А.Г., Пономарев С.В.*

*ФГБОУ ВПО Тамбовский государственный технический университет*

В настоящее время, в связи с дефицитом недорогих и в тоже время точных средств измерения теплофизических характеристик материалов, является актуальным создание измерительных систем, позволяющих определять с высокой точностью искомые теплофизические параметры, реализующих возможность управления ходом эксперимента с помощью современных программных средств [1].

На кафедре «Управление качеством и сертификация» Тамбовского государственного технического университета разработана измерительная установка, в основу принципа действия которой заложен метод регулярного режима третьего рода, основанный на создании гармонических колебаний температуры в исследуемом образце. Важным преимуществом гармонических тепловых воздействий является возможность изменять в широком диапазоне частоту колебаний, что существенно расширяет способы выбора оптимальных режимных параметров эксперимента, а также позволяет снизить возмущающее влияние теплообмена боковых поверхностей образца с окружающей средой. В ходе эксперимента удается достаточно просто регистрировать фазовый сдвиг температурных волн во времени, что также создает преимущество, так как главной измеряемой величиной становится время, являющееся одной из наиболее точно измеряемых физических величин.

Отличительными особенностями разрабатываемой измерительной установки являются методика измерения коэффициента температуропроводности материалов, которая впервые позволила снизить погрешность измерения до 3 % [2,3], а так же программно- алгоритмическое обеспечение измерительной установки, реализующее указанную методику.

При создании программного обеспечения измерительной установки были использованы технологии компании NationalInstruments, что позволило достичь цели исследования за более короткий срок при небольших затратах.

Программа, осуществляющая управление экспериментом по определению температуропроводности материалов методом регулярного режима третьего рода предназначена для контроля и управления ходом теплофизического эксперимента по определению коэффициента температуропроводности твердых, сыпучих или жидких материалов. Она позволяет задавать период гармонических колебаний температуры в плоском исследуемом образце за счет периодического изменения полярности напряжения питания элемента Пельтье, расположенного под образцом. Коэффициент температуропроводности вычисляется по разности фаз сигналов термоэлектрических преобразователей, рабочие спаи которых

расположены в образце на известном расстоянии друг от друга [4]. Лицевая панель программы представлена на рисунке 1.

Программное обеспечение может быть использовано в учебном процессе студентами, бакалаврами и магистрами, обучающимся по направлениям теплофизического профиля.

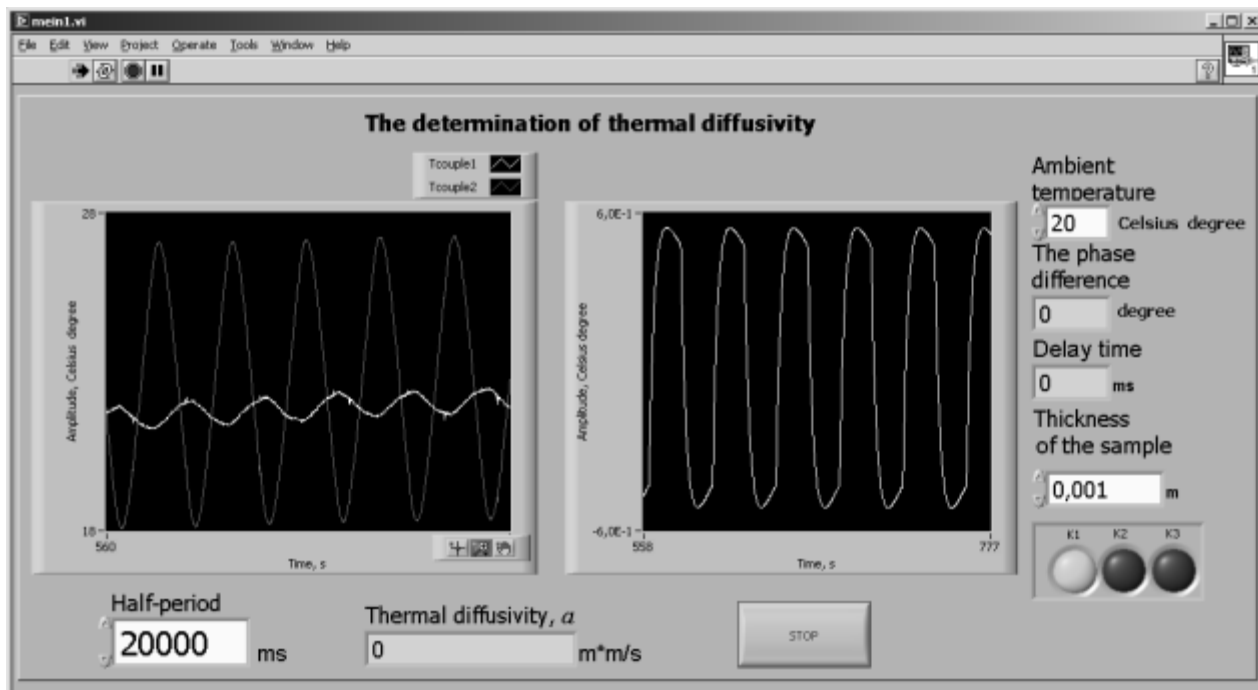


Рисунок 1. Лицевая панель программы

Метод периодического нагрева позволяет исследовать широкий класс явлений в газах, жидкостях и твердых телах в широком диапазоне состояний [5-7]. С его помощью в одном эксперименте можно получать большое количество информации. Высокая помехоустойчивость дает возможность проводить эксперимент при низком уровне температурных возмущений, что особенно важно при исследовании критических явлений и фазовых переходов. Данный метод не требует сложной аппаратуры, обладает удовлетворительной точностью (около 5 %) и сравнительно небольшой продолжительностью измерений (0,5-2 часа).

Метод периодического нагрева - надежный, недорогой и эффективный метод, который продолжает активно разрабатываться, и многие вопросы его использования еще требуют решений, совершенствования средств измерения и способа определения теплофизических характеристик.

#### Список используемых источников

1. Дивина, Д.А. Измерительная установка для определения теплофизических характеристик полимерных материалов методом регулярного режима третьего рода / Д.А. Дивина, А.М. Петрашева // Сборник научных статей молодых ученых, аспирантов и студентов. - Выпуск III, 2012. – С. 73-76.

2. Пономарев, С.В. К вопросу о выборе оптимальных режимных параметров процесса измерения коэффициента температуропроводности теплоизоляционных материалов методом регулярного режима третьего рода / С.В. Пономарев, Д.А. Дивина, А.С. Щекочихин // Измерительная техника. – 2012. - №1. – С. 47-49

3. Пономарев, С.В. Теоретические и практические основы теплофизических измерений: под ред. С.В. Пономарева / С.В. Пономарев, С.В. Мищенко, А.Г. Дивин, В.А. Вертоградский, А.А. Чуриков. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 408 с.

4. Пономарев, С.В. Применение метода регулярного режима третьего рода для определения теплофизических характеристик полимерных материалов / С.В. Пономарев, Д.А. Дивина // Сборник трудов всероссийской научно-практической конференции «Качество и инновации - основа современных технологий». – Новосибирск, 2012 г.- С. 132-138.

5. Ивлиев, А.Д. Применение метода температурных волн для исследования теплофизических свойств конденсированных веществ. - Международная научно-техническая конференция «Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ». 30 ноября – 2 декабря 2010г.:Сборник трудов конференцию – СПб.: СПбГУНиПТ, 2010. – С. 65-75;

6. Липаев, А.А. Применение метода периодического нагрева в экспериментальной теплофизике. - Международная научно-техническая конференция «Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ». 30 ноября – 2 декабря 2010г.:Сборник трудов конференцию – СПб.: СПбГУНиПТ, 2010. – С. 182-195;

7. Филиппов, Л.П. Измерения теплофизических свойств веществ методом периодического нагрева / Л.П. Филиппов. - М.: Энергоатомизд., 1984. – 104 с.;

*\*Работа выполнена на базе ведущей научной школы Российской Федерации НШ - 3550.2012.3 «Разработка научных основ твердофазных технологий получения нового класса композиционных материалов конструкционного и функционального назначения на основе полимеров путем модифицирования полимерной матрицы и наполнителей» и в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы по соглашению № 14.В37.21.0450.*



# ИЗУЧЕНИЕ ФОРМУЕМОСТИ КОМПОЗИТНОЙ НАНОКЕРАМИКИ\*

*Бажин П.М.<sup>1</sup>, Столин А.М.<sup>1</sup>, Саранцев В.В.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>-Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения  
Российской академии наук, г. Черноголовка, [olimp@ism.ac.ru](mailto:olimp@ism.ac.ru)*

*<sup>2</sup>- Белорусский национальный технический университет, г. Минск,  
Беларусь, [BNTU\\_MTF@mail.ru](mailto:BNTU_MTF@mail.ru)*

Важный вопрос развития технологии СВС состоит в изучении возможности прямого получения изделий заданной формы из продуктов горения [1]. Однако, до сих пор общие закономерности процесса формования СВС-материалов мало изучены, хотя эта проблема весьма важна при разработке эффективных методов получения изделий сложной формы. Описание процесса формования можно построить на анализе специфических технологических процессов. Однако более важным представляется подход, основанный на изучении общих особенностях процесса формования, не привязанный к конкретному технологическому оборудованию.

Для изучения способности к формованию некоторых распространенных классов СВС-материалов в работе [2] был предложен метод свободного СВС-сжатия. Сущность этого метода заключается в сдвиговом деформировании материала под действием постоянного невысокого давления (~10-100 МПа). К преимуществам метода можно отнести использование наиболее благоприятной схемы напряженного состояния, способствующей «залечиванию» макротрещин и пор в деформированном материале.

Объектом исследования формуемости был использован следующий состав шихтовой смеси:  $TiO_2+C+V+Al+Zr$  [3]. В качестве критерия формуемости СВС-материалов была выбрана степень деформации материала, определяемая по формуле:

$$\psi = |(S_k - S_n) / S_n|,$$

где  $S_k$  – площадь сечения деформированного СВС-материала,  $S_n$  – площадь сечения исходной шихтовой заготовки.

Одним из важнейших технологических параметров, определяющих способность материала к формованию, является время задержки - время от начала инициирования химической реакции до приложения давления к синтезированному материалу ( $\tau_D$ ). Оптимальное значение времени задержки  $\tau_D$  определялось экспериментально в диапазоне от 0 до 15 секунд. Материал находился под давлением в течении  $\tau_E = 30$  секунд.

Во время сжатия материал подвергается сдвиговому деформированию, возможность которого базируется на способности горячей массы

синтезированного продукта к макроскопическому течению. Для СВС-материалов такая деформация может осуществляться лишь в характерном температурном диапазоне (интервале переработки) от температуры горения до температуры живучести, выше которой материал обладает еще способностью к пластическому деформированию, а ниже затвердевает и теряет свои пластические свойства. Сама способность к макроскопическому течению зависит как от уровня реологических свойств (предела текучести, сдвиговой и объемной вязкости), так и от влияния на них структурных процессов (рост и коагуляция зерен), отверждения и условий деформирования.

#### Список используемых источников

1. Столин А.М., Мержанов А.Г., Радугин А.В. Технологический основы СВС-экструзии.// ИФЖ.-1992.-Т.-63.- №5, с. 525-537.
2. Галышев С.Н., Бажин П.М., Столин А.М., Сычев А.Е. Синтез металлокерамики на основе Ti-Al-C в условиях свободного СВС-сжатия.// Перспективные материалы.- №2.- С. 81-86.
3. Бажин П.М., Столин А.М., Щербаков В.А., Замяткина Е.В. Композитная нанокерамика, полученная методом СВС-экструзии.// ДАН, Химическая технология. 2010.- Т. 430.- № 5.- С. 650-653.

*\*Исследование выполнено в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (Государственное соглашение № 14.А18.21.0102 по обобщенной теме «Выполнение научных исследований молодыми учеными и преподавателями в интересах развития высокотехнологичных секторов экономики в области судостроения») в научно-образовательном «Центре наноматериалов и нанотехнологий» на оборудовании ЦКП «Материаловедение и металлургия» НИТУ «МИСиС».*

# УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА СВОЙСТВА ДИОКСИДА ТИТАНА

*Балабащук И.В., Просвиркина Е.В., Харченко Е.Н.  
Кемеровский государственный университет, г. Кемерово  
[sensitivlab@kemsu.ru](mailto:sensitivlab@kemsu.ru)*

В патентных источниках встречаются указания на то, что рутильная модификация диоксида титана обладает высокой каталитической активностью [1]. Настоящая работа посвящена модификации свойств пигментного диоксида титана под действием ультразвука.

Объектом исследования являлся диоксид титана, полученный по ТУ У 24.1-05762329-001-2003. Массовая доля рутильной формы в пигменте по данным производителя составляет 98%. Методом термодесорбции азота установлено, что  $S_{уд}$  для пигмента составляет  $1,8 \text{ м}^2/\text{г}$ , и как следствие, дисперсия пигмента проявляет низкую фотокаталитическую активность. Целью работы являлось выявление условий формирования мелкодисперсной фракции диоксида титана на основе пигмента. В ходе исследования оценивали значения дисперсионных характеристик пигмента методом спектральной турбидиметрии (см. рис.1).

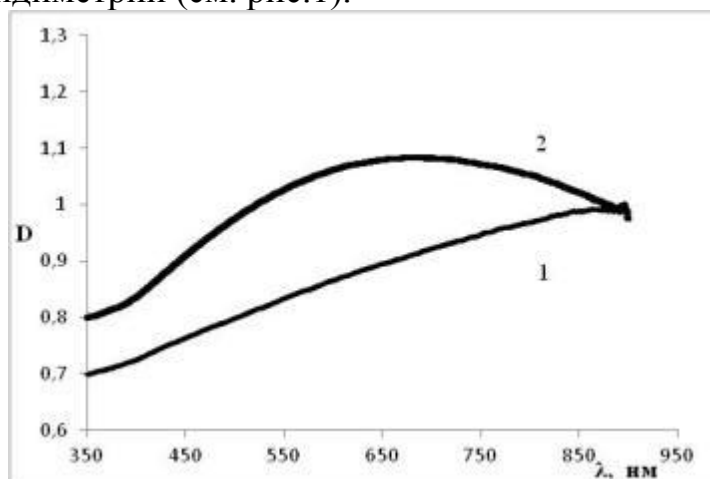


Рисунок 1. Спектрофотометрические данные образцов: 1 – исходный пигмент; 2 – УЗ обработка пигмента

В результате физического воздействия наблюдается смещение максимума в коротковолновую область спектра, что указывает на появление в системе стабильной мелкоразмерной фракции.

## Список используемых источников

1. United States patent. Photocatalytic rutile titanium dioxide 7,521,039 B2

# ИЗУЧЕНИЕ ИОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ КАТИОНООБМЕННЫХ МЕМБРАН «ПОЛИКОН»

*Айнетдинов Д.В., Александров Г.В., Кардаш М.М.*

*Энгельсский технологический институт Саратовского государственного  
технического университета им. Ю.А. Гагарина*

Новым и перспективным классом ионообменных материалов являются композиционные волокнистые ионообменные мембраны (КВИОМ), содержащие как фазу полимерного ионита, так и фазу волокнистой основы. Важным преимуществом этих мембран является возможность широкого варьирования их свойств, обусловленная разнообразием используемых волокнистых основ и большими возможностями изменения технологических условий их изготовления. Катионообменные волокнистые хемосорбционные мембраны «Поликон», содержащие ионообменный компонент и армирующую ткань, имеют сложную структурную организацию.

Ткани, перспективные с точки зрения применения в качестве армирующих систем, проходят комплекс исследований технологического характера: механические испытания, определение физико-химических свойств, отработку технологии производства мембран на их основе. Стремление добиться более равномерного распределения зарядов и лучших электрохимических свойств привело к созданию катионообменных мембран «Поликон К», для которых в качестве армирующей системы служила ткань на основе новолачных фенолформальдегидных (НФФ) волокон, приобретающих ионообменные свойства в процессе синтеза матрицы.

С целью измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ) в электродиализной ячейке были проведены соответствующие измерения. ВАХ мембраны в электродиализной ячейке представляет собой зависимость плотности тока от скачка потенциала, выраженную кривой (рис. 1).

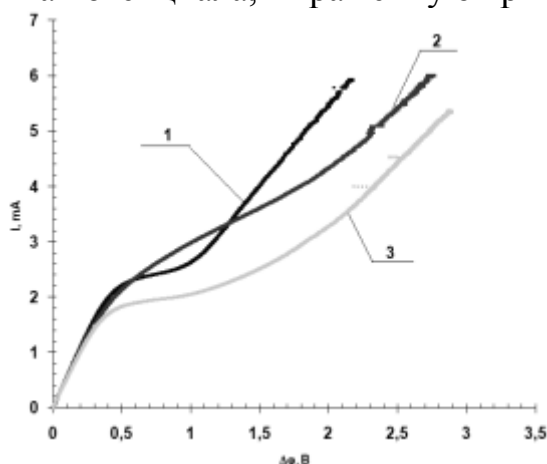


Рисунок 1. Вольтамперные характеристики мембран 1 – СМХ; 2 – Поликон на ПАН волокне; Поликон на НФФ волокне

Из вольт-амперных кривых можно определить предельный ток мембраны методом касательных. Метод заключается в проведении касательных через три прямых участка вольт-амперной кривой, определении предельного тока по точкам их пересечения. Разберем на примере мембраны СМХ: прямые участки ВАХ : 1) 0-0.4 омический участок (вклад в скачек потенциала на мембране вносит только омическое сопротивление мембраны и раствора); 2) 0.5-0.9 плато после первого перегиба кривой (показывает увеличение сопротивления вследствие достижения предельного состояния, недостаток носителей тока); 3) 1.1-2.2 плато после второго перегиба (характеризуется появлением новых носителей тока (диссоциация воды), либо увеличением скорости доставки свежего раствора к поверхности мембраны (электро- или гравитационная конвекция)).

Таблица 1

Значения предельного тока мембран

Мембрана	Первый предельный ток, мА/см <sup>2</sup>	Число переноса противоиона соли в мембране	Второй предельный ток, мА/см <sup>2</sup>
СМХ	2,2	0,94	2,6
ПАН	2,3	0,92	4,2
Поликон на основе ткани НФФ	1,8	0,99	2,2

Мембрана Поликон на ПАН волокне обладает высоким предельным током (табл. 1), следовательно и невысокой селективностью, второе плато имеет большую длину по сравнению с другими мембранами, что говорит о затруднении перехода в сверхпредельные токовые режимы, недостатке Н<sup>+</sup> и ОН<sup>-</sup> ионов, что влечет чрезмерный расход энергозатрат.

У мембраны Поликон на основе ткани НФФ самый низкий предельный ток, следовательно, повышается селективность, второе предельное состояние наступает быстро, что может быть связано с возникновением электроконвекции, гравитационной конвекции и/или генерацией Н<sup>+</sup> и ОН<sup>-</sup> ионов.

# РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ Тi-C-CO МЕТОДОМ СВС-ЭКСТРУЗИИ\*

*Аверичев О.А., Столин А.М., Бажин П.М.*

*Федеральное государственное учреждение науки Институт  
структурной макрокинетики и проблем материаловедения Российской  
академии наук, г. Черноголовка, [chegoleg@mail.ru](mailto:chegoleg@mail.ru)*

Целью данной работы стало получение электродных материалов Ti-C-Co (TiC+30%Co). Однако, для воспроизводимости производственных процессов необходимо четко определять важнейшие технологические параметры, их численные значения. Для этого была проведена серия опытов по каждому из таких параметров и затем, определены оптимальные значения. Такими важнейшими параметрами СВС-экструзии являются: скорость перемещения плунжера пресса, время задержки, давление прессования.

Для исследования возможности полученных СВС-электродов для электроискрового легирования использовались стальные пластины из стали 3. Исследовалось: кинетика массопереноса материала электрода (анод) на подложку (катод); влияние энергетических параметров разряда на шероховатость поверхности (6 режимов).

Для анализа полученных легированных подложек были проведены сравнительные трибологические исследования на универсальной испытательной машине трения Einhell SB 701 с подключенной тензометрической державкой и регистрирующей аппаратурой с программным обеспечением ZetLab.

Испытания показали увеличение износостойкости: в 3-4 раза по сравнению с необработанной поверхностью и в 1,5-2 раза по сравнению с покрытием, полученным карбидовольфрамовым электродом ВН-8.

*\*Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы, ГК № 02.740.11.0618.*

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВЧ-НАГРЕВА НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПА-6, ПРОШЕДШИХ ТФЭ\*

*Завражин Д.О., Баронин Г.С., Худяков В.В.*

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»  
Научно-образовательный центр «Твердофазные технологии»*

В настоящее время технология переработки термопластов в твердой фазе методами пластического деформирования представляет собой технологический процесс, для успешной реализации которого на практике необходимы исследования основных закономерностей процесса и разработка материалов для твердофазной штамповки, обладающих рядом специальных характеристик.

В данной работе было проведено исследование пластической деформации полимер-углеродных материалов с использованием кратковременной СВЧ-обработки на примере твердофазной плунжерной экструзии [2-3]. Было изучено влияние времени СВЧ-нагрева полимерных и модифицированных полимер-углеродных материалов на формирование физико-механических и теплофизических свойств экструдатов.

В качестве объекта исследования использовали полиамид-6. В качестве модифицирующих веществ применяли углеродные нанотрубки (УНТ) «Таунит» (производства ООО «Нанотехцентр», Россия, г.Тамбов) с наружным диаметром 8-15 нм и длиной 2 и более мкм в виде сыпучего порошка.

Опыты по твердофазной плунжерной экструзии (ТФЭ) проводили на экспериментальной установке типа капиллярного вискозиметра с загрузочной камерой диаметром 0,005м. и экструзионным отношением  $\lambda_{\text{экс}}=1,52$ . [1]

Частота СВЧ-излучения магнетрона 2450 МГц. Выходная мощность 700 Вт.

Ранее установлено, что оптимальная температура переработки в твердой фазе композиционных материалов для аморфно-кристаллических полимеров определяется из соотношения Бойера [1] как:

$$T_{\text{экс}} = (0,75 \pm 0,15) T_{\text{пл}} \quad (1)$$

Применение СВЧ-обработки позволяет за десятки секунд прогреть заготовку до оптимальной температуры переработки, снижая необходимое давление формования на 15 – 20%. (рис. 1).

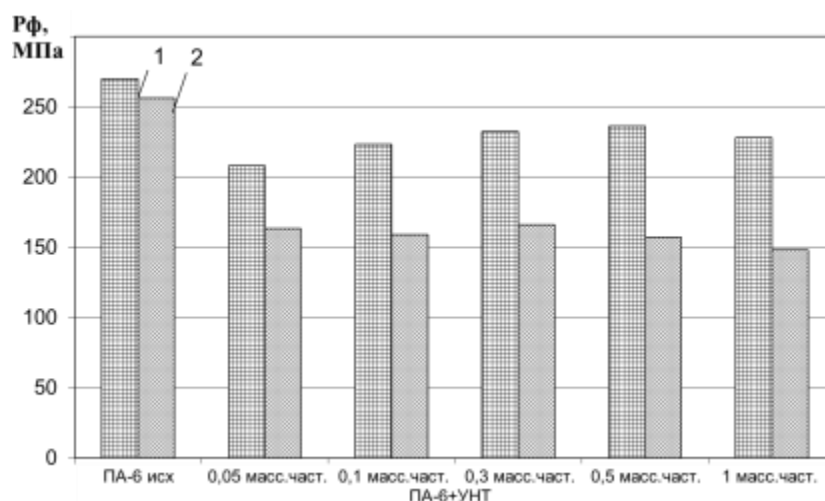


Рисунок 1. Диаграмма изменения необходимого давления формования  $P_{\phi}$  образцов системы ПА-6 + УНТ, экструдированных при  $\lambda_{\text{экс}}=1,52$  без СВЧ (1) и при СВЧ-нагреве в течение 100 сек. (2) в зависимости от содержания УНТ.

Необходимо отметить, что при переработке полимерных материалов в режиме ТФЭ следует учитывать структурные особенности полимерной матрицы: переработка полимеров с жесткой структурой при температуре окружающей среды может привести к разрушению полимерной матрицы.

Сравнительные механические характеристики исходного ПА-6 и композитов на его основе представлены в таблице 1. Хорошо прослеживается влияние на прочностные характеристики как введение УНТ, так и комплексного воздействия модификатора, твердофазной технологии и СВЧ-излучения. Как правило, полученные полимер-углеродные нанокомпозиты имеют более высокий модуль упругости при растяжении в сравнении с исходным ПА-6.

Таблица 1.

Сравнительные механические характеристики образцов системы ПА-6 + УНТ, экструдированных при  $\lambda_{\text{экс}}=1,52$ .

	Предел прочности при разрыве, $\sigma_p$ , МПа	Относительное удлинение при разрыве, $\epsilon_p$ , %
ПА-6 исх, ЖФ	62	72
ПА-6+1 масс.част.УНТ, ЖФ	67	69
ПА-6 исх, ТФЭ, 0 сек. СВЧ	75	53
ПА-6 исх, ТФЭ, 100 сек. СВЧ	78	59
ПА-6+1 масс.част.УНТ, ТФЭ, 0 сек.СВЧ	81	54
ПА-6+1 масс.част.УНТ, ТФЭ,100сек.СВЧ	86	62

При оценке прочности на срез после обработки по заданной методике показано повышение прочностных характеристик материала до 100 % в направлении, перпендикулярном ориентации в режиме ТФЭ (рис. 2). Оценка



твердости по Шору Д исходных и модифицированных материалов показала увеличение твердости материалов на 10-15% (рис.3).

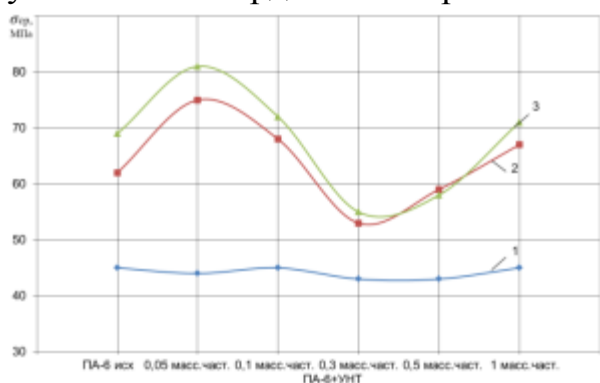


Рисунок 2. Диаграмма изменения прочностных характеристик в условиях срезающих напряжений  $\tau_{ср}$  образцов системы ПА-6 + УНТ, полученных литьем под давлением (1) и экструдированных при  $\lambda_{экс}=1,52$  без СВЧ (2) и при СВЧ-нагреве в течение 100 сек. (3) в зависимости от содержания УНТ.

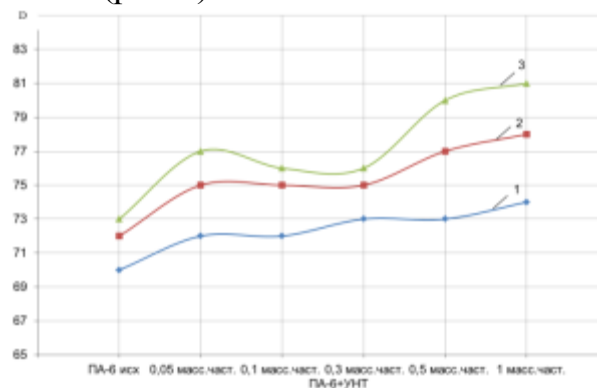


Рисунок 3. Диаграмма зависимости твердости по Шору Д образцов системы ПА-6 + УНТ, полученных литьем под давлением (1) и экструдированных при  $\lambda_{экс}=1,52$  без СВЧ (2) и при СВЧ-нагреве в течение 100 сек. (3) в зависимости от содержания УНТ.

Проведенные исследования показывают целесообразность применения СВЧ-нагрева для процессов пластического деформирования полимерных материалов. Однако, в ряде случаев необходимо повысить коэффициент поглощения СВЧ-излучения полимерной матрицей. Модифицирование полимеров углеродными материалами (в т.ч. нанокремнеземом) позволяет решить поставленную задачу.

#### Список используемых источников

1. Баронин, Г.С. Переработка полимеров в твердой фазе. Физико-химические основы: Монография / Г.С. Баронин и др. - М.: М-1, 2002. - 320 с.
2. Завражин, Д.О. Влияние СВЧ-излучения на формирование структуры с улучшенными физико-механическими характеристиками модифицированных полимер-углеродных материалов при твердофазной обработке давлением / Д.О.Завражин, А.Г.Попов // Перспективные материалы. 2011. № 11. С. 389-395.
3. Пат. 2361733 РФ, В 29 С 39/00 Способ формования термопластов / Баронин Г.С., Завражин Д.О., Дмитриев В.М., Ткачев А.Г., Иванов С.А. и др. ГОУ ВПО ТГТУ. - №2007128686/12, заявл. 25.07.2007; опубл. 20.07.2009, Бюл. №20.

*\*Исследование выполнено в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (Государственное соглашение №14.А18.21.0105).*

# МЕТОД НЕРАЗРУШАЮЩЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

*Антонов А.О., Пудовкина Е.В., Васильев С.О., Майникова Н.Ф.  
ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»,  
Тамбов, [teplotehnika@nnn.tstu.ru](mailto:teplotehnika@nnn.tstu.ru)*

Многослойные материалы (ММ) применяются для производства деталей и оборудования предприятий химической, нефтяной, сельскохозяйственной, транспортной, энергетической и других отраслей промышленности. При разработке, испытании и эксплуатации изделий из ММ необходимо иметь информацию о теплофизических свойствах (ТФС) отдельных его слоев, так как эти свойства являются параметрами, определяющими надежность и работоспособность готовых объектов техники.

Среди методов и средств контроля особое место занимают контактные тепловые неразрушающие методы определения ТФС материалов и изделий. При этом реализация контактного метода неразрушающего контроля (НК) ТФС усложнена тем, что тепловое воздействие и получение измерительной информации в ходе эксперимента возможно осуществлять только на ограниченном участке поверхности исследуемого объекта, поэтому особенно важно разработать математическую модель, адекватно описывающую реальный процесс теплопереноса в объекте исследования. При этом в пределах временного интервала измерения в системе происходят существенные изменения, которые не позволяют описывать весь процесс теплопереноса одной аналитической моделью с неизменными ограничениями и условиями, что приводит к существенному увеличению погрешностей.

Наиболее точно систематические и случайные составляющие погрешности могут быть учтены в методах контроля ТФС, основанных на регулярном тепловом режиме. А.В. Лыковым доказано, что регулярные тепловые режимы первого и второго рода имеют общее свойство, характеризующееся независимостью от времени отношения теплового потока в любой точке тела к потоку тепла на его поверхности. Математическая модель, описывающая термограмму, в данном случае чаще всего является линейной по параметрам или легко линеаризуется. Однако основная часть этих методов базируется на моделях для тел конечных размеров. В то время как большая часть методов НК базируется на моделях полупространств.

Применительно к таким моделям следует говорить не о регулярном тепловом режиме для всего тела, так как оно принимается неограниченным, а о регуляризации теплового процесса только для какой-то определенной области тела. При определении ТФС, основываясь только на участках термограммы, соответствующих регуляризации теплового режима,

расчетные соотношения будут более простыми и линейными по параметрам, а систематические составляющие погрешности будут либо значительно меньшими, чем случайные, либо будут носить независимый от времени характер.

Для исследуемых тел (ИТ), представляющих собой двухслойную систему: верхний слой (покрытие) – металлический с плотностью  $\rho_1$ , ТФС: теплопроводностью  $\lambda_1$ , теплоемкостью  $c_1$ , температуропроводностью  $a_1$ , тепловой активностью  $\varepsilon_1$ , и толщиной  $h_1$ ; нижний (основание) – полимерный с плотностью  $\rho_2$ , ТФС:  $\lambda_2$ ,  $c_2$ ,  $a_2$ ,  $\varepsilon_2$ , и толщиной  $h_2$ , предложен метод, тепловая схема которого представлена на рис. 1.

Схема двухслойной системы включает в себя ограниченное (неограниченная пластина) и полуограниченное тела (рис.2). Ограниченное тело высокотеплопроводное, полуограниченное тело низкотеплопроводное, в плоскости их соприкосновения имеется идеальный тепловой контакт. Боковые поверхности тел имеют тепловую изоляцию. В начальный момент времени на свободном конце ограниченного тела начинает действовать источник тепла постоянной мощности  $q$ , который действует на протяжении всего процесса нагрева.

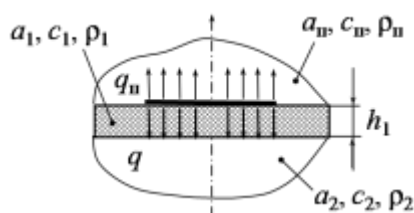


Рисунок 1. Тепловая схема метода

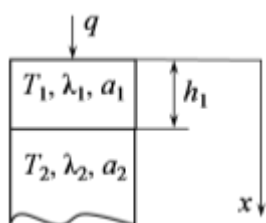


Рисунок 2. Схема двухслойной системы

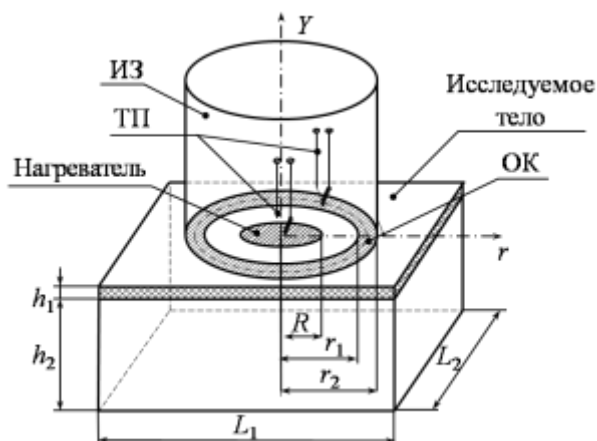


Рисунок 3. Измерительная схема метода

При решении прямой краевой задачи теплопроводности получена математическая модель нестационарного теплопереноса от плоского источника тепла постоянной мощности для двухслойной системы [1]:

$$T_1(0, \tau) = \frac{2q}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{\sqrt{\tau}}{\varepsilon_2} + \left(1 - \frac{\varepsilon_1^2}{\varepsilon_2^2}\right) \frac{q \cdot h_1}{\lambda_1}. \quad (1)$$

Выражение (1) представляет собой линейную зависимость вида:

$$T_1(0, \tau) = b_1 \sqrt{\tau} + b_0. \quad (2)$$

где  $b_1 = \frac{2q}{\sqrt{\pi} \cdot \varepsilon_2}$ ,  $b_0 = \left(1 - \frac{\varepsilon_1^2}{\varepsilon_2^2}\right) \cdot \frac{q \cdot h_1}{\lambda_1}$ .

Измерительная схема метода приведена на рис. 3. Измерительный зонд (ИЗ) помещается на исследуемое тело. Подложка ИЗ выполнена из

теплоизолятора, что обеспечивает реализацию адиабатического режима нагрева. Начальная температура тел одинакова. В месте соприкосновения поверхностей тел нагревателем осуществляется идеальный тепловой контакт. Длина и ширина исследуемого тела –  $L_1$  и  $L_2$ .

Воздействие на ИТ осуществляется с помощью источника тепла постоянной мощности (нагревателя), выполненного в виде тонкого диска радиусом  $R$ , встроенного в подложку ИЗ. Температура в точке контроля измеряется с помощью термоэлектрического преобразователя (ТП), расположенного в центре нагревателя. Охранное кольцо (ОК) представляет собой нагреватель, предназначенный для реализации одномерного температурного поля в исследуемом объекте. Температура охранного кольца также измеряется с помощью термоэлектрического преобразователя (ТП), расположенного на среднем диаметре ОК.

При практическом использовании рассматриваемого метода НК ТФС изделий измерительные операции осуществляют в следующем порядке:

1. ИЗ устанавливают контактной стороной на поверхность ИТ и выдерживают некоторое время для выравнивания значений температуры ИТ и ИЗ. Для уменьшения влияния контактных термических сопротивлений необходимо обеспечить постоянную силу прижатия ИЗ к объекту исследования.

2. В момент времени, соответствующий началу активной стадии эксперимента, нагреватель подают постоянную электрическую мощность, что позволяет с достаточной точностью задать величину мощности теплового потока ( $q = \text{const}$ ).

3. На протяжении всей активной стадии эксперимента выполняют измерения во времени значений температуры в центре нагревателя и значений электрической мощности.

4. Выделяют рабочий участок и определяют его продолжительность, который будет описываться уравнением прямой.

5. После завершения активной части эксперимента выключают нагреватель и производят обработку полученных данных.

6. Производят вычисление параметров модели  $b_0$  и  $b_1$ , по которым определяют ТФС на основании математической модели:

$$\varepsilon_2 = \frac{2q}{\sqrt{\pi} \cdot b_1}, c'_1 = -\frac{b_0 \cdot \varepsilon_2^2}{q \cdot h_1}. \quad (3)$$

#### Список используемых источников

1. Майникова, Н.Ф. Метод и измерительная система неразрушающего контроля теплофизических свойств многослойных изделий / Н.Ф.Майникова, А.О.Антонов, А.С.Селянина // сборник научно-исследовательских работ финалистов конкурса аспирантов и молодых ученых в области энергосбережения в промышленности «Эврика 2010». – Новочеркасск: Лик, 2010. – С.98–102.

# ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ ПОРОШКОВ\*

*Агеев Е.В., Давыдов А.А., Денисова Е.В.*  
*Юго-Западный государственный университет, Курск,*  
*[ageev\\_ev@mail.ru](mailto:ageev_ev@mail.ru)*

Спеченные твердые сплавы имеют в современной технике очень большое значение. Основой большинства применяемых твердых сплавов является карбид вольфрама. Анализ исследовательских работ в области вольфрамсодержащих твердых сплавов показывает, что большинство из них связано с вопросом экономии вольфрама. Этот вопрос имеет весьма актуальное значение в связи с дефицитом, дороговизной и непрерывным расширением областей применения вольфрама. С экономией вольфрама тесно связаны мероприятия по сбору отходов твердых сплавов и их переработка. В отечественной и зарубежной промышленности в настоящее время применяют несколько методов переработки отходов твердых сплавов, которые в большинстве своем характеризуются крупнотоннажностью, энергоёмкостью, большими производственными площадями, малой производительностью, а также экологическими проблемами. Одним из перспективных методов получения порошка, практически из любого токопроводящего материала, в том числе и твердого сплава, отличающийся относительно невысокими энергетическими затратами и экологической чистотой процесса, является метод электроэрозионного диспергирования (ЭЭД).

Широкое использование метода ЭЭД для переработки вольфрамсодержащих твердых сплавов в порошки с целью их повторного использования сдерживается отсутствием в научно-технической литературе полноценных сведений по влиянию исходного состава, режимов и среды получения на свойства порошков и технологий практического применения. Поэтому для разработки технологий повторного использования порошков, полученных из отходов вольфрамсодержащих твердых сплавов, и оценки эффективности их использования требуется проведение комплексных теоретических и экспериментальных исследований.

Целью настоящей работы являлось исследование микротвердости порошков карбида вольфрама, получаемых ЭЭД отходов вольфрамсодержащих твердых сплавов.

Отличительной особенностью процесса порошкообразования, протекающего при ЭЭД отходов твердых сплавов, является образование быстрозакристаллизованных порошков с очень большим диапазоном скоростей охлаждения (от 102 до 1010 °C/с), что отвечает условиям метастабильной кристаллизации с быстрым охлаждением, поэтому

полученные порошки имеют более высокую микротвердость (см. таблица 1 и рисунок 1).

Таблица 1.

Микротвердость порошков, ГПа

Испытуемый материал	ВК8	T15K6	TT20K9
Порошок, полученный методом ЭЭД в воде дистиллированной	22,0	32,5	26,0
Порошок, полученный методом ЭЭД в керосине осветительном	19,0	30,0	23,0
Исходный твердый сплав	18,4	26,4	22,8

Существенное влияние на микротвердость порошков оказывают изменения структуры поверхностного слоя и связанные с ними пластические деформации. На изменение микротвердости поверхностного слоя, а также толщины наклепа значительное влияние оказывают свойства рабочей жидкости (РЖ), охлаждающей поверхность частиц порошка. Образование тех или иных структур в поверхностном слое, определяющих значение микротвердости, во многом зависит от скорости охлаждения частиц, т.е. от охлаждающей способности РЖ. Также необходимо отметить, что с ростом вязкости РЖ уменьшается скорость отвода тепла от охлаждаемой поверхности, а, следовательно, уменьшается микротвердость последней.

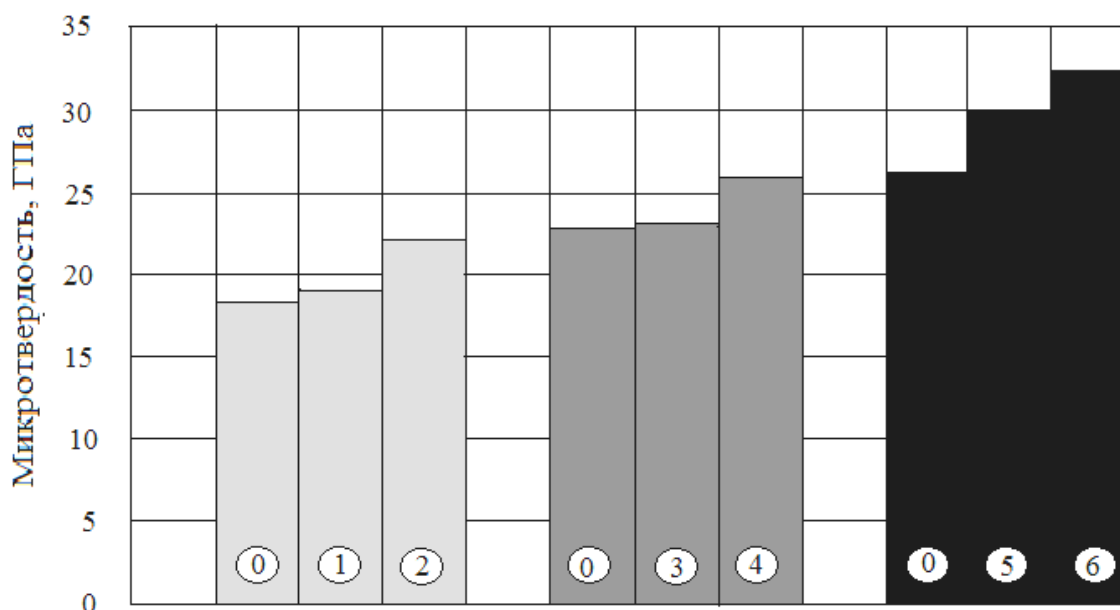


Рисунок 1. Микротвердость порошков твердых сплавов, полученного в разных рабочих жидкостях: 0 – промышленный порошок, 1 – ВК8 в керосине, 2 – ВК8 в воде, 3 – ТТ20К9 в керосине, 4 – ТТ20К9 в воде, 5 – Т15К6 в керосине, 6 – Т15К6 в воде.

Установлено, что порошки, полученные ЭЭД отходов вольфрамсодержащих твердых сплавов в воде дистиллированной, обладают большей микротвердостью по сравнению с порошками, полученными ЭЭД отходов вольфрамсодержащих твердых сплавов в керосине осветительном.

В общем случае, порошки, полученные методом ЭЭД, обладают большей микротвердостью, чем исходные сплавы, что объясняется спецификой процесса порошкообразования при ЭЭД.

*\*Работа выполнена в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ ПЕРЕХОДОВ В ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛАХ**

***Фомин А.А., Попов О.Н., Rogov И.В., Майникова Н.Ф.  
ФГБОУ ВПО "Тамбовский государственный технический университет"***

Все усложняющиеся задачи по повышению качества промышленной продукции, надежности объектов требуют дальнейшего совершенствования методов и средств контроля и диагностики состояний изделий из полимерных материалов. Широкое применение полимерных материалов обусловлено разнообразием их свойств, которые можно изменять, используя новые технологии. Гибкость молекул полимеров обеспечивает наличие ряда агрегатных и фазовых состояний, богатство морфологических структур кристаллических образований, различные физические и релаксационные состояния аморфного полимера. Введение пластификаторов, наполнителей в полимерные материалы влияет на все типы состояний и переходов в готовых изделиях при эксплуатации. Изучение суперпозиций состояний и переходов полимерных материалов необходимо для назначения технологических режимов их переработки в изделия и последующей эксплуатации.

Применяющиеся для изучения полимерных материалов рентгеновские методы, дифференциальный термический анализ, дифференциальная сканирующая калориметрия и др. требуют изготовления специальных образцов, длительного времени испытания, использования дорогостоящего оборудования.

В данной работе рассматривается тепловой метод неразрушающего определения температурных характеристик структурных переходов (твердофазных, релаксационных) в полимерных материалах, сопровождающихся тепловыми эффектами [1].

Согласно измерительной схеме, представленной на рис. 1, тепловое воздействие на исследуемое полимерное тело, имеющее равномерное начальное температурное распределение, осуществляется с помощью двух линейных нагревателей постоянной мощности, встроенных в подложку измерительного зонда. Начальное температурное распределение контролируется одновременно пятью термоэлектрическими преобра-

зователями, расположенными на поверхности подложки измерительного зонда. Нагреватели, выполненные в виде полос шириной  $2h = 2,2$  мм, расположены на расстояниях 2,75 мм по обе стороны от центральной оси измерительного зонда. Один термоприемник расположен на линии центральной оси зонда, остальные термоприемники находятся по обе стороны от нее на расстояниях 2,7 и 4,8 мм.

Возможна регистрация первой производной по времени от температуры, выражающей скорость ( $V$ ) изменения этой величины на кривых температурных зависимостей от времени, что позволяет осуществлять неразрушающий контроль значений температуры структурных переходов в полимерных материалах без дополнительной калибровки измерительной системы.

В результате проведенного численного моделирования процесса теплопереноса методом конечных элементов в соответствии с измерительной схемой (рис. 1) получены термограммы в заданных точках контроля (рис. 2). Моделирование проводилось при следующих условиях: подложка измерительного зонда выполнена из пенополиуретана марки «Рипор» ( $\lambda = 0,028$  Вт/(м·К),  $c = 1050$  Вт/(м·К),  $\rho = 50$  кг/м<sup>3</sup>); объект исследования – полиамид блочный, ПА – 6 ( $\lambda = 0,3$  Вт/(м·К),  $c = 1750$  Вт/(м·К),  $\rho = 1550$  кг/м<sup>3</sup>). Режимные характеристики: тепловая мощность на нагревателе задавалась в интервале от 4,2 до 7,5 Вт; частота дискретизации  $\Delta\tau = 0,5$  с. Структурный переход в ПА – 6, сопровождающийся эндотермическим тепловым эффектом, моделировался скачком теплоемкости в интервале от 27,5 до 29,5 °С.

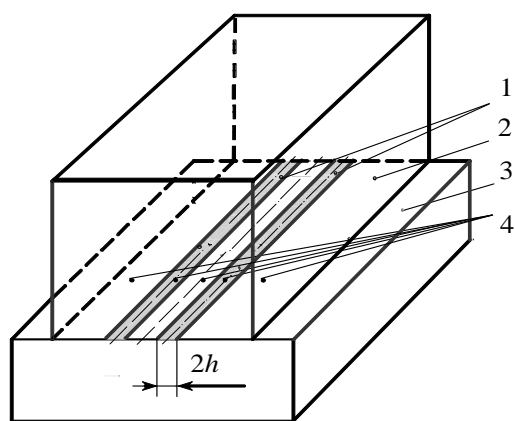


Рисунок 1. Измерительная схема:  
1 – нагреватель, 2 – подложка измерительного зонда,  
3 – исследуемое тело,  
4 – термоприемники.

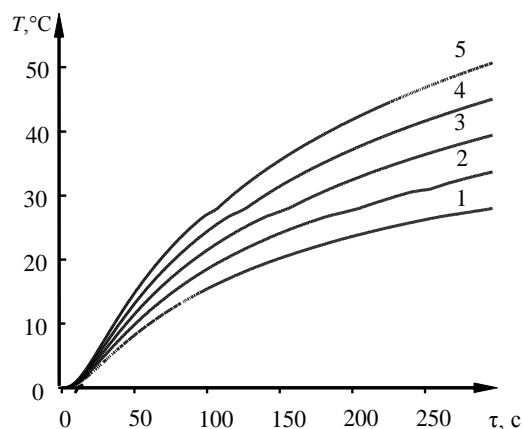


Рисунок 2. Термограммы, полученные на линии центральной оси измерительного зонда при различных значениях теплового потока: 1)  $q_1 = 5000$  Вт/м<sup>2</sup>; 2)  $q_2 = 6000$  Вт/м<sup>2</sup>; 3)  $q_3 = 7000$  Вт/м<sup>2</sup>; 4)  $q_4 = 8000$  Вт/м<sup>2</sup>; 5)  $q_5 = 9000$  Вт/м<sup>2</sup>.



На рис. 2 представлены термограммы, полученные в точке контроля, расположенной на линии центральной оси измерительного зонда, при различных значениях теплового потока: 1)  $q_1 = 5000 \text{ Вт/м}^2$ ; 2)  $q_2 = 6000 \text{ Вт/м}^2$ ; 3)  $q_3 = 7000 \text{ Вт/м}^2$ ; 4)  $q_4 = 8000 \text{ Вт/м}^2$ ; 5)  $q_5 = 9000 \text{ Вт/м}^2$ .

На рис. 3 представлены зависимости скорости нагрева исследуемой точки поверхности изделия от времени (рис. 3 а) и от температуры (рис. 3 б). Из представленных данных видно, что твердофазное превращение в ПА – 6, сопровождающееся поглощением тепла, проявилось на зависимостях  $V = f(\tau)$ ;  $V = f(T)$  в узком интервале значений температуры от 27,5 до 29,5 °С.

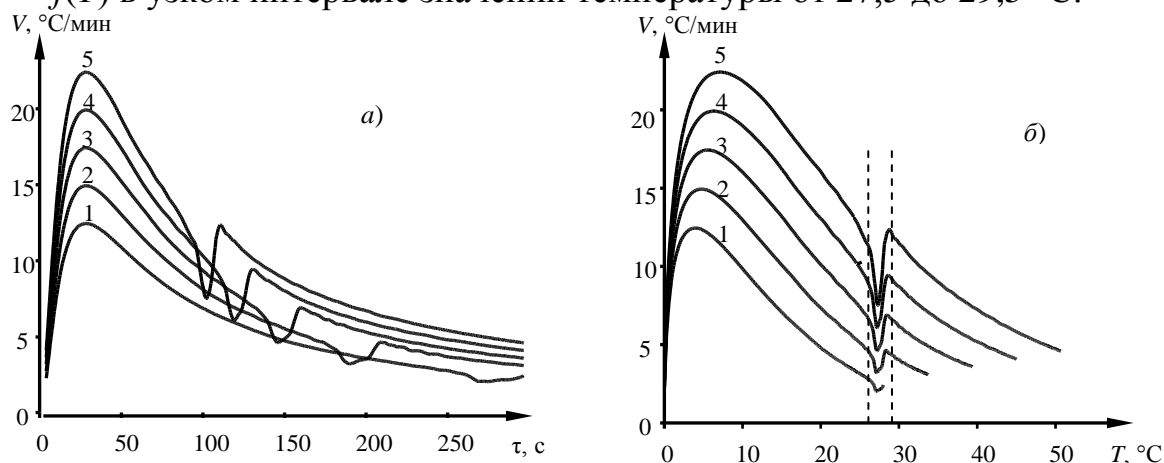


Рисунок 3. Зависимости: а)  $V = f(\tau)$ ; б)  $V = f(T)$ : 1)  $q_1 = 5000 \text{ Вт/м}^2$ ; 2)  $q_2 = 6000 \text{ Вт/м}^2$ ; 3)  $q_3 = 7000 \text{ Вт/м}^2$ ; 4)  $q_4 = 8000 \text{ Вт/м}^2$ ; 5)  $q_5 = 9000 \text{ Вт/м}^2$ .

На рис.3 (а) твердофазное структурное превращение явно проявилось в исследуемой точке полимерного объекта (на линии центральной оси измерительного зонда) при достижении температуры структурного перехода по мере нагревания в соответствующее время.

Таким образом, структурные превращения в полимерных материалах, сопровождающиеся тепловыми эффектами, могут быть зафиксированы разработанным методом по изменениям скорости нагрева.

#### Список используемых источников

1. Многомодельные методы в микропроцессорных системах неразрушающего контроля теплофизических характеристик материалов / С.В. Мищенко, Ю.Л. Муромцев, Н.П. Жуков, Н.Ф. Майникова, И.В. Рогов, О.Н. Попов. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 112с.

# УТЕПЛЕНИЕ ФАСАДОВ ЖИЛЫХ ДОМОВ ПЕРВЫХ МАССОВЫХ СЕРИЙ

*Хорсева Т.Н.*

*Работа выполнена под руководством доцента, к.т.н. Матвеевой И. В.  
ТГТУ, Кафедра «Городское строительство и автомобильные дороги»*

Тамбов – старый русский город с множеством неоспоримых достоинств. Многогранная интересная многовековая история города наложила свой отпечаток на современную жизнь и внешний облик современного Тамбова. Тамбов не прекратил своего развития и поныне. Город растёт и развивается, благоустраивается и хорошеет.

Однако, на сегодняшний момент в городе имеется много серьёзных проблем. Большую озабоченность вызывает состояние объектов жилищно-коммунального хозяйства. В целом по России ежегодно в категорию аварийного жилья переходит до 4% общей площади жилищного фонда. Задержка с решением этой проблемы еще на 10-15 лет может привести к тому, что из эксплуатации придется вывести около 20% жилого фонда, как непригодного для проживания. Возможный путь выхода из этой ситуации – смена приоритетов в градостроительной политике в сторону преобладания реконструкции над новым строительством. В частности, реконструкция жилых домов первых массовых серий.

Как правило, под реконструкцией здания подразумевается переустройство жилого дома с целью совершенствования его объемно-планировочных решений и архитектурных качеств с осуществлением перепланировки квартир и секций, в том числе с изменением их функционального назначения, а также конструктивно-технических и инженерно-технических решений с учетом современных требований при изменении объема жилого дома путем пристройки, надстройки (мансардным этажом) или разборки частей жилого дома.

Типовые 4 и 5-этажные дома, сыгравшие свою роль в решении жилищной проблемы во второй половине XX столетия, уже не отвечают современным требованиям (несовершенство объемно-планировочных решений, неудовлетворительные эксплуатационные характеристики конструкций, однообразный и невзрачный внешний облик зданий и застройки в целом)

Ограждающие конструкции таких зданий не соответствуют современным требованиям по тепло- и гидроизоляции жилых помещений, шумозащите. Поэтому, неотъемлемой частью мероприятий по реконструкции или капитальному ремонту жилых зданий является повышение их тепловой эффективности в соответствии с радикально изменившимися нормативными требованиями по теплозащите зданий. Низкие теплозащитные качества наружных ограждений "пятиэтажек" являются основной причиной того, что удельный расход топлива на 1 кв. м общей площади в Российской Федерации

превышает аналогичный показатель стран Западной Европы и Северной Америки в 2,5-3 раза. Несовершенство систем отопления и горячего водоснабжения не позволяет службам эксплуатации и жителям оперативно регулировать, контролировать и вести учет фактического теплопотребления и, как следствие, влиять на уровень своих затрат в этой области.

В соответствии с современными строительными нормами требуемое сопротивление теплопередаче увеличилось в 3-3,5 раза. Рост цен на тепловую энергию и коммунальные услуги также выдвигает на передний план жизненно важную потребность в повышении теплозащиты зданий для снижения затрат на отопление в процессе эксплуатации.

Утепление фасада может производиться как снаружи помещения, так и внутри его. Притом, что работы по утеплению внутри здания производить технически проще, этот метод не получил широкого распространения по ряду причин: при таком методе сокращается площадь помещений здания, стены не прогреваются, из-за воздействия перепадов температур они со временем разрушаются. На стенах накапливается конденсат водяных паров, что приводит к поражению грибком и плесенью.

Преимущества наружного утепления фасада заключается в следующем:

- стены надежно защищены от сезонных и суточных температурных колебаний и воздействия осадков – одной из основных причин их разрушения;

- точка росы, вынесенная за конструкцию стены, позволяет избежать конденсата, намокания и последующего образования грибкового налёта;

- одновременно с утеплением здания и защитой его от воздействия атмосферных явлений повышается его звукоизоляция.

На сегодняшний день активно используется несколько технологий теплоизоляции фасадов:

- штукатурные системы (легкие и тяжелые);

- трехслойные системы утепления (фасады с колодцевой кладкой);

- вентилируемые фасады;

- утепление пенополиуретаном.

Для жилых домов первых массовых серий можно использовать штукатурные способы утепления фасадов, называемые «мокрыми».

Штукатурные системы утепления фасадов «мокрого» типа рассчитаны на срок службы не менее 25 лет. Мокрый фасад обеспечивает механическую и экологическую безопасность.

Помимо невысокой цены, они обладают целым рядом преимуществ:

- возможность воплощать самые разные архитектурные решения;

- теплоизоляция откосов;

- возможность в дальнейшем обновлять фасад дома.

Основу наружной системы штукатурного фасада здания составляют три основных слоя:

- теплоизоляционный слой, представляющий собой утеплитель с низким коэффициентом теплопроводности (минеральная вата плотностью > 140 кг/м<sup>3</sup> или фасадный пенопласт марки ПСБ-С-25Ф). Крепление

утеплителя к несущей конструкции здания осуществляется специальным клеем и дюбелями для теплоизоляции;

- армирующий слой, образуемый нанесением на минеральную вату или пенопласт специальной клеящей армирующей штукатурки и прочной стекловолоконной щелочестойкой сетки;

- защитно-декоративный слой штукатурки, выполняемый с применением декоративной фасадной штукатурки на минеральной, акриловой, силикатной или силиконовой основе.

Существует два вида штукатурных систем: легкие и тяжелые.

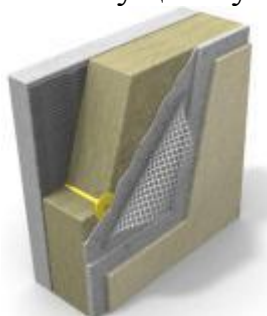


Рисунок 1. Легкая штукатурная фасадная система

Легкие штукатурные системы представляют собой многослойную теплоизоляционно-декоративную систему, в которой утеплитель закрепляется при помощи клеевых растворов и механического крепления на наружной стороне стены и покрывается армированным защитно-декоративным слоем штукатурки. Суммарная толщина штукатурных слоев, как правило, не превышает 15 мм. Среди преимуществ легких штукатурных систем утепления фасадов - использование современных экологически чистых материалов.

Тяжелые штукатурные фасадные системы состоят из последовательности наносимых друг на друга слоев утеплителя и штукатурных составов, несущие функции в которых выполняет армирующая сетка. При этом толщина штукатурных слоев после слоя теплоизоляции, в отличие от легких штукатурных систем, может достигать 50 мм. Особенностью тяжелых штукатурных систем утепления фасадов является раздельная работа стены и теплоизоляционного слоя. Таким образом, при изменении погодных условий в декоративном покрытии возникает меньше деформаций.



Рисунок 2. Тяжелая штукатурная фасадная система

Утепление фасада – это важнейший этап любого строительства. Такие мероприятия позволяют существенно сократить расходы на коммунальные платежи за отопление помещений, продлят срок его существования, создадут уют и комфорт внутри дома.

#### Список используемых источников

1. Реконструкция зданий: методические указания / сост.: В.И. Леднев, А.М. Макаров, И.В. Матвеева. – Тамбов ГОУ ВПО ТГТУ 2010 г.
2. Овсянников С.Н. Повышение энергоэффективности жилых зданий в процессе реновации жилищного фонда / С.Н.Овсянников, Т.Ю.Овсянникова // Academia. Архитектура и строительство – М. ,2009.-№5-С. 313-318
3. <http://archives.maillist.ru/75867/159793.html>
4. [http://tambov.news-city.info/docs/sistemsf/dok\\_ieresb.htm](http://tambov.news-city.info/docs/sistemsf/dok_ieresb.htm)
5. <http://www.nestor.minsk.by/sn/1998/43/sn84320.htm>

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ ТВЕРДОФАЗНОЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ ПТФЭ С УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ\*

*Кобзев Д.Е., Баронин Г.С., Червяков В.М., Хабаров С.Н.  
Тамбовский государственный технический университет  
НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии»  
[baronin-gs@yandex.ru](mailto:baronin-gs@yandex.ru)*

Все больший размах набирают исследования в области обработки полимерных материалов давлением в твёрдой фазе. Это обусловлено рядом преимуществ данного вида технологии над традиционными. Твёрдофазная технология лишена значительных недостатков традиционной технологии получения изделий через стадию расплава (длительные и энергоёмкие стадии нагрева и охлаждения; большая технологическая усадка; трудности переработки некоторых материалов, требующих дополнительной механической обработки и т.д.). В ходе экспериментальных исследований в работе оценивается совместное воздействие твёрдофазной экструзии и ультразвуковых колебаний на обрабатываемый композиционный материал.

Применительно к твёрдофазной технологии ультразвук используется впервые, и наши проведенные исследования позволяют говорить об обоснованности данного направления интенсификации технологии. Полученные экспериментальные данные показывают снижение необходимого давления формования примерно на 40 % и увеличению прочности в условиях срезающих напряжений на 25 %.

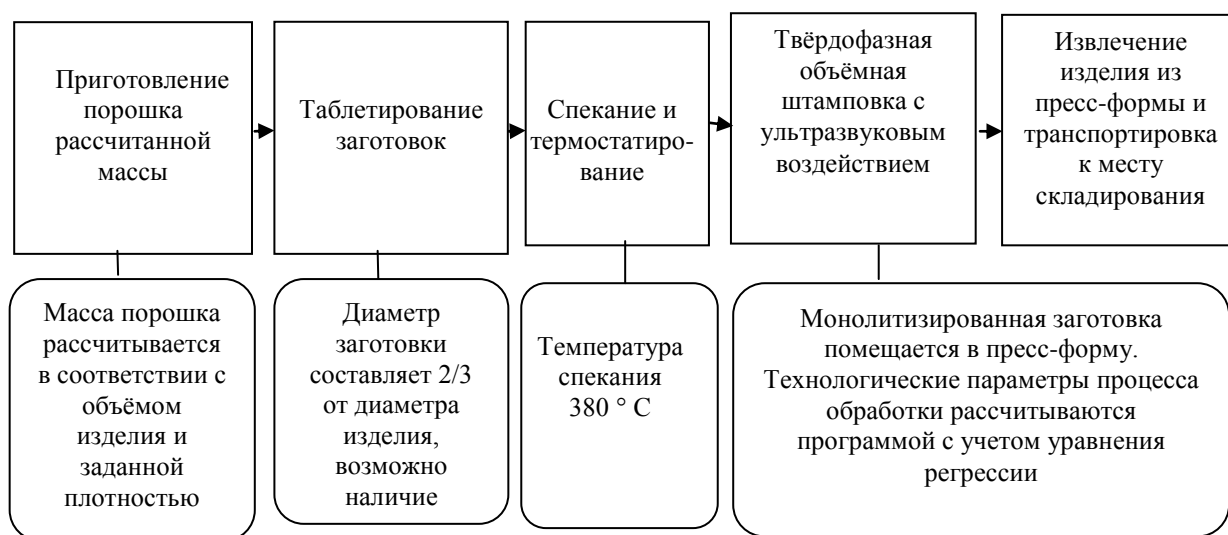


Рисунок 1. Разработанная схема технологической линии твёрдофазной объёмной штамповки полимеров с ультразвуковым воздействием.

Классически изделие формируется из полимерного проката посредством механической обработки заготовок и нагревания их до требуемой температуры (рисунок 1), вследствие чего все же имеются отходы, особенно

когда требуемый диаметр заготовки не попадает в стандартный ряд промышленного проката и требуется наличие дополнительного внутреннего отверстия.

Разработанный вариант позволяет получать изделия из порошка фторопласта, который значительно дешевле проката. В предлагаемом способе заготовка изготавливается классическим способом прессования с последующим спеканием в термошкафу, что не вызовет дополнительных сложностей в производственных условиях.

Новизной и достоинствами разработанного способа является производство изделий с заданными свойствами (плотностью и физико-механическими свойствами); безотходность; высокая производительность, размерная точность и качество поверхности изделий; возможность использования существующего оборудования; повышение технико-экономических показателей производственного процесса [1-2].

При разработке технологического процесса объёмной штамповки полимеров и композитов ниже ( $T_{пл}$ ) стоит задача сохранить стабильность размеров изделий в широком температурном диапазоне, обеспечить предельные температуры эксплуатации штампованных изделий не ниже литевых с повышенными физико-механическими характеристиками.

Для разработанной линии по твёрдофазной штамповке полимеров с ультразвуковым воздействием подбор стандартного оборудования для стадий фасования и таблетирования порошка с дальнейшим спеканием осуществляется по методикам, изложенным в [3]. Предусмотрены стадии подбора стандартного прессового оборудования и устройств транспортировки и манипулирования при разработке технологического процесса, опираясь на требуемую производительность технологической линии по аналогии со штамповкой металлов.

Подбор ультразвукового оборудования осуществляется, основываясь на акустических характеристиках обрабатываемых полимерных материалов основными из которых являются проникающая способность ультразвука. Подбирается стандартный ультразвуковой излучатель, который с учётом коэффициента поглощения сможет обеспечить необходимое воздействие на обрабатываемый материал.

Проведённый сравнительный расчет энергозатрат процесса твёрдофазного формования с предварительным конвективным нагревом и процесса формования, совмещённого с ультразвуковым воздействием, показывает снижение удельных энергозатрат процесса на 18 % и сокращение времени технологического цикла в два раза [2].

Новизной и достоинствами разработанного способа является производство изделий с заданными свойствами (плотностью, физико-механическими показателями) и повышенными технико-экономическими показателями производственного процесса: безотходность, высокая производительность, размерная точность и качество поверхности изделий, возможность использования существующего оборудования [1, 4]. Давление

прессования заготовки, температура и время последующего спекания принимаются стандартными для данных технологических операций.

Важной технологической операцией является то, что спечённую заготовку из термошкафа на воздухе охлаждают с 380 до требуемой температуры для последующего формования в пресс-форме. Остальные технологические параметры процесса задаются следующим образом: принимается значение частоты и мощности ультразвука в зависимости от объёма изделия и сложности его формы по установленным закономерностям, давление и время процесса формования при ультразвуковом воздействии рассчитываются из уравнения регрессии под заданное значение плотности изделия.

После разработки и монтажа технологической линии рекомендуется провести анализ плотности первой партии изделий и, если необходимо, произвести корректировку технологических параметров и массы порошка до достижения требуемого значения плотности с контролем геометрических параметров изделия. Следует отметить, что при разработке технологической схемы учтены рекомендации по интенсификации тепловых процессов, подробно изложенные в работе [3].

Разработанная схема получения изделий из порошка фторопласта является безотходной, следовательно, не загрязняет окружающую среду перерабатываемыми отходами. В самом технологическом цикле практически отсутствуют вредные выбросы в окружающую среду, улучшены условия труда с точки зрения экологической безопасности.

#### Список используемых источников

1. Кобзев, Д.Е. Повышение эффективности твёрдофазной объёмной штамповки полимеров ультразвуковым воздействием / Д.Е. Кобзев, Г.С. Баронин, В.М. Червяков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2011. – Т.17, №4. – С.963-968.

2. Кобзев, Д.Е. Интенсификация процесса твердофазного формования полимеров и композитов ультразвуковым воздействием: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08 / Д.Е. Кобзев. – Тамбов, 2012. – 173 с.

3. Головкин, Г.С. Проектирование технологических процессов изготовления изделий из полимерных материалов / Г.С. Головкин. – М.: Колос, 2007. – 399 с.

4. Переработка полимеров и композитов в твёрдой фазе: Учебное пособие / Г.С. Баронин и др. – Тамбов: Изд -во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 140 с.

*\*Работа поддержана Грантом президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ РФ код проекта НШ – 3550.2012.3.*

# ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА АДГЕЗИВА ТК-200 ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВЗАИМОРАСПОЛОЖЕНИЯ ОСЕЙ ВАЛОВ КПП АВТОМОБИЛЯ

*Кузнецов М.М., Ли Р.И.*

*Липецкий государственный технический университет,  
[mounteiner@mail.ru](mailto:mounteiner@mail.ru)*

Технологические процессы ремонта агрегатов трансмиссий должны наряду с восстановлением неподвижности посадок вал-подшипник, подшипник-корпус обеспечить необходимую кинематическую точность зубчатых зацеплений. Причем последняя будет зависеть в большей степени от точности взаиморасположения осей валов, которая, в свою очередь, определяется точностью размеров восстановленных деталей сборочной единицы.

Анализ результатов микрометражных исследований показывает, что 91% картеров КП имеют перекося и 78% - непараллельность осей посадочных отверстий больше допустимых значений, установленных техническими требованиями на ремонт агрегата. Причем если направление перекося всегда одностороннее, то направление непараллельности осей изменяется.

Решение задачи достижения необходимой точности зубчатого зацепления как на стадии ремонта сборочной единицы, так и в процессе ее эксплуатации видится в обеспечении допустимых значений замыкающих звеньев размерных цепей, лимитирующих ее долговечность. Для этого могут применяться как конструкторские, так и технологические методы достижения точности.

Отечественная химическая промышленность постоянно выпускает новые полимерные материалы, отличающиеся широким спектром потребительских свойств. Представляет научный и практический интерес исследование новых материалов для разработки прогрессивных технологий восстановления подшипниковых узлов автомобильного транспорта. Полимерные материалы эффективно компенсируют износ посадочных мест подшипников на валах и в корпусных деталях. Отсутствие изменений в структуре металла, деформации деталей, фреттинг-коррозии посадочных мест, снижение контактных напряжений определяют высокую эффективность использования полимерных материалов при ремонте машин.

На кафедре «Транспортные средства и техносферная безопасность» ЛГТУ проводятся исследования цианакрилатного клея ТК-200. Цианакрилатные клеи отличаются:

- высокой адгезией к металлам (стали, алюминию, латуни, титану и др.), пластическим массам (за исключением полиэтилена, полипропилена, фторопласта), стеклу, дереву, каучукам и т.д.;
- быстрым отверждением (время схватывания составляет от нескольких секунд до нескольких минут);



- сохранением рабочих характеристик при низких и высоких температурах.

Клеи являются однокомпонентными, не требуют специальных инициаторов или растворителей, не вызывают коррозии.

Процесс полимеризации клея ТК-200 исследовали диэлектрическим методом [1]. Исследования проводили при температуре  $T = 20^{\circ}\text{C}$ . В качестве образцов служили клеевые соединения подшипников 207 с валами. Валы изготовили из стали 45. Электрическую емкость клеевого шва соединения измеряли прибором Е7-11. О завершении полимеризации судили по стабилизации значений характеристик клеевого шва.

Деформационно-прочностные свойства клеевых соединений исследовали на образцах, представляющих клеевые соединения внутренних колец подшипников 209 с валами, изготовленными из стали 45. Зазор в соединении до склеивания обеспечивали шлифованием валов. Диаметральный зазор составлял 0,10; 0,15 и 0,20 мм. Для обеспечения соосности деталей клеевого соединения использовали центрирующие приспособления. Отверждение соединений проводили в течение 24 ч при температуре 10; 15 и  $20^{\circ}\text{C}$ . Прочность при аксиальном сдвиге и деформацию образцов измеряли на разрывной машине ИР 5047-50.

На рис. 1. показана кинетика отверждения клея ТК-200. Как следует из рисунка, клей имеет высокую скорость отверждения. Время завершения стадии монолитизации составляет  $t = 3,4; 2,3$  и  $1,7$  ч при температуре  $T = 10; 15$  и  $20^{\circ}\text{C}$  соответственно.

На рис. 2. показана зависимость прочности клеевых соединений ТК-200 при аксиальном сдвиге  $\tau$  от толщины клеевого шва  $h$ . Как следует из рисунка, клеевые соединения ТК-200 имеют высокую прочность. Максимальную прочность  $\tau = 33,3$  МПа имеют клеевые соединения ТК-200 с толщиной клеевого шва  $h = 0,05$  мм.

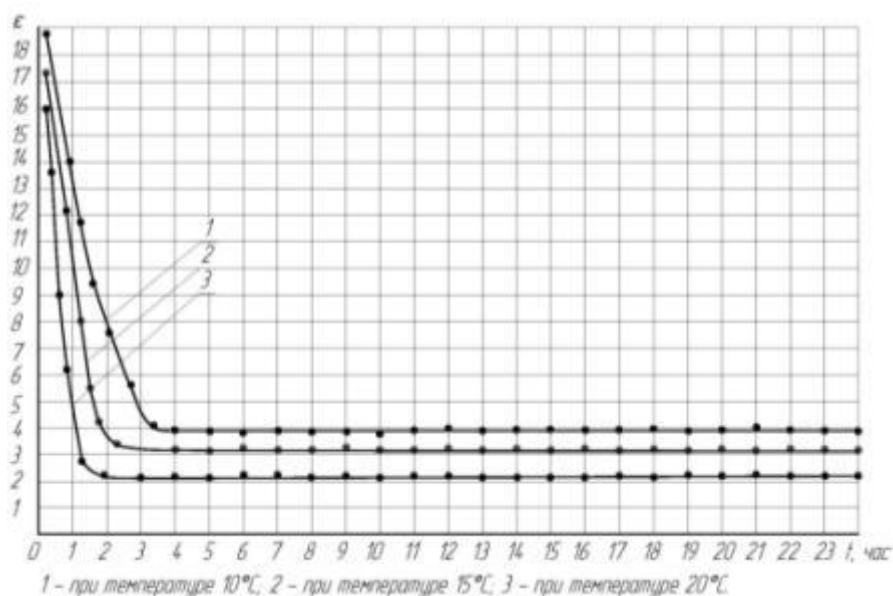


Рисунок 1. Зависимость диэлектрической проницаемости клеевого шва  $\epsilon$  от времени отверждения  $t$  клеевых соединений ТК-200.

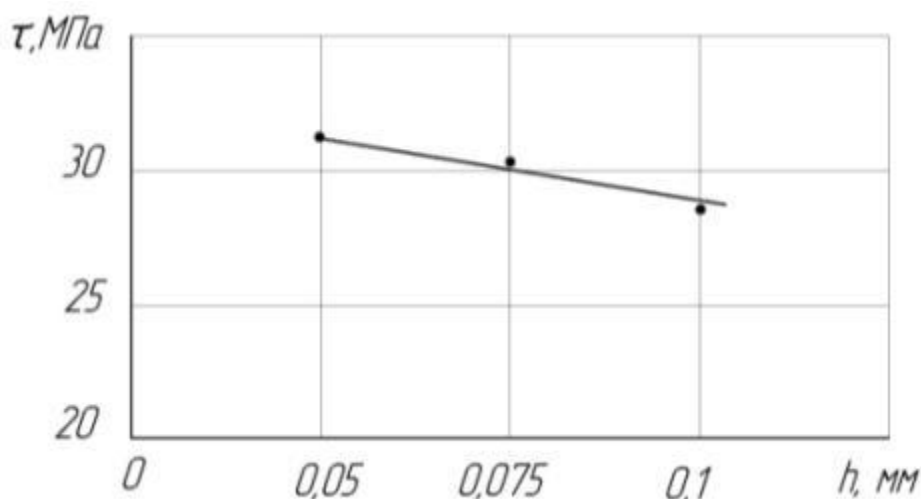


Рисунок 2. Зависимость прочности клеевых соединений ТК-200 при аксиальном сдвиге  $\tau$  от толщины клеевого шва  $h$ .

Это в 2,04 раза больше прочности клеевых соединений акрилового адгезива АН-105 (16,34 МПа) и 1,34 раза – анаэробного герметика АН-111 (24,8 МПа) [2, 3].

Исследования показали, что клей ТК-200 подходит для восстановления работоспособности КПП автомобиля. Клей имеет высокую скорость отверждения, а его клеевые соединения более высокую прочность, чем у исследованных ранее акрилового адгезива АН-105 и анаэробного герметика АН-111.

#### Список используемых источников

1. Ли, Р.И. Восстановление неподвижных соединений подшипников качения сельскохозяйственной техники полимерными материалами [Текст]: дис ... докт. техн. наук. / Ли Р. И. – М., 2001, – 340 с.
2. Щетинин, М.В. Восстановление неподвижных соединений подшипников качения сельскохозяйственной техники адгезивом Анатерм-105 [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Щетинин М. В. – Мичуринск, 2008. – 146 с.
3. Кондрашин, С.И. Восстановление неподвижных соединений подшипников качения сельскохозяйственной техники анаэробными герметиками с дисперсными минеральными наполнителями [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Кондрашин С. И. – Мичуринск, 2009. – 118 с.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДИСИЛИЦИДА МОЛИБДЕНА В РЕЖИМЕ СВС\*

*Михеев М.В., Столин А.М., Бажин П.М.*

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт  
структурной макрокинетики и проблем материаловедения Российской  
академии наук, г. Черноголовка, [mixeev777@rambler.ru](mailto:mixeev777@rambler.ru)*

В печах с окислительной средой или воздухом для их разогрева до температур 1650°С используются нагреватели на основе дисилицида молибдена. Промышленная технология получения этих нагревателей включает в себя более 50 операций, многие из которых технологически сложны, энергоемки и длительны по времени. Принципиально новый подход в организации технологического процесса получения высокотемпературных нагревателей открывается в связи с применением СВС-экструзии. Перспективность использования этого метода обусловлена возможностью за десятки секунд проводить синтез необходимого материала из порошков исходных компонентов формовать нагреватели заданного размера и формы. Изучение возможности получения дисилицида молибдена в режиме СВС позволит значительно упростить производство высокотемпературных нагревателей в целом, и должно дать значительный экономический эффект.

В данной работе были исследованы разные составы шихты для получения заготовки методом одноосного прессования. Изучены режимы прессования для получения оптимальных размеров и качества заготовок. Проведены термодинамические измерения процесса СВС выбранных составов шихтовых таблеток, где были получены важные термодинамические характеристики процесса горения, такие как, температура горения и скорость прохождения фронта горения. Так же исследовано влияние предварительного нагрева образцов на характеристики горения. Задачей следующего этапа исследований является изготовление нагревателей методом СВС-экструзией.

*\*Исследование выполнено в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (Государственное соглашение 14.А18.21.0105 по обобщенной теме «Выполнение научных исследований молодыми учеными и преподавателями в интересах развития высокотехнологичных секторов экономики в области спецметаллургии») в научно-образовательном «Центре наноматериалов и нанотехнологий» на оборудовании ЦКП «Материаловедение и металлургия» НИТУ «МИСиС».*

# ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ФТОРПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СМЕСИ ПТФЭ И ДИОКСИДОВ ТИТАНА И КРЕМНИЯ\*

*Худяков В.В.<sup>1</sup>, Завражин Д.О.<sup>1</sup>, Мещерякова Ю.В.<sup>1</sup>, Кантаев А.С.<sup>2</sup>,  
Дьяченко А.Н.<sup>2</sup>, Бузник В.М.<sup>3</sup>, Баронин Г.С.<sup>1</sup>*

*1 – Тамбовский государственный технический университет, НОЦ  
ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии», г. Тамбов,*

*2 – Национальный исследовательский Томский Политехнический  
Университет, г. Томск,*

*3 - Институт металлургии и материаловедения РАН им. А.А. Байкова,  
г. Москва*

Работа посвящена исследованию эксплуатационных свойств композиционных материалов на основе молекулярной смеси ПТФЭ с  $TiO_2$  и ПТФЭ с  $SiO_2$ . Технология получения композиционных материалов включает стадии перевода компонентов добавки ( $TiO_2$  и  $SiO_2$ ) в газовую фазу, пиролиза ПТФЭ и конденсации продуктов пиролиза с образованием молекулярных композиционных материалов.

В случае получения молекулярной смеси ПТФЭ с  $TiO_2$  и ПТФЭ с  $SiO_2$  композиты получали по технологии, изложенной в работе [1].

В настоящей работе молекулярные композиты ПТФЭ с  $TiO_2$  и ПТФЭ с  $SiO_2$  использовались в качестве модифицирующих добавок к ПТФЭ. В этом случае молекулярный композит ПТФЭ с  $TiO_2$  обозначен как ТФП, а ПТФЭ с  $SiO_2$  – КФП. Были приготовлены композиты с содержанием ТФП и КФП 0,05; 0,1; 0,5; 1 и 5 масс. част. на 100 масс. част. ПТФЭ.

Для оценки эксплуатационных показателей полимерных композитов, полученных по новой технологии, в настоящей работе проведены следующие испытания:

- определение удельной скорости поглощения энергии в зависимости от температуры образцов, полученные на модернизированном дифференциальном сканирующем калориметре на базе прибора DSC-2, который позволяет регистрировать тепловые эффекты при линейном изменении температуры образца;

- при определении теплостойкости и внутренних ориентационных напряжений был использован метод построения диаграмм изометрического нагрева (ДИН);

- определение теплопроводности и температуропроводности на информационно-измерительной системе неразрушающего контроля теплофизических свойств твердых материалов;

- оценка прочностных свойств в условиях одноосного растяжения и срезающих напряжений;

- измерение твердости по Шору.

Полученные зависимости удельной скорости поглощения энергии, теплопроводности, температуропроводности полимерной системы на основе ПТФЭ в области малых добавок (до 1 м.ч.) имеют экстремальный характер (рис. 1, 2).

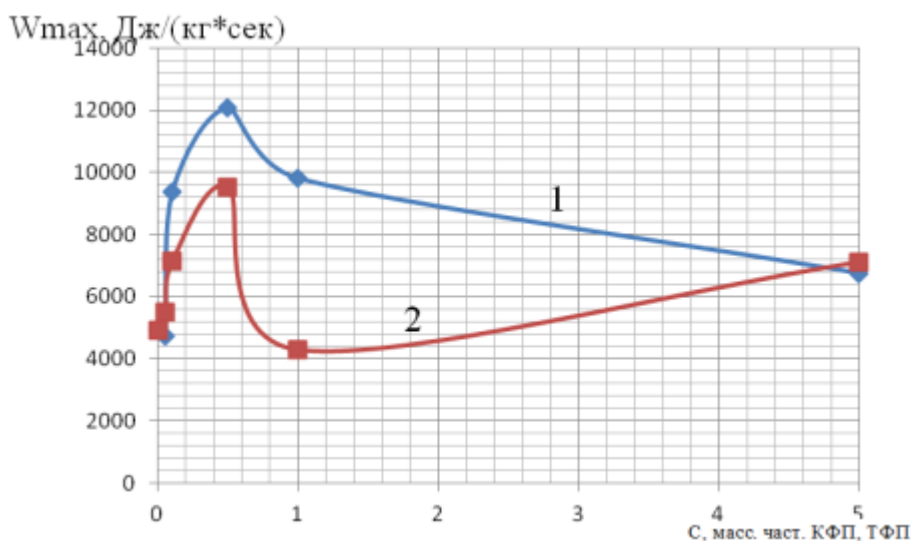


Рисунок 1. График зависимости максимальной скорости поглощения энергии образцов полимерной системы от содержания модифицирующей добавки: 1 – ПТФЭ + КФП; 2 – ПТФЭ + ТФП.

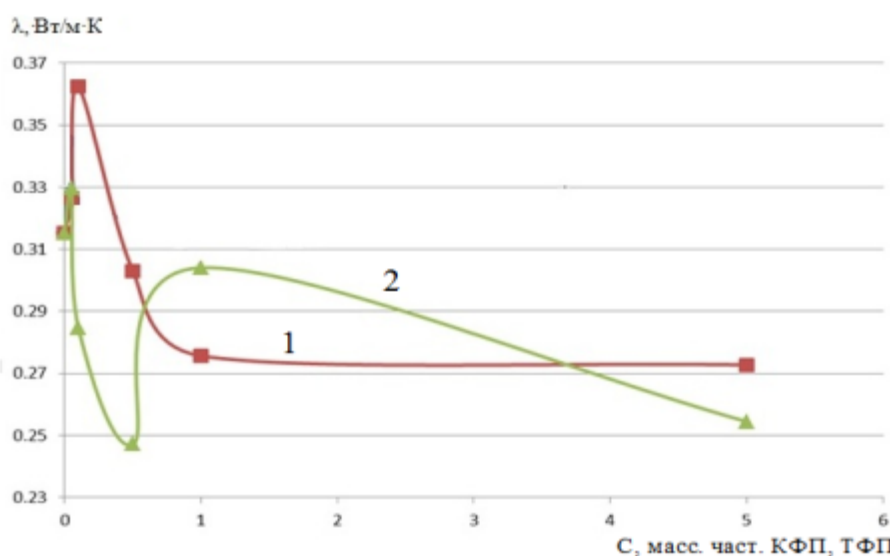


Рисунок 2. График зависимости теплопроводности образцов полимерной системы от содержания модифицирующей добавки: 1 – ПТФЭ + КФП; 2 – ПТФЭ + ТФП.

Аналогичные качественно результаты получены и при физико-механических испытаниях (рис. 3, 4).

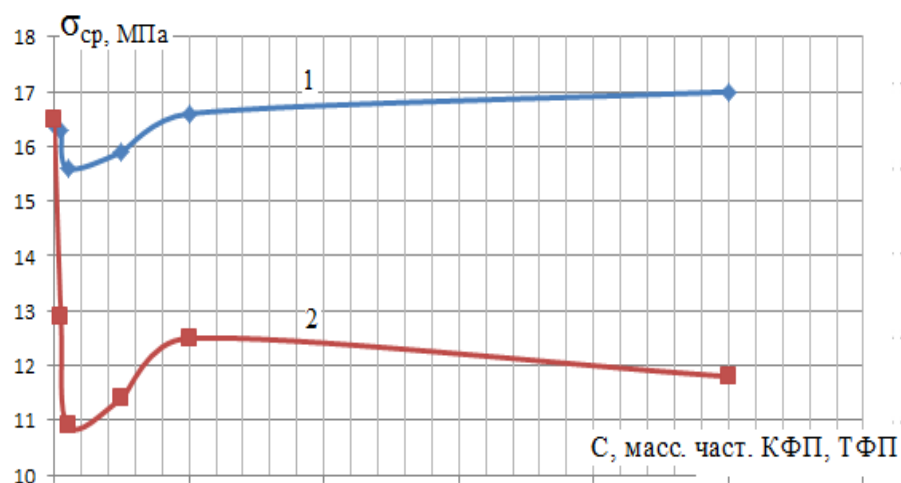


Рисунок 3. Зависимости прочности в условиях срезающих напряжений полимерной системы ПТФЭ + КФП (1) и ПТФЭ + ТФП (2) от содержания модифицирующей добавки, соответственно КФП и ТФП. Жидкофазные материалы.

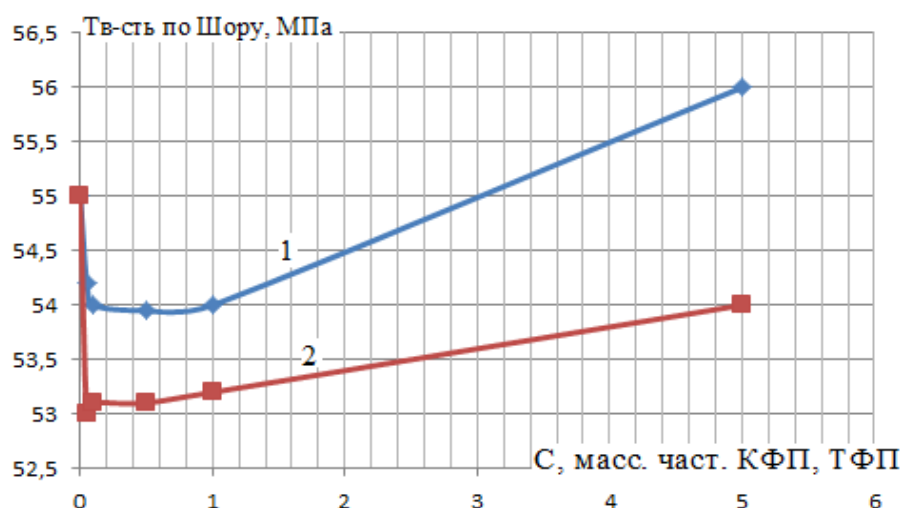


Рисунок 4. Зависимости твердости по Шору полимерной системы ПТФЭ + КФП (1) и ПТФЭ + ТФП (2) от содержания модифицирующей добавки, соответственно КФП и ТФП. Жидкофазные материалы.

В заключении следует отметить, что в работе выявлена возможность регулирования структуры и свойств полимерных композитов на основе ПТФЭ малыми добавками неорганической природы ( $\text{TiO}_2$  и  $\text{SiO}_2$  и др.), что позволило распространить известный метод легирования органических и неорганических материалов на технологию получения молекулярных композиционных полимеров.

#### Список используемых источников

1. Кантаев А.С. Фторидная технология производства композиционных материалов с использованием оксидов титана и кремния при переработке политетрафторэтилена. Автореферат дисс. на уч. ст. к.т.н., Томск – 2012.

*\*Работа поддержана Грантом президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ РФ, код проекта НШ – 3550.2012.3*

# МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ЭПОКСИДНЫЕ КОМПОЗИТЫ – ПОЛИМЕРЫ XXI ВЕКА

*Мостовой А.С., Яковлев Е.А., Санукова А.А., Плакунова Е.В.*

*Энгельский технологический институт (филиал)  
ФГБОУ ВПО Саратовского государственного технического  
университета имени Гагарина Ю.А., [Mostovoy19@rambler.ru](mailto:Mostovoy19@rambler.ru)*

Эпоксидные смолы впервые были синтезированы более 50 лет назад, но по-прежнему остаются одними из важнейших видов синтетических смол, используемых в различных отраслях промышленности, что обусловлено целым комплексом их положительных технологических и эксплуатационных свойств. Наличие в них реакционноспособных эпоксидных и гидроксильных групп, позволяет осуществлять их модификацию с получением смол нового поколения. Они могут использоваться в качестве различных лакокрасочных материалов, порошковых красок и связующих для композиционных материалов различного назначения - от спортивного инвентаря до элементов конструкций самолетов, ракет и судов [1, 3].

Обладая комплексом положительных свойств, эпоксидные смолы имеют существенные недостатки – высокую горючесть, жесткость и относительно низкие физико-механические свойства, особенно устойчивость к удару, вследствие ограниченной подвижности межузловых участков пространственной сетки [1-2].

Для решения поставленной проблемы в качестве модифицирующих добавок применялись: пластификатор-антипирен трихлорэтилфосфат (ТХЭФ) и полититанаты калия (ПТК).

Для снижения горючести эпоксидных полимеров, относящихся к классу карбонизирующихся материалов, в качестве замедлителей горения эффективнее использовать фосфорсодержащие соединения, инициирующие процессы карбонизации. В связи с этим, в исследованиях применялся ТХЭФ, содержащий в своем составе ингибиторы горения, такие как Р и Сl, оказывающих влияние на процессы структурирования полимера при воздействии на него повышенных температур, что позволяет нивелировать недостатки эпоксидных полимеров – их легкую воспламеняемость и высокую горючесть [3].

Пиролиз ТХЭФ происходит в температурном интервале близком к температуре разложения эпоксидного полимера, что обеспечит эффективное влияние продуктов его разложения на деструкцию эпоксидной композиции, что и доказано проведенными исследованиями.

При введении ТХЭФ увеличивается выход карбонизованных структур, а также при пиролизе образуется Сl, который попадая в газовую фазу, разбавляет горючие газы, снижая концентрационный предел воспламенения. Такие изменения в конденсированной и газовой фазах проявляется в

процессе горения. Образцы не поддерживают горение на воздухе и относятся по показателям, характеризующим процессы воспламенения и горения, к трудносгораемым материалам.

Отверждение таких многокомпонентных систем является сложным многостадийным процессом, включающим как образование пространственно сшитой полимерной матрицы, так и формирование ее структуры. Поскольку эти процессы в отверждающихся композициях протекают одновременно, они взаимно влияют на механизм и кинетику каждого [4].

Изучение кинетики отверждения показало, что для исходного олигомера формирование разветвленных макромолекул при отверждении протекает в течение 22 мин. С ростом завершенности реакции отмечен резкий подъем температуры до 160<sup>0</sup>С, табл.1.

Введение ТХЭФ в количестве 30 масс.ч. в эпоксидный олигомер увеличивает жизнеспособность состава и снижает тепловые выделения при отверждении, а введение малых добавок (0,1 масс.ч.) ПТК в пластифицированную композицию ускоряет процесс структурообразования – сокращается время гелеобразования с 36 до 23 мин и время отверждения с 59 до 41 мин, а также снижается температура отверждения со 140<sup>0</sup>С до 95<sup>0</sup>С, табл.1.

Также установлено влияние ПТК, интеркалированного ионами Ni, на кинетику отверждения эпоксидной композиции. Введение 0,1 масс.ч. ПТК(Ni) замедляет процесс структурообразования – увеличивается время гелеобразования с 36 до 60 мин и время отверждения с 59 до 87 мин., а также снижается максимальная температура отверждения со 140 до 82<sup>0</sup>С, табл.1.

Таблица 1.

Значения показателей отверждения эпоксидных композиций

Состав композиции, масс.ч., отвержденной 15 масс.ч. ПЭПА	Время гелеобразования, мин	Время отверждения, мин	Максимальная температура отверждения, <sup>0</sup> С
ЭД-20	22	30	160
70ЭД-20+30ТХЭФ	36	59	140
70ЭД-20+30ТХЭФ+0,1ПТК	23	41	122
70ЭД-20+30ТХЭФ+0,1ПТК(Ni)	60	87	82

Таким образом, доказано, что введение небольших количеств ПТК (как интеркалированных ионами Ni, так и неинтеркалированных) позволяет регулировать процессы структурирования эпоксидного композита.

Так как модификаторы влияют на процессы структурообразования эпоксидных композиций, следовательно, возможно изменение их физико-механических свойств.

Анализ физико-механических свойств показал, что при введении в эпоксидный олигомер ТХЭФ увеличивается (в 2 раза) разрушающее напряжение при изгибе и увеличивается (2,3 раза) ударная вязкость, табл.2.



Введение в малых количествах (0,1 масс.ч.) ПТК приводит к возрастанию твердости, теплостойкости, кроме того, при таком малом содержании ПТК повышается кислородный индекс с 25 до 27-28 % объемных, что дополнительно подтверждает влияние ПТК на структурообразование и структуру эпоксидного полимера, табл.2.

Таблица 2

Свойства эпоксидных полимеров

Состав композиции, отвержденной 15 масс.ч. ПЭПА, масс.ч.	Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	Твердость по Бринеллю, МПа	КИ, % об
100ЭД-20	17	3	110	19
100ЭД-20+30ТХЭФ	34	7	80	25
70ЭД-20+30ТХЭФ+0,1ПТК	44	8	105	27
70ЭД-20+30ТХЭФ+0,1ПТК(Ni)	72	10	130	28

Более высокими прочностными показателями обладают эпоксидные композиты, наполненные ПТК(Ni). Введение ПТК(Ni) в эпоксидный композит повышает его устойчивость к изгибающим нагрузкам с 34 до 72 МПа, к удару – с 7 до 10 кДж/м<sup>2</sup> и приводит к увеличению твердости с 80 до 130 МПа, табл.2.

Проведенные исследования показали возможность направленного регулирования физико-механических, физико-химических свойств эпоксидных композитов, за счет изменения рецептурного состава композиционного материала, с приданием ему комплекса новых свойств.

Список используемых источников

1. Плакунова Е.В. Модифицированные эпоксидные композиции / Е.В. Плакунова, Е.А. Татаринцева, Л.Г. Панова // Пластические массы. 2003. №2. С.39-40.
2. Асеева Р.М. Горение полимерных материалов. Р.М. Асеева, Г.Е. Заиков. М.: Наука, 1981. – 280 с.
3. Мостовой А.С. Модифицированные эпоксидные смолы как перспективные связующие полимерных композиционных материалов /Мостовой А.С., Плакунова Е.В., Панова Л.Г. //Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – 2011. – №2. – с. 34-37.
4. Плакунова Е.В. Исследование влияния состава эпоксидной композиции на кинетику процесса отверждения / Е.В. Плакунова, М.В. Пинкас, О.А. Мызникова, Л.Г. Панова // Пластические массы. – 2009. – № 1. – с. 9-11.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАНОМОДИФИЦИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Толчков Ю.Н., Кондаков А.И.*

*Работа выполнена под руководством к.т.н. Михалевой З.А.  
ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»  
Кафедра «Техника и технология производства нанопродуктов»*

Стойкость и долговечность бетона зависят, прежде всего, от микроструктуры и прочности химических связей цементной матрицы. Главный недостаток всех цементных материалов — хрупкость и явная склонность к раскалыванию. С добавлением волокон и микроволокон удаётся задержать развитие микротрещин, но не остановить их иницирование. Введение новых нановолокон открывает новую область для наноразмерного упрочнения бетона, которое должно теоретически препятствовать начальному формированию и более позднему распространению микротрещин. Один из самых востребованных и потенциально выгодных наноматериалов для наноразмерного упрочнения — углеродные нанотрубки (УНТ).

В данной работе изучается влияние введенных углеродных наноматериалов на прочностные свойства цементных матриц на основе портландцемента.

На основании работ, проводимых на кафедре «Техника и технологии производства нанопродуктов» появилась возможность сравнения достижений полученных на данной кафедре с зарубежным уровнем.

Результат исследований [1] показывает, что прочность образцов наномодифицированного мелкозернистого бетона на сжатие увеличивается в среднем на 20 – 25 %, а прочность на изгиб - 15 – 20 %.

Добавка наномодификатора в количестве 0,0006% от массы цемента обеспечивает стабильный рост прочностных характеристик на 20-25 %. Немаловажно отметить, была получена повторяемость результатов.

В результате экспериментов установлено, что образцы мелкозернистого бетона, модифицированные углеродным наноматериалом «Таунит» в среднем на 50% быстрее набирают прочность и в проектном возрасте имеют прочность на 20-25% больше, чем образцы обычного бетона.

Приведенные данные согласуются с общемировыми достижениями. Так в работе [2] было изучено влияние конфигурации МУНТ на прочностные свойства цементной матрицы: длинные и короткие МУНТ. Тестируемые образцы изготовлены из цементной пасты с низкой и высокой концентрацией МУНТ (0.048 % веса и 0.08 % веса (к цементу), соответственно), подвергнутых ультразвуковой обработке и находящихся в суперпластификаторе, отношение которого к МУНТ постоянно и равно 4. Результаты экспериментов показали, что короткие МУНТ с концентрацией

0.08% занимают первое место по упрочнению цементной матрицы на сжатие и второе место по упрочнению на изгиб, а длинны МУНТ с концентрацией 0.048% занимают первое место в упрочнении на изгиб и второе место по упрочнению на сжатие немногим уступая коротким.

Также, в работе [1] было проведено исследование на прочность при сжатии с большей концентрацией УНТ к цементу, чьи данные отражены на рисунке 1. Анализ рисунка позволяет сделать вывод о том, что лучший прирост прочности составляет 37% у образца с концентрацией УНТ равной 0.012%.

Схожие данные получены в работе [3] с внесением МУНТ, в количестве 0.5% от массы цемента, произошло увеличение прочности по сравнению с контрольным образцом на 30% или увеличение до 10.08МПа в сравнении с 7.73МПа у контрольного (данные получены на 28 день).

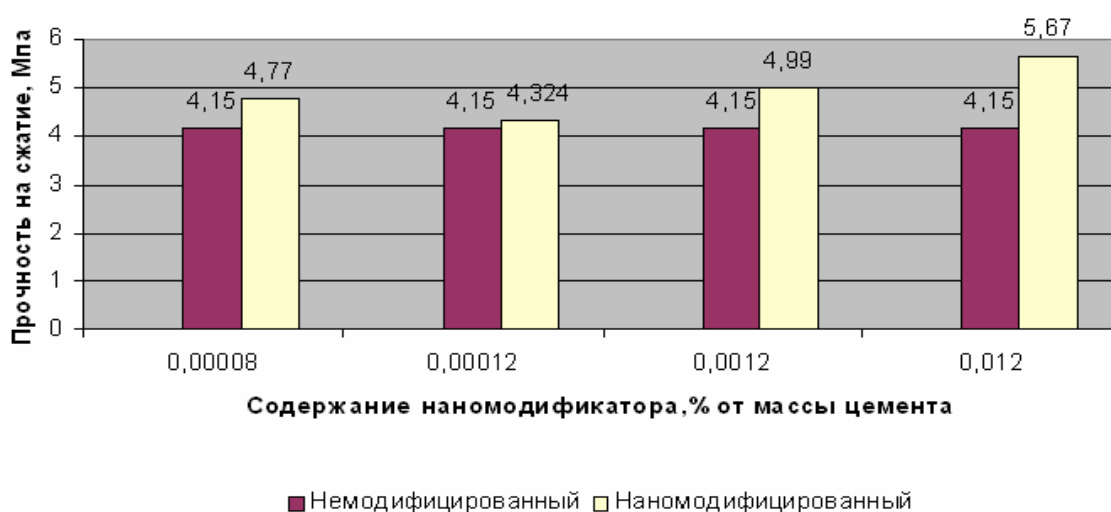


Рисунок 1. Влияние содержания УНМ «ТАУНИТ» на прочностные характеристики мелкозернистого бетона.

В работе [4] исследовано влияния модифицирования образцов мелкозернистого бетона углеродным наноматериалом, функционализированным карбоксильными группами. Замес мелкозернистого бетона осуществлялся при В/Ц соотношении 0,37. Расход УНМ 0.0006 от массы цемента. УНМ вводим в бетонное тесто с водой затворения. Для равномерного распределения УНМ в коллоидном растворе добавляем ПАВ (поливинилпирролидон). Соотношение ПАВ:УНМ = 2:1. Коллоидный раствор с УНМ и ПАВ приготавливается ультразвуковой установкой. Результаты тестов следующие: наибольший прирост прочности дает УНМ «Таунит М», который составляет на сжатие 26%, в то время как прочность на изгиб не изменилась либо ухудшилась на 25% в зависимости от типа УНТ «Таунит».

В работе [3] за счёт введения 0.5 % COOH-МУНТ увеличена прочность на сжатие до 19 %, в то время как предел на изгибу увеличивается на 25%.

Смеси, в которых находились функционализированные УНТ–COOHs, показали существенное увеличение прочности при сжатии [5]. Самое

значительное увеличение почти на 50 % достигается в соединении 22МК10, содержащий 0.045 % УНТ–СООНs. Экземпляр 21МК9 содержал почти в три раза больше —0.15 %, УНТ–СООНs дал меньшие показатели (у обоих образцов водно-цементное соотношение одинаково).

На основании приведенных работ можно сделать следующие выводы:

1. Введение углеродных нанотрубок в сверхмалых концентрациях приводит к упрочению цементной матрицы (прочность при сжатии возрастает на 20-30%).
2. Функционализации УНТ существенно зависит от типа УНТ, вследствие чего разнятся результаты, но при надлежащем выборе углеродного наноматериала демонстрирует хорошие результаты на прочность при сжатии: 20-50%. Добавка функционализированных УНТ являются экономически неоправданной.

#### Список используемых источников

1. Толчков Ю.Н. Разработка наномодификаторов на основе УНМ «Таунит», в строительные композиты: дис. ... магистр. 220600.60: защищена 21. 06. 11// Толчков Юрий Николаевич, Тамбовский государственный технический университет – Тамбов, 2011. – 134с.
2. Maria S. Konsta-Gdoutos[et all.]. Highly dispersed carbon nanotube reinforced cement based materials/ Maria S. Konsta-Gdoutos, Zoi S. Metaxa, Surendra P. Shah // Elsevier: Cement and Concrete Research. –2010. – № 40. – p. 1052–1059
3. Giuseppe Ferro [et all.]. Attidel XXI Convegno Nazionale del Gruppo Italiano Frattura // Giuseppe Ferro, Francesco Iacoviello e Luca Susmel. – Italia, Cassino – 2011. – p. 433.
4. Панина Т.И. Разработка добавок на основе гелеобразных дисперсий углеродного наноматериала в строительные композиты: дис. ... магистр. 220600.68: защищена 15.06.12 // Панина Татьяна Ивановна. Тамбовский государственный технический университет – Тамбов, 2012. – 115с.
5. A. Cwirzen. Surface decoration of carbon nanotubes and mechanical properties of cement/carbon nanotube composites/ A. Cwirzen, K. Habermehl-Cwirzen and V. Penttala// Advances in Cement Research. – 2008. – № 20. – p. 65–73

# ОЧИСТКА ВОДНО-СПИРТОВЫХ СМЕСЕЙ СИНТЕТИЧЕСКИМИ ЦЕОЛИТАМИ, МОДИФИЦИРОВАННЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

*Кучерова А.Е., Заикин А.С., Бураков А.Е.*

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»  
[ARH-666-13@mail.ru](mailto:ARH-666-13@mail.ru)*

С момента официального открытия углеродных нанотрубок (УНТ) обнаружено множество их разновидностей, определены и использованы на практике их уникальные полезные свойства - высокая прочность, сверхпроводимость, капиллярные, оптические, магнитные свойства и т.д. УНТ могут найти применение в огромном количестве областей: добавки в полимеры, катализаторы, преобразование тела, композиты (заполнители или покрытия) и др. В настоящее время получение УНТ стало особенно актуальным в связи с его применением в очистке газовых и жидких сред. Одним из наиболее перспективных применений УНТ является высокоэффективная очистка водно-спиртовых смесей (ВСС).

Качество водочных изделий напрямую зависит не только от качества исходного сырья (воды и спирта), но и от степени очистки ВСС (сортировок). Основная часть исследований очистки ВСС касается удаления определенной группы примесей, в частности метанола, альдегидов, сивушных масел и т.д. Для удаления этих примесей в большинстве случаев используют синтетические цеолиты.

Цеолиты являются высокоэффективными сорбентами для разделения многокомпонентных смесей. Процессы разделения основаны на 2-х свойствах цеолитов: молекулярно-ситовом действии и резко выраженной избирательной адсорбции полярных молекул.

В данной работе рассмотрена возможность повышения качества ВСС путем использования синтетических цеолитов, структура которых модифицирована синтезированными путем газофазного химического осаждения УНТ (рис. 1).

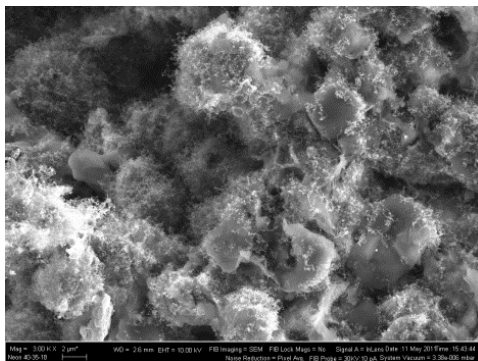


Рисунок 1. Структура модифицированного цеолита.

В основе технологии получения наномодифицированных цеолитов лежит метод каталитического пиролиза углеводородов. Катализатор является полупродуктом в процессе получения УНТ и оказывает решающее влияние на качество синтезируемых наноматериалов. Поэтому необходимо разрабатывать эффективные составы катализаторов для синтеза УНТ заданного качества на сорбенте - носителе.

В качестве метода получения катализаторов синтеза УНТ был выбран метод золь-гель технологии. По сравнению с другими методами получения катализаторов использование золь-гель технологии обеспечивает высокую химическую однородность систем за счет равномерного распределения компонентов в исходном растворе (рис.2, 3).



Рисунок 2. Катализатор после обработки при 140 °С



Рисунок 3. Катализатор после отжига при 500-550 °С

Ряд исследований по определению рецептур катализатора, формирующих наиболее эффективную структуру УНТ на опытных образцах цеолитов, показал, что наиболее эффективна рецептура Ni-Co/MgO (табл.1).

Таблица 1.

Активность катализаторов

Основные компоненты	Выход УНМ, г/г
Ni-Co/MgO	<b>34,6</b>
Ni-Fe-Co/MgO	<b>16,1</b>
Mo-Co	2,04
Fe-Co/MgO	1,02
Fe-Mo/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,12
Ni-Mo/MgO	<b>23,5</b>

Опытные партии образцов исходного синтетического цеолита NaX и цеолитов с нанесёнными слоями УНМ в присутствии катализаторов Ni-Co-MgO; Ni-Mo-MgO и Ni-Fe-Co-MgO были продиагностированы в лаборатории Всероссийского научно-исследовательского института пищевой биотехнологии (ВНИИПБТ).

Результаты определения жесткости, щелочности, окисляемость, величины рН, содержания микроэлементов и газохроматографического анализа до и после фильтрования приведены в таблице 2.

Данные газохроматографического анализа свидетельствуют, что после обработки снижалось содержание уксусного альдегида, не идентифицированные пики не появлялись. Данные физико-химического анализа показывают снижение жесткости – от 0,2 до 0,15 °Ж, рост величины рН от 9 до 9,05-9,2 и снижение концентрации хлоридов от 4,4 до 2,4-3,6 мг/дм<sup>3</sup>. Также повышалась окисляемость ВСС, отмечено незначительное улучшение органолептических показателей (на 0,04 балла).

Таблица 2.

Результаты газохроматографического, физико-химического и микроэлементного анализов

Определяемый показатель	Наименование образца				
	Исходная сортировка	После обработки цеолитом			
		исходным	с УНМ, нанесённым на катализаторах		
			Ni-Co-MgO	Ni-Mo-MgO	Ni-Fe-Co-MgO
1	2	3	4	5	6
<b>Газохроматографический анализ</b>					
Массовая концентрация, мг/дм <sup>3</sup> в 1 дм <sup>3</sup> безводного спирта					
Уксусный альдегид	2,3	2,3	<b>2,1</b>	2,2	2,1
2-пропанол	1,5	1,5	<b>1,5</b>	1,5	1,5
Объемная доля метилового спирта в пересчете на безводный спирт, %	0,02	0,003	0,003	0,003	0,003
<b>Физико-химический анализ</b>					
Жесткость, ° Ж	0,2	0,2	<b>0,15</b>	0,15	0,15
Щелочность см <sup>3</sup> 0,1 н раствора HCl на 100 см <sup>3</sup>	2,0	2,0	<b>2,0</b>	2,0	2,0
Окисляемость по Лангу, мин	15,2	15,2	<b>17,2</b>	17,0	16,4
Разность в окисляемости, мин	-	-	<b>2,0</b>	1,8	1,2
Водородный показатель (рН)	9,0	9,05	<b>9,2</b>	9,2	9,15
<b>Содержание, мг/дм<sup>3</sup></b>					
железа	следы	следы	следы	следы	следы
сульфатов	2,0	2,0	<b>2,0</b>	2,0	2,0
хлоридов	4,4	3,6	<b>2,4</b>	3,6	2,8
силикатов	2,2	2,4	<b>2,3</b>	2,3	2,4
<b>Органолептический анализ</b>					
Дегустационная оценка, балл	9,25	9,26	<b>9,29</b>	9,27	9,26
Разность в дегустационной оценке (балл)	-	0,01	<b>0,04</b>	0,02	0,01

Таким образом, показана эффективность применения для тонкой очистки ВСС синтетических цеолитов, модифицированных УНТ, синтезированными на золь-гель катализаторе (рецептура Ni-Co-MgO).

# ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ ОЛИГОМЕРНОЙ СЕРЫ

*Дебердеев<sup>1</sup> Р.Я., Дебердеев<sup>1</sup> Т.Р., Улитин<sup>1</sup> Н.В., Набиев<sup>1</sup> Р.Р.,  
Терещенко К.А., Калинина Д.Ш., Ахметчин<sup>1</sup> Э.С., Берлин<sup>2</sup> Ал.Ал.*

*<sup>1</sup>-Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования «Казанский национальный  
исследовательский технологический университет», г. Казань  
[rafa2kazan812@rambler.ru](mailto:rafa2kazan812@rambler.ru)*

*<sup>2</sup>-Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Института химической физики им. Н.Н. Семенова РАН*

В результате эндотермических полимеризационных процессов возможно получение ряда важных высокомолекулярных соединений [1], в том числе олигомерной серы – агента вулканизации, обладающего неоспоримыми преимуществами по сравнению с низкомолекулярной серой. Олигомерная сера не мигрирует между слоями многослойных резиновых и резинотканевых систем, не «выцветает» с поверхности резиновых смесей, что позволяет дольше хранить и поддерживать их свойства, обеспечивает однородную и интенсивную вулканизацию при меньшем времени процесса.

Наиболее распространенный способ получения олигомерной серы заключается в резком охлаждении газообразной низкомолекулярной серы с  $T \sim 500^\circ\text{C}$  до  $T = -196^\circ\text{C}$ . Способ является неэкологичным, вследствие выделения сероводорода, и энергоресурсозатратным.

Здесь предложен новый подход к получению олигомерной серы, ключевым моментом которого является одновременное воздействие на объект различных физических полей: температуры до  $160-180^\circ\text{C}$ , давления до 20 МПа и интенсивных сдвиговых деформаций с турбулизацией потока и гидроакустическими колебательными воздействиями выше 1 кГц. В результате подобных воздействий разрушаются характерные для серы кристаллические образования, с формированием серы наноразмерного состояния, что приводит в дальнейшем к полимеризации без возможности последующей кристаллизации.

При превышении некоторой пороговой величины акустического излучения со звуковой амплитудой в потоке жидкости возникают пузыри, захлопывающиеся во времени полупериодов сжатия, с образованием кратковременных импульсов давления, оказывающих значительное силовое воздействие на среду. Это воздействие реализуется в установке, собранной вокруг гидравлических насосов и представляющей собой замкнутую цепь насосов различных типов. Установка состоит из насосов, специальных устройств акустико-кавитационного воздействия, системы охлаждения, всасывающих и нагнетательных трубопроводов, емкостей с реакционной массой и блока питания калибратора давления.



Таблица 1.

## Свойства олигомерной серы

Показатели	Серя олигомерная Кристекс ОТ-33 [2]	Образ. 1	Образ. 2
Общая массовая доля серы, %	66	78	70
Массовая доля нерастворимой серы, %	63	72	64
Массовая доля масла, %	33	20	30
Массовая доля золы, %	0,05	0,02	0,01
Кислотность в пересчёте на серную кислоту, %	0,05	0,08	0,04
Термостабильность при 115°С, с	73	77	70

Свойства образцов олигомерной серы в сравнении с образцами Кристекс ОТ-33 представлены в табл. 1. Из результатов видно, что образцы 1 и 2 соответствуют параметрам серы Кристекс.

Экспериментально подтверждено, что вследствие интенсификации процесса обработки серы в расплаве при температурах до 160-180°С благодаря кавитационному воздействию на реакционную среду осуществляется получение олигомолекулярного продукта (табл. 2). Из данных табл. 2 видно, что кавитационное воздействие на расплав серы, не только увеличивает выход олигомерного продукта, но и позволяет понизить начальную температуру протекания процесса, что делает эту технологию энергосберегающей.

Таблица 2.

## Влияние технологических параметров на выход серы

Начальная температура, °С	Конечная температура, °С	Продолжительность полимеризации, мин	Тип стабилизатора	Количество стабилизатора, мас.%	Выход олигомерной серы, масс.%
140	170	5	-	-	32
140	175	10	-	-	68
140	183	15	-	-	65
140	180	15	Ирганокс	1	79
140	185	20	Ирганокс	1	72
130	185	30	Ирганокс	1	93
150	195	30	Ирганокс	1	60

Экспериментальные образцы применялись в качестве агентов вулканизации в составе резиновых смесей. Вулканизаты из СКИ-3 прошли лабораторные испытания на определение вязкости по Муни, пластичности, сопротивления разрыву, выносливости при многократном растяжении и других свойств, которые находятся одинаковы независимо от вида используемой серы. Проведенное исследование показывает возможности

применения синтезированной олигомерной серы высокого качества в реальном производстве при получении резиновых смесей.

#### Список используемых источников

1. Семчиков Ю.Д. Высокомолекулярные соединения / Ю.Д Семчиков. – Н. Новгород: Издательство Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского, 2003. – 368 с.
2. Беляева Э.Н. Новые виды и формы серы для шинной промышленности / Беляева Э.Н. Андреев Л. В. Гришин Б.С. Фроликова В.Г.// Каучук и резина. 1991. - № 6. - С. 25-27.

## ТВЕРДОФАЗНОЕ ФОРМОВАНИЕ ПТФЭ С УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ\*

*Кобзев Д.Е., Баронин Г.С., Червяков В.М.*  
*Тамбовский государственный технический университет*  
*НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии»*  
*[baronin-gs@yandex.ru](mailto:baronin-gs@yandex.ru)*

Твёрдофазное формование является наиболее перспективным при создании и проектировании технологических процессов получения изделий из трудноперерабатываемых полимерных материалов, таких как фторопласт-4. Традиционно изделия из этих материалов изготавливаются из полимерного проката посредством механической обработки заготовок с последующим формованием при требуемой температуре, либо только механической обработкой с существенными трудо- и энергозатратами [1].

Твёрдофазное формование можно разделить на три стадии. Первая стадия характеризуется упругим деформированием полимерной заготовки до определенного значения давления формования, которое определяется свойствами и структурой полимера. Вторая стадия характеризуется переходом полимера в высокоэластическое состояние, пластическим деформированием и оформлением заготовки в изделие. Третья стадия – выдержка под давлением – необходима для завершения релаксационных процессов в структуре полимеров, то есть переход полимера в отверждённое состояние. Для отработки технологических режимов твёрдофазного формования необходимо изучение стадий течения материала на примере твёрдофазной экструзии и выдержки под давлением в режиме осесимметричного сжатия.

Для моделирования стадии выдержки под давлением заготовка полимера подвергается одностороннему осесимметричному сжатию при нулевой боковой деформации, что практически полностью моделирует конечную стадию процесса штамповки в твёрдой фазе при заполнении полимерным материалом полости пресс-формы.

В качестве исследуемого параметра была выбрана плотность материала (в частности для высокочастотных изоляторов из фторопласта этот показатель является определяющим).

В работе исследовалась кинетика изменения плотности образцов ПТФЭ в зависимости от различных параметров  $P$ ,  $t$ ,  $T$ , с ультразвуковым воздействием и без него. Из анализа кинетических кривых (рисунок 1) можно выделить наилучшие технологические параметры проведения процесса формования. Не имеет смысла использовать давление более 250 МПа, а время выдержки не должно превышать 60 с, так как выше этих значений плотность не изменяется [2].

Для ПТФЭ после достижения максимальной плотности с увеличением времени ультразвукового воздействия данный показатель остаётся постоянным (рисунок 1). Отмечено увеличение темпа прироста плотности примерно на 50 % в совмещённом процессе формования с ультразвуковым воздействием (рисунки 1 – 2). Пользуясь полученными экспериментальными данными можно управлять скоростью процесса уплотнения, манипулируя величиной давления формования и временем технологического процесса для достижения заданного значения плотности [2].

При анализе процесса формования были выделены основные факторы, влияющие на формирование структуры полимера: давление оказываемое на образец, температура образца, время эксперимента и частота ультразвука (кодированные переменные  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ , и  $X_4$  соответственно), которые определяют плотность получаемого продукта.

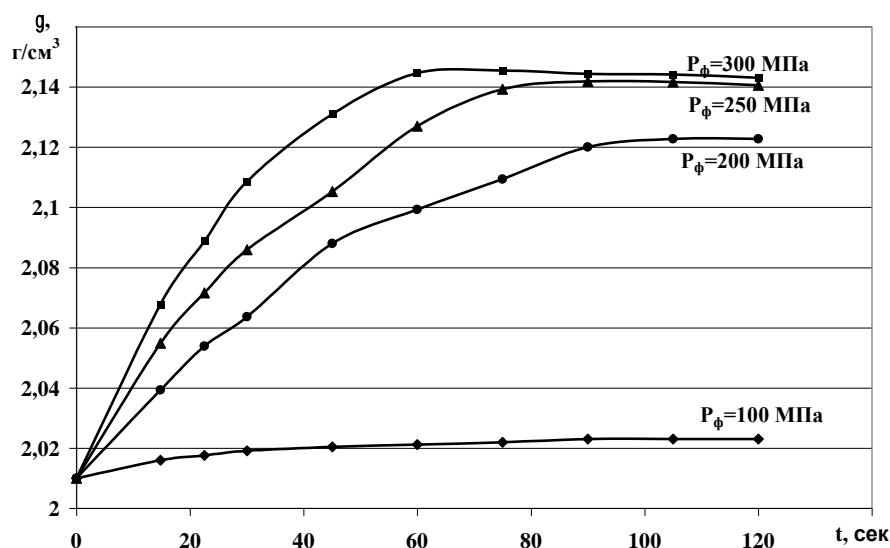


Рисунок 1. Кинетические кривые изменения плотности образцов ПТФЭ при 20 °С в условиях одноосного прессования монолитной заготовки без ультразвука.

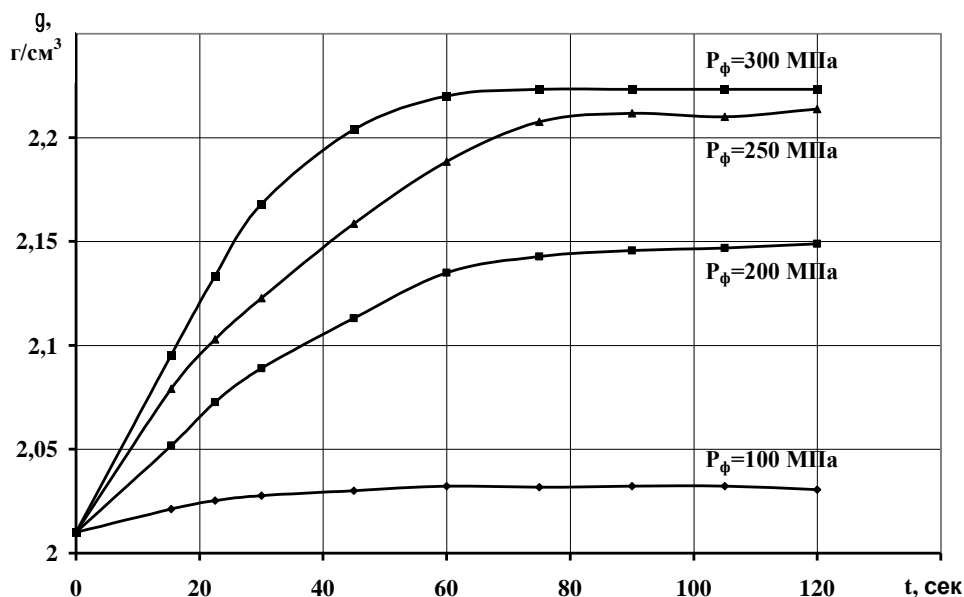


Рисунок 2. Кинетические кривые изменения плотности образцов ПТФЭ при 300 °С в условиях одноосного прессования монолитной заготовки: частота ультразвука 22 кГц.

С целью оптимизации числа опытов было применено математическое планирование эксперимента по методу Бокса-Уилсона, а математическое описание процесса представлено в виде отрезка ряда Тэйлора. Для описания процесса мы ограничились его линейной частью, поскольку уравнение регрессии адекватно описывает процесс, а погрешность между экспериментальными и расчётными данными составляет не более 1,5 %. Полученное уравнение регрессии для ПТФЭ:

$$y = 2,1451 + 0,0149X_1 + 0,0297X_2 + 0,0711X_3 + 0,0028 X_4 \quad (1)$$

Из анализа уравнения (1) следует, что наибольшее влияние на плотность материала оказывает время воздействия ультразвука, что подтверждает правильность выбранного метода интенсификации процесса твёрдофазного формования.

Используя полученные экспериментальные зависимости можно получать конечный продукт с заданной плотностью и минимальными энергозатратами, выбирая конкретные технологические параметры процесса.

#### Список используемых источников

1. Переработка полимеров и композитов в твёрдой фазе: учебное пособие / Г.С. Баронин и др. – Тамбов: Изд -во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 140 с.
2. Кобзев, Д.Е. Интенсификация процесса твердофазного формования полимеров и композитов ультразвуковым воздействием: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08 / Д.Е. Кобзев. – Тамбов, 2012. – 173 с.

*\*Работа поддержана Грантом президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ РФ код проекта НШ – 3550.2012.3.*

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ОБРАЗЦЕ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ

*Новичков М.С., Ивановский В.А.*

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский Государственный Технический Университет»*

Суть способа определения теплопроводности методом электромагнитных флуктуаций [1] состоит в том, что исследуемый материал в виде плоской пластины помещается в конденсаторный первичный преобразователь (рис.1), содержащий два измерительных электрода, расположенных на некотором расстоянии друг от друга. Задают режим нагрева и определяют мощность нагрева  $W$ , измеряют средние квадраты напряжения электрических флуктуаций и диэлектрические характеристики, из полученных данных по известной формуле рассчитывают коэффициент теплопроводности.

С целью определения наилучших условий проведения измерений в программной среде *Elcut* было смоделировано температурное поле в полимерном образце.

В качестве исследуемого образца выбран ПММА: длина пластины  $L=120\text{мм}$ , толщина  $d=2\text{мм}$ , теплопроводность  $\lambda=0,19\text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ , плотность  $\rho=1190\text{ кг/м}^3$ , удельная теплоемкость  $c=1255\text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ .

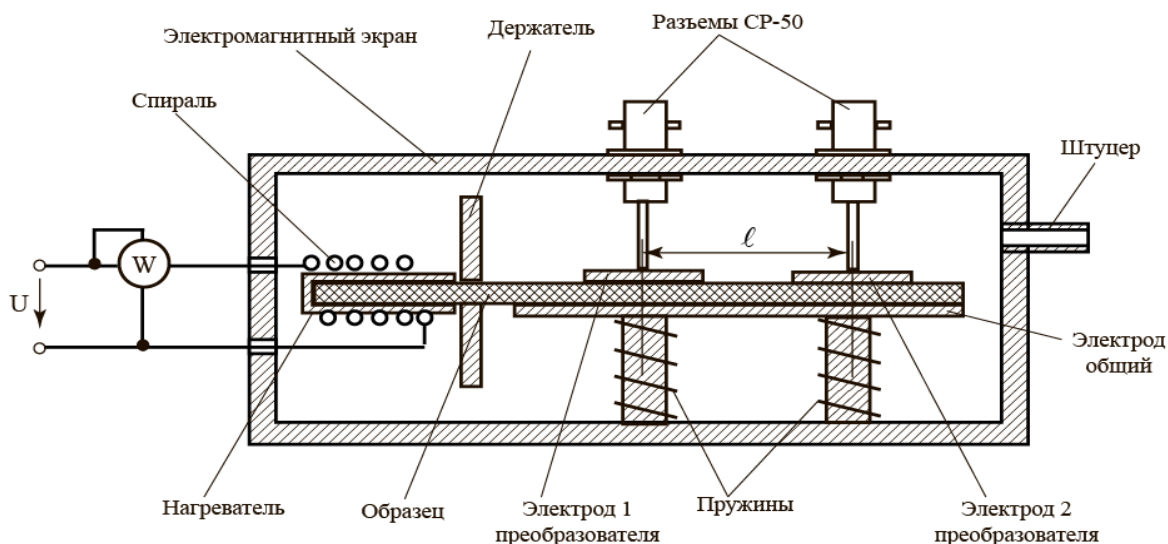


Рисунок 1. Схема установки.

Нагреватель сделан из нержавеющей стали марки 12Х18Н9Т:  $\lambda=18\text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ ,  $\rho=7800\text{ кг/м}^3$ ,  $c=460\text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ . Температура нагрева  $T=400\text{ К}$ , время нагрева  $t=10800\text{ с}$ . Электроды имеют диаметры  $d_3=20$  и расположены на расстоянии 35мм между их центрами.

Результаты моделирования представлены на рисунках 2 и 3 соответственно. Средняя температура в областях каждого из электродов  $T_{cp}^1=254,18\text{ К}$  и  $T_{cp}^2=105,04\text{ К}$ , разница этих температур  $\Delta T_{cp}=149,14\text{ К}$ .

Именно по этим температурам определяются средние квадраты напряжений электрических флуктуаций  $\langle U^2 \rangle$ , и рассчитывают  $\lambda$ .

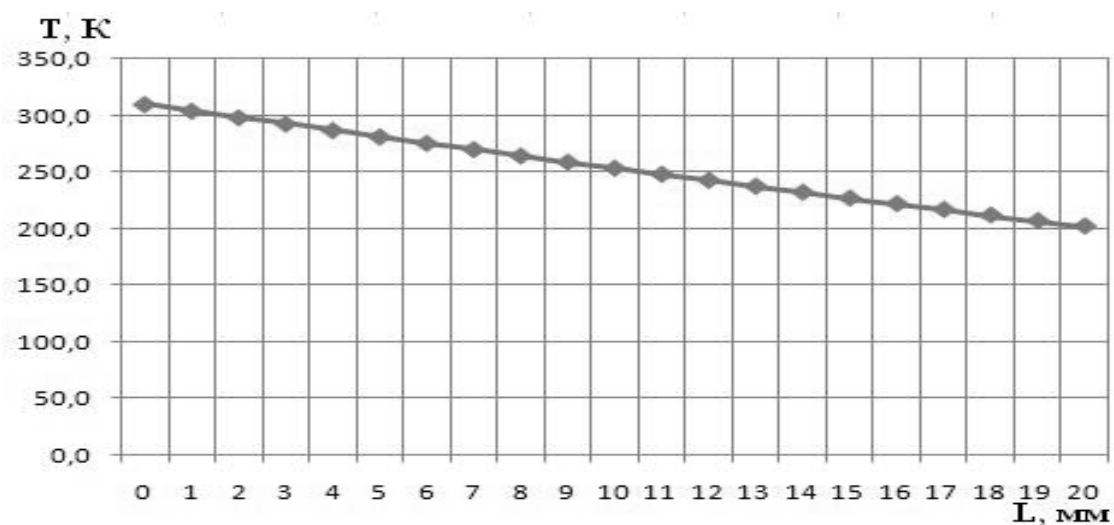


Рисунок 2. Температурное поле в области электрода 1.

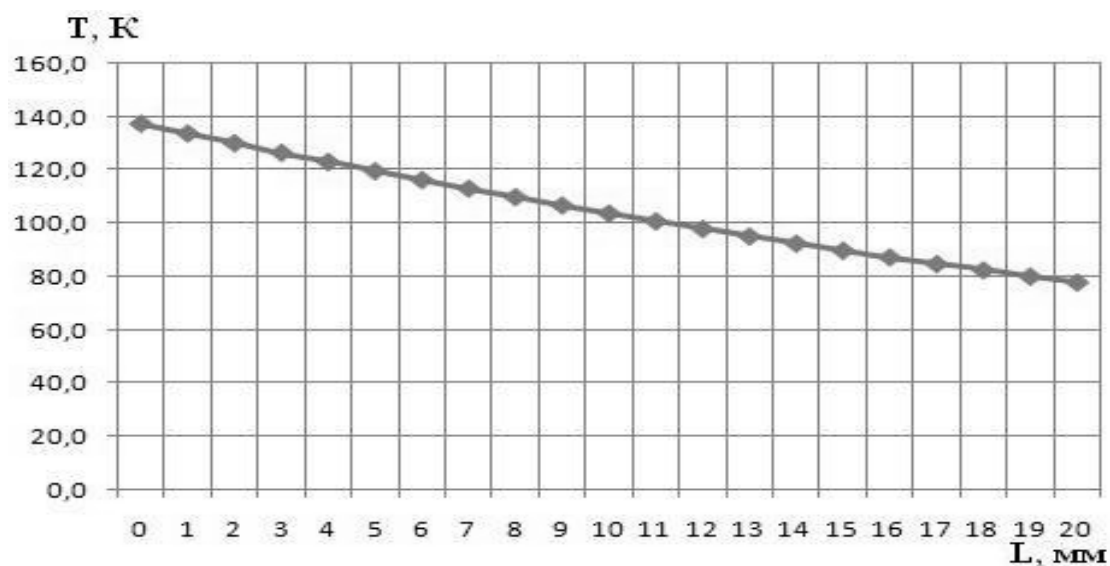


Рисунок 3. Температурное поле в области электрода 2.

#### Список используемых источников

1. Ивановский В.А. Способ определения коэффициента теплопроводности полимеров. Пат. 2180440 Р Ф, G 01 N 25/18. опубл. 10.03.02. Бюл. № 7.

# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЯ ДВУХСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Петров Д.И., Каратеев А.А., Пудовкина Е.В.,  
Майникова Н.Ф., Никулин С.С.*

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов  
[teplotehnika@nnn.tstu.ru](mailto:teplotehnika@nnn.tstu.ru)*

Многослойные материалы применяются для изготовления деталей и оборудования предприятий химической, нефтяной, сельскохозяйственной, транспортной, энергетической и других отраслей промышленности. К потребителям таких материалов относятся также приборостроение, радиоэлектроника и др. Например, одна из областей применения многослойных материалов – это металлические и комбинированные слоистые конструкции в производстве подшипников скольжения.

При разработке, испытании и эксплуатации изделий из многослойных материалов необходимо иметь информацию о теплофизических свойствах как отдельных слоев, так и всей конструкции в целом, т.к. эти свойства определяют надежность, работоспособность, а в итоге и качество готовых объектов техники.

Среди методов и средств контроля особое место занимают контактные тепловые неразрушающие методы определения теплофизических свойств (ТФС) материалов и изделий. При этом реализация контактного метода неразрушающего контроля (НК) ТФС усложнена тем, что тепловое воздействие и получение измерительной информации в ходе эксперимента возможно осуществлять только на ограниченном участке поверхности исследуемого объекта. Поэтому наиболее важной и сложной задачей при создании теплового метода НК ТФС является разработка математической модели, адекватно описывающей реальный процесс теплопереноса в объекте исследования.

Анализ известных процессов измерения, их моделей и источников погрешностей показывает, что в пределах временного интервала измерения в тепловой системе происходят существенные изменения, которые не позволяют описывать весь процесс теплопереноса одной аналитической моделью с неизменными ограничениями и условиями. Неучет этого обстоятельства при определении ТФС ведет к существенному увеличению погрешностей.

Наиболее точно систематические и случайные составляющие погрешности могут быть учтены в методах контроля ТФС, основанных на регулярном тепловом режиме. А.В. Лыковым доказано, что регулярные тепловые режимы первого и второго рода имеют общее свойство, характеризующееся независимостью от времени отношения теплового потока в любой точке тела к потоку тепла на его поверхности. Математическая модель, описывающая термограмму, в данном случае чаще

всего является линейной по параметрам или легко линеаризуется. Однако основная часть этих методов базируется на моделях для тел конечных размеров (пластина, цилиндр, шар). В то время как большая часть методов НК базируется на моделях полупространств (плоского, цилиндрического, сферического) [1].

Применительно к таким моделям следует говорить не о регулярном тепловом режиме для всего тела (так как оно принимается неограниченным), а о регуляризации теплового процесса только для какой-то определенной области тела. Следовательно, если проводить определение ТФС основываясь только на участках термограммы, соответствующих регуляризации теплового режима в области нагревателей и теплоприемников, то, во-первых, расчетные соотношения будут более простыми и во многих случаях линейными по параметрам, во-вторых, систематические составляющие погрешности будут либо значительно меньшими, чем случайные, либо будут носить постоянный характер, т.е. не зависеть от времени.

Таким образом, проблема разработки нового метода НК, позволяющего определить ТФС многослойных материалов как на стадии технологического контроля в процессе их производства, так и в процессе эксплуатации изделий из них, является важной и актуальной.

В данной работе представлено имитационное исследование метода НК ТФС.

Метод основан на физической модели, согласно которой тепловое воздействие на исследуемое тело с равномерным начальным температурным распределением осуществляется с помощью нагревателя постоянной мощности, выполненного в виде тонкого диска радиусом  $R$ , встроенного в подложку измерительного зонда. Подложка измерительного зонда изготовлена из теплоизолятора рипора с ТФС: температуропроводностью  $a_3$ , теплопроводностью  $\lambda_3$ , теплоемкостью  $c_3$ , плотностью  $\rho_3$ . Исследуемое тело представляет собой конструкцию, состоящую из двух слоев: первый – низкотеплопроводный с ТФС: температуропроводностью  $a_1$ , теплопроводностью  $\lambda_1$ , теплоемкостью  $c_1$ , плотностью  $\rho_1$ ; второй – высокотеплопроводный с ТФС: температуропроводностью  $a_2$ , теплопроводностью  $\lambda_2$ , теплоемкостью  $c_2$ , плотностью  $\rho_2$ . Размеры по длине и ширине исследуемого двухслойного металлополимерного тела:  $L_1$  и  $L_2$ . Толщина первого слоя –  $h_1$ , второго –  $h_2$ .

Для исследования метода воспользуемся численным моделированием температурных полей методом конечных элементов с помощью пакета программ ElcutStudent.

Выстраиваем геометрию задачи, исходя из натуральных размеров двухслойного изделия и измерительного зонда. Следует отметить, что модель задается симметричной относительно горизонтальной оси симметрии.

Задаём: теплофизические свойства, параметры граничных условий, строим сетку конечных элементов.

После решения задачи выводим распределение температуры по толщине объекта для момента времени 300 секунд (рис. 1).



Выводим график распределения температуры по времени: в центре нагревателя; в центре слоя теплоизоляционного покрытия; на границе раздела теплоизоляции и металла (рис. 2).

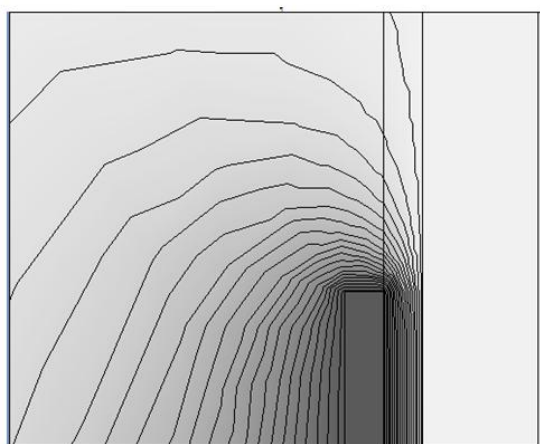


Рисунок 1. Распределение температуры по толщине двухслойного объекта.

Данные численного исследования свидетельствуют о реализации одномерного температурного поля по толщине теплоизоляционного покрытия в локальной зоне, расположенной вблизи нагревателя.

На рис. 2 представлены термограммы, соответствующие распределению температуры в следующих точках контроля: в центре нагревателя на границе раздела подложка зонда – теплоизоляционное покрытие (1); в середине слоя покрытия (2); на границе раздела покрытие– металл (3).

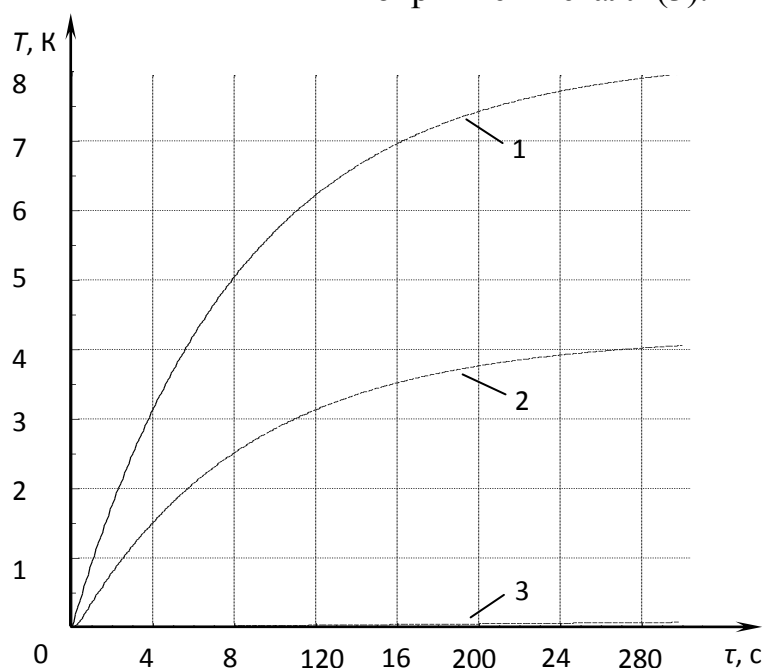


Рисунок 2. Термограммы распределения температуры в точках контроля в центре нагревателя на границе раздела подложка зонда – теплоизоляционное покрытие (1); в середине слоя покрытия (2); на границе раздела покрытие– металл (3).

Таким образом, численное исследование позволяет подобрать необходимые режимные параметры нагрева с целью реализации требуемых температурных характеристик на границах раздела.

#### Список используемых источников

1. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – 599 с.

# РАЗРАБОТКА МАТРИЧНЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ СУРЬМЫ ДЛЯ ПРОПИТКИ УГЛЕГРАФИТА

*Полёткина Ю.В., Гулевский В.А.*

*Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ)*

Углеродистый графит превосходит остальные антифрикционные материалы по жаростойкости, износостойкости, коррозионной стойкости и имеет ряд преимуществ, таких как низкая теплопроводность и низкое термическое расширение. Для придания углеродистому графиту повышенной прочности, долговечности, увеличения сопротивления вибрации, ударным нагрузкам и износу без уменьшения его положительных природных свойств был предложен процесс пропитки углеродистого графита металлами с низкой температурой плавления, таких как олово, свинец, цинк и сурьма. Оптимальными для антифрикционного применения свойствами обладают материалы, пропитанные сурьмой. Сурьма, вследствие малой склонности к схватыванию при трении по стали, работоспособна в узлах трения при повышенных нагрузках и скоростях. Рабочие температуры материалов, пропитанных сурьмой, достигают 500°C. Пропитка сурьмой повышает износостойкость углеродистых графитовых материалов в 2 - 3 раза. [1]

К матричному сплаву предъявляются следующие требования: высокая коррозионная стойкость в различных растворах кислот и щелочей, обеспечение усадки, близкой к нулю, высокая жидкотекучесть, стабильные механические и эксплуатационные свойства [2].

В качестве основы разрабатываемых литейных матричных сплавов использовали наиболее распространенную марку сурьмы Су0 (ГОСТ 1089-82Е). Созданные сплавы сопоставляли по свойствам с исходной сурьмой.

Критерием для изучения смачивания пропитываемых сплавов на основе сурьмы приняли известный метод «большой капли». Результаты исследования говорят о наблюдаемом снижении краевых углов смачивания при легировании поверхностно-активными элементами Ti, Fe, Si, La, Ce, Ni материала основы – сурьмы [3].

Для оценки испаряемости сплавов на основе сурьмы в качестве критерия было выбрано относительное изменение массы образцов сплавов при изотермической выдержке их в течение 1200 секунд в слабом токе аргона, исключающем возвращение конденсата паров в объем сплава. Изотермическая выдержка охватывала область рабочих температур пропитки сплавом сурьмы углеродистого графитового каркаса и проводилась при температурах 600÷850°C, через каждые 50°C.

Жидкотекучесть сплавов в углеродистый графитовый каркас оценивалась для сплавов оптимальных составов, отобранных по результатам испаряемости, температуры плавления, усадки. Объектом сравнения являлся сплав 1 (СуО) [4].

Коррозионная стойкость сплавов на основе сурьмы изучалась гравиметрическим методом. Испытания проводились в течение 1200 часов в термостате, при температуре  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . Требованию обеспечения химической стойкости и усадкой, близкой к нулю, удовлетворяет сурьма, однако она обладает высокой испаряемостью при рабочих температурах пропитки  $700 \div 800^\circ\text{C}$ , что ухудшает технологические условия работы оборудования из-за осаждения на стенках и в сочленениях паров сурьмы [5].

В данный момент разрабатываются матричные сплавы на основе сурьмы содержащие олово, алюминий, бор.

Приготовление сплава производится следующим образом: в расплав сурьмы, перегретый до  $950^\circ\text{C}$ , добавляют при непрерывном перемешивании, мелкими порциями, гранулированное олово. При снижении подвижности расплава производится его промежуточный нагрев до температуры  $950^\circ\text{C}$ , затем добавляется очередная порция олова до достижения заданной концентрации. После этого на зеркало расплава в тигле в течение 60-120 с подают аргон и одновременно добавляют требуемое количество алюминия порциями, фракции размером  $0,5 \times 1 \times 2$  мм, перемешивают непрерывно до выравнивания концентрации и разливают в формы. Если необходимо, производят промежуточный нагрев до  $950^\circ\text{C}$  и повторяют последовательность операций, связанных с вводом бора.

Изготовление КМ производилось пропиткой каркаса из углеграфита марки АГ-1500 матричным сплавом под давлением 12,0 МПа при температуре  $750^\circ\text{C}$  и выдержке под давлением 20 минут.

В качестве технологических характеристик сплава исследовали его прочность при сжатии, коррозионную стойкость, проникающую способность по отношению к углеграфитовому каркасу, испаряемость [6].

Проведенные исследования сплавов на основе сурьмы по определению жидкотекучести, температуры плавления, усадке, испаряемости, коррозионной стойкости и механической прочности позволили, управлять свойствами процесса пропитки, достигать требуемого результата, влиять на его параметры. В результате пропитки углеграфита сплавами на основе сурьмы, установлено повышение механических и прочностных характеристик материала в 1,5-2 раза.

#### Список используемых источников

1. Низовцев, М.И. Распределение теплового фронта при капиллярной пропитке пористых материалов / М.И. Низовцев, А.Н. Стерлягов, В.И. Терехов // Ползуновский вестник. – 2010. – № 1. – С. 50-55.
2. Mortimer, A. The Wetting of Carbon by Copper and Copper Alloys / A. Mortimer, M. Nicholas // Journal of materials. – 2010. – № 5. – P. 10-12.
3. Способ получения композиционных материалов каркасного типа: пат. 2115512 Российская Федерация : МПК С 22 С 1/09 / В.А. Гулевский, И.А. Соловьев; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет». – № 2006120786/02; заявл. 02.07.1996; опубл. 20.07.1998, Бюл. № 9.

4. Raza, M.A.Characterisation of graphite nanoplatelets and the physical properties of graphitenanoplatelet/silicone composites for thermal interface applications / M.A. Raza, A.Westwood // UniversityofLeeds. –2011. –№ 2. –Р. 8.

5. Матричный сплав на основе сурьмы для пропитки углеграфитовых каркасов: пат. 2318893 Российская Федерация: МПК С22С12/00 / В.А. Гулевский; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет». – №2006120786/02; заявл. 13.06.2006; опубл. 10.03.08, Бюл. № 7.

6. Влияние легирующих элементов на смачивание углеграфита медными сплавами / В.А. Гулевский, Ю.А. Мухин, А.Н. Загребин, А.В. Пожарский // Заготовительные производства в машиностроении. – 2009. – № 6. – С. 25.

## **ФИЛЬТРУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ АЭРОЗОЛЬНОЙ ОЧИСТКИ НА ОСНОВЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ВОЛОКОН МОДИФИЦИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ**

*Кучерова А.Е., Ящишина О.Ю., Бураков А.Е.*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования*

*«Тамбовский государственный технический университет», Тамбов  
[ARH-666-13@mail.ru](mailto:ARH-666-13@mail.ru)*

Необходимость качественной очистки больших объемов запыленного воздуха, существенное уменьшение концентраций взвешенных частиц в воздушных смесях для особо чистых производств (микроэлектроника, фармацевтика и т.д.), защита органов дыхания человека от вредных (н: радиоактивных) аэрозолей – проблемы, для решения которых используется множество различных типов фильтрующих материалов. Наиболее эффективные – материалы, состоящие из субмикронных волокон. Они обеспечивают максимальную производительность тонкой очистки газов при высоких показателях качества (>98 %).

В большинстве случаев такие материалы получают *электроспиннингом* - получение сверхтонких нитей из жидкости (раствора, расплава) под действием электростатических сил, создаваемых источником питания высокого напряжения (рис. 1).

В данной работе авторами предложена и апробирована методика получения наномодифицированного аэрозольного фильтрующего материала, основанная на исследованиях, изложенных в [1].

Данный материал представляет собой субмикронные керамические волокна, на поверхности которых синтезирована пористая структура углеродных нанотрубок (УНТ).

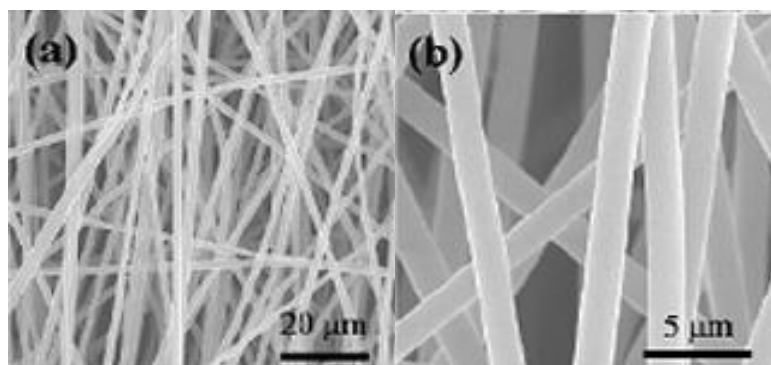


Рисунок 1. Структура материала, полученного в процессе электроспиннинга.

В качестве экспериментальных образцов были выбраны нетканые керамические материалы серии FiberfraxDurablanket. Они обладают множеством полезных качеств: высокий коэффициент отражения, хорошее звукопоглощение, стойкость к тепловому удару, высокую упругость, (эластичность) и прочность на разрыв. Характеристики исследуемого материала представлены в таблице 1.

Таблица 1.

<b>Химический состав (вес волокна, %)</b>	
<b>Сорт материала</b>	<b>S</b>
SiO <sub>2</sub>	53,0-58,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	42,0-47,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub>	<0,20
<b>Физические свойства</b>	
Цвет	белый
Классификационная темп., °С	1 250
Темп. плавления, °С	1 760
Диаметр волокна	3,25 микрона
Теплоемкость при 1000°С, Дж/кК	1 140
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	64/96/128/160

Материалы обладают низкой теплопроводностью, низким аккумулярованием тепла, низкой степенью усадки, сохраняют свою прочность при нагревании, что необходимо для осуществления процесса синтеза УНТ.

Разработанная методика заключалась в следующем: в реакционную зону помещался образец материала-носителя, на волокна которого осаждались УНТ.

Приготовленный раствор катализатора (5%<sub>масс.</sub> ферроцена в толуоле) с помощью шприцевого дозатора подавали в реакционную зону, нагретую до 750°С в присутствии инертного газа (аргон).

Процесс наномодификации экспериментальных образцов керамических волокон, осуществляли в реакторе проточного типа, основными элементами которого являлись трубчатая печь и кварцевая труба (рис.2).

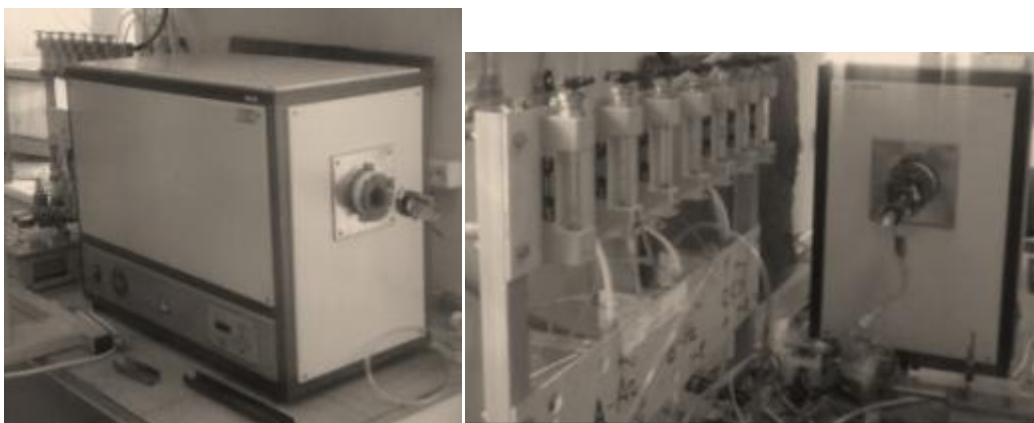


Рисунок 2. Лабораторный реактор синтеза УНТ.

Продолжительность процесса синтеза УНТ на носителе 60 минут. СЭМ - изображения структуры экспериментальных образцов после процесса наномодификации представлены на рис. 3

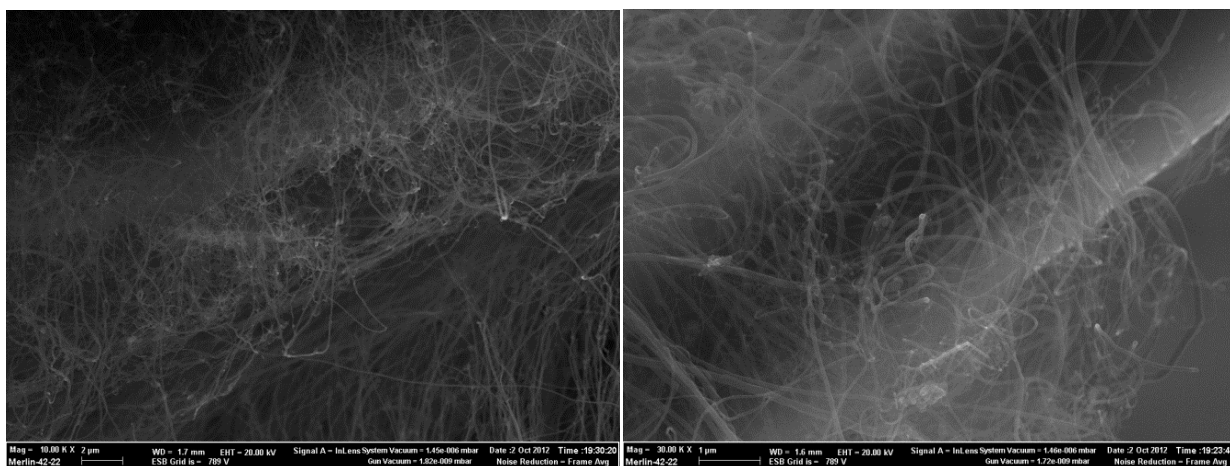


Рисунок 3. Структура УНТ, синтезированных на поверхности микронного керамического волокна

Приведенные фотографии показывают, что структура пористой оболочки УНТ однородна, пориста, равномерно распределена по поверхности волокна – носителя, диаметр нанотрубок – 10-50 нм.

Использование предложенной методики перспективно для получения нового высокоэффективного типа фильтрующего материала сверхтонкого обеспыливания воздушных смесей, структура которого представляет собой расположенные перпендикулярно движению потока микронные и субмикронные волокна, покрытые пористой проницаемой оболочкой УНТ.

#### Список используемых источников

1. Synthesis and characterisation of carbon nanotubes grown on silica fibres by injection CVD /HuiQian, Alexander Bismarck, Emile S. Greenhalgh, Milo S.P. Shaffer// CARBON48, 2010.- с. 277 –286

# КОМБИНИРОВАННАЯ ТВЕРДОФАЗНАЯ ЭКСТРУЗИЯ ПОЛИМЕРОВ И КОМПОЗИТОВ

*Полуэкттов В.Л., Баронин Г.С.*

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»,  
НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии», г.Тамбов*

Методы твердофазной экструзии можно разделить на две группы. Первая из которых включает те, что осуществляются продавливанием полимерной заготовки через коническую или щелевую матрицу. Вторая группа основана на деформирование материала по схеме простого сдвига под давлением. Экструзия с формоизменением исходной заготовки используется для формообразования и структурной модификации полимерных материалов различной природы путем достижения у них высоко ориентированного состояния [1]. Обработка по схеме простого сдвига, сохраняя первоначальную форму заготовки, тем не менее, оказывает существенное воздействие на структуру полимеров, что позволяет изменять комплекс их физико-механических характеристик [2].

За последнее время выполнено сравнительно небольшое количество исследований, посвященных разработке способов и устройств для твердофазной экструзии полимерных и композиционных материалов на их основе. В данной работе рассмотрены особенности реализации двух методов твердофазной (равноканальной угловой и плунжерной) экструзии, в дальнейшем именуемой, как комбинированная экструзия за один технологический цикл.

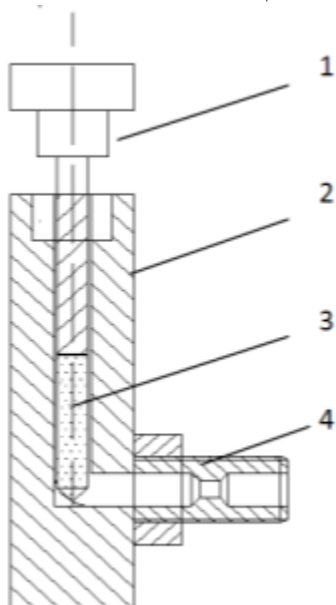


Рисунок 1. Схема экспериментальной ячейки для комбинированной экструзии полимерных материалов: 1-пуансон, 2-матрица, 3-заготовка полимерного материала, 4- фильера

В качестве объектов исследования данной работы были выбраны композиционные материалы на основе полиэтилена высокой плотности (ПЭВП) и композитов на его основе. В качестве модифицирующих добавок использовали технический углерод марки К-354 (ГОСТ7885-86).

Опыты по комбинированной твердофазной экструзии и дальнейшее исследование в характере изменения прочностных характеристик модифицированных материалов в условиях среза и растяжения проводились на базе НОЦ ТамбГТУ - ИСМАН «Твердофазные технологии». Процесс данной твердофазной экструзии осуществляли при помощи экспериментальной ячейки высокого давления, с загрузочной камерой



диаметром 5 мм и набором сменных фильер с различными параметрами капилляра при температурах ниже температуры плавления ( $T_{пл}$ ). Ячейка представлена на рисунке 2 и состоит из пуансона (1), матрицы (2), заготовки полимерного материала (3), фильеры (4).

В качестве образцов использовали монолитные прутки термопласта цилиндрического сечения диаметром 5 мм и длиной 20 мм полученные литьем под давлением. Композиты ПЭВП+сажа были получены предварительным смешением компонентов в шаровой мельнице в течение одного часа. Частота вращения барабана составляет 180 об/мин. С первоначальной просушкой полимерных материалов в вакуумной сушилке при температуре 373 К в течение 1 часа. Затем композиции перерабатывали на лабораторном экструдере при температурах зон материального цилиндра – 463÷483 К. Диаметр шнека  $D = 0,032$  м, отношение  $L/D = 12,5$ , частота вращения шнека 25 об/мин. Полученный пруток измельчали и изготавливали экспериментальные образцы литьем под давлением.

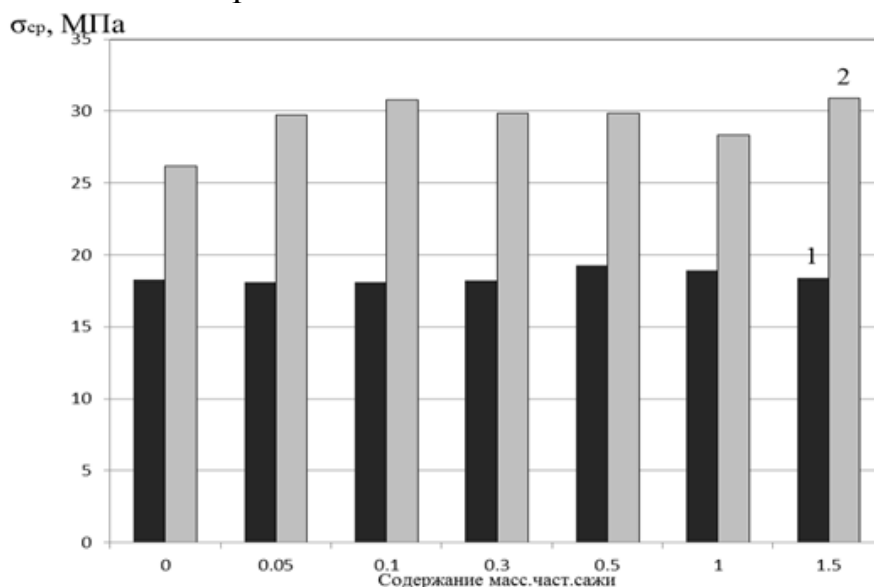


Рисунок 2. Диаграмма изменения разрушающего напряжения в условиях среза полимерного композита ПЭВП+сажа, в зависимости от содержания сажа: 1-материал переработанный жидкофазной экструзией, 2- материал переработанный комбинированной экструзией.

Прочность в условиях срезающих напряжений исходного материала полученного комбинированной экструзией, превышает на 43 % соответствующие характеристики материала полученного жидкофазной технологией, и на 63 % у композитов ПЭВП+0,05сажи.

При реализации процесса комбинированной экструзии заготовка продавливается через два канала с одинаковыми поперечными сечениями (РКУЭ), пересекающимися под углом в  $90^0$  [3] и на выходе дополнительно проходит сквозь фильеру с деформирующим каналом (плунжерная экструзия), где и происходит вытяжка полимера, сопровождающаяся его формоизменением.

Прочностные свойства в условиях срезающих напряжений и напряжений растяжения образцов ПЭВП и нанокompозитов на его основе



полученных жидкофазной (ЖФЭ) и комбинированной экструзией, оценивали на испытательной машине УТС 101-5 с использованием специального приспособления типа «вилка» при скорости перемещения подвижного зажима машины 50 мм/мин.

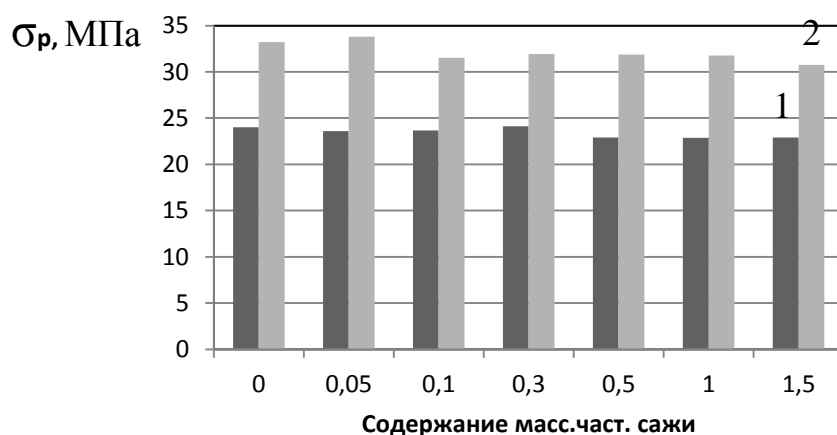


Рисунок 3. Диаграмма изменения разрушающего напряжения при растяжении полимерного композита ПЭВП + сажа, в зависимости от содержания сажи: 1- материал переработанный жидкофазной экструзией, 2- материал переработанный комбинированной экструзией.

В результате анализа экспериментальных данных установлен факт изменения прочности в условиях растяжения с ростом концентрации модифицирующей добавки. После проведения опытов в режиме комбинированной экструзии отмечено повышение прочности на 39 % у исходного материала, и на 43% у композитов ПЭВП+0,05сажи.

На основании первых экспериментальных данных, можно сделать вывод о том, что обработка композита в условиях комбинированной экструзии в твердой фазе сопровождается повышением прочностных показателей как условиях среза так и при растяжении. Однако в настоящее время пока еще отсутствуют необходимые научные данные позволяющие судить о характере эволюции структуры, физико-механических свойств композита, под действием рассмотренного способа твердофазной обработки материала.

#### Список используемых источников

1. Белошенко, В.А. Твердофазная экструзия полимеров / В.А. Белошенко, Я.Е. Бейгельзимер, В.Н. Варюхин. Киев: Наукова думка, 2008-208с.
2. Баронин, Г.С. Переработка полимеров в твердой фазе. Физико-химические основы / Г.С. Баронин, М.Л. Кербер, Е.В. Минкин, Ю.М. Радько. М.: Машиностроение-1, 2002. – 320с.
3. Кобзев, Д.Е. Равноканальная угловая экструзия полимерных композитов / Д.Е.Кобзев, И.Ю.Кобзева, Г.С.Баронин // Материалы всероссийской научно-инновационной конференции, Тамбов, 27-29 октября 2009. – С.53-55

# ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ФТОРОПЛАСТА-4\*

*Худяков В.В.<sup>1</sup>, Кантаев А.С.<sup>2</sup>, Дьяченко А.Н.<sup>2</sup>,  
Юрков Г.Ю.<sup>3</sup>, Бузник В.М.<sup>3</sup>, Баронин Г.С.<sup>1</sup>*

*1 – Тамбовский государственный технический университет,  
НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии», г. Тамбов,  
2 – Национальный исследовательский Томский Политехнический  
Университет, г. Томск,*

*3 - Институт металлургии и материаловедения РАН им. А.А. Байкова,  
г. Москва*

Одним из способов повышения качества изделий из полимеров, а также технико-эксплуатационных характеристик материала является модификация свойств исходных полимеров. В проведенных теплофизических исследованиях в качестве модификаторов использовались молекулярные композиты ПТФЭ и SiO<sub>2</sub>, ПТФЭ и TiO<sub>2</sub>, ПТФЭ и CoO<sub>2</sub>.

В случае получения модификатора ПТФЭ и TiO<sub>2</sub> продукт получали перегонкой шихты ПТФЭ 97% масс и (NH<sub>4</sub>)TiF<sub>6</sub> 3% масс при температуре 575°С. Десублимация происходила на водяное зеркало (5% раствор аммиака) по технологии, изложенной в работе [1].

Были проведены следующие испытания:

- определение удельной скорости поглощения энергии в зависимости от температуры образцов, полученные на модернизированном дифференциальном сканирующем калориметре на базе прибора DSC-2, который позволяет регистрировать тепловые эффекты при линейном изменении температуры образца;

- при определении теплостойкости и внутренних ориентационных напряжений был использован метод построения диаграмм изометрического нагрева (ДИН);

- определение теплопроводности и температуропроводности проводились на информационно-измерительной системе неразрушающего контроля теплофизических свойств твердых материалов.

Построены зависимости удельной скорости поглощения энергии от температуры образца, диаграммы изометрического нагрева и зависимости тепло- и температуропроводности от концентрации модификаторов (0,05; 0,1; 0,5; 1; 5 массовых частей на 100 массовых частей ПТФЭ).

Экспериментально установлено, что наибольший эффект во всех используемых теплофизических методах исследования дают малые доли вносимых модификаторов, а именно 0,05 и 0,1 массовые части на 100 массовых частей ПТФЭ.

## Список используемых источников

1. Кантаев, А.С. Фторидная технология производства композиционных материалов с использованием оксидов титана и кремния при переработке политетрафторэтилена. Автореферат дисс. на уч. ст. к.т.н., Томск – 2012.

*\*Работа поддержана Грантом президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ РФ, код проекта НШ – 3550.2012.3*

## **ИНТЕНСИВНАЯ ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ УГЛЕРОДОПОЛНЕННОГО ПОЛИЭТИЛЕНА\***

*Иванов С.А., Баронин Г.С., Таров В.П.*

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»,  
НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии», г. Тамбов*

Наиболее распространенные методы переработки полимеров включают, как правило, достаточно длительные технологические операции, связанные с переводом материала в расплавленное, а затем в твердое состояние [1].

Одним из методов интенсивной пластической деформации является равноканальная многоугольная твердофазная экструзия (РКМУТФЭ). Рассматриваемый технологический процесс наиболее эффективен при изготовлении прутков большого поперечного сечения, обладающих контролируемой молекулярной ориентацией [2].

Объектами исследования работы является ПЭВП и углеродонаполненные композиты на его основе. В качестве углеродных наполнителей использовались: углеродные нанотрубки «Таунит» - наномасштабные образования поликристаллического графита. Производитель УНМ «Таунит» - ООО «Нанотехцентр» г. Тамбов [3].

Образцы для РКМУТФЭ получали на лабораторном экструдере с диаметром шнека  $d=32$  мм в температурном диапазоне 433 – 453 К.

Получение образцов с заданным диаметром и длиной, осуществлялось на лабораторной литьевой машине.

Последующая обработка образцов проводилась в экспериментальной ячейке для реализации РКМУТФЭ полимеров в температурном диапазоне от 20°C до 90°C, представленной на рисунке 1, а.

Ячейка, основание и толстостенные рабочие втулки образуют пять пересекающихся каналов с углами пересечения  $\Theta_1 - \Theta_5 = 80^0$  и  $\Theta_2 - \Theta_4 = 75^0$  одинакового по размеру сечения. Канал основания на выходе имеет небольшое сужение с сечением на 5% меньшим, что обеспечивает получение образцов для повторных циклов экструзии. Цилиндрическая заготовка продавливается через деформирующий блок ячейки, состоящий из

нескольких пар каналов одного диаметра, пересекающихся под заданными углами (рис. 1, b). Величина эквивалентной деформации при одном цикле РКМУТФЭ рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon = 2 \sum_{i=1}^n \frac{ctg \Theta_i}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

где  $\Theta_i$  — половинный угол пересечения сегментов канала;  $n$  — число углов пересечения каналов. При многократном циклировании накопленная деформация составляет:

$$\varepsilon_N = 2N\varepsilon. \quad (2)$$

Здесь  $N$  — число циклов деформирования [2].

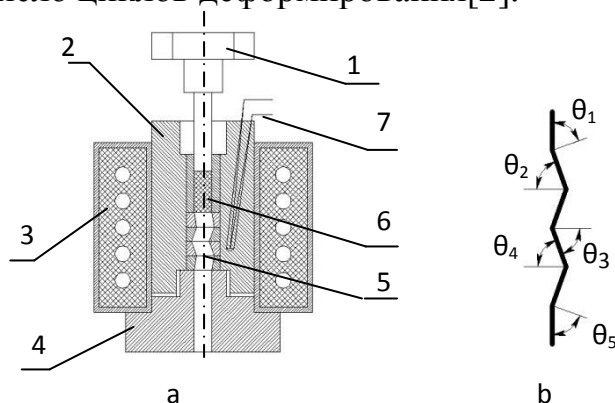


Рисунок 1. Схема экспериментальной ячейки (a) и угловых каналов (b) для реализации РКМУТФЭ: 1 - пуансон; 2 - ячейка; 3 - нагревательный элемент; 4 - основание; 5 - деформирующий блок; 6 - образец; 7-термопара.

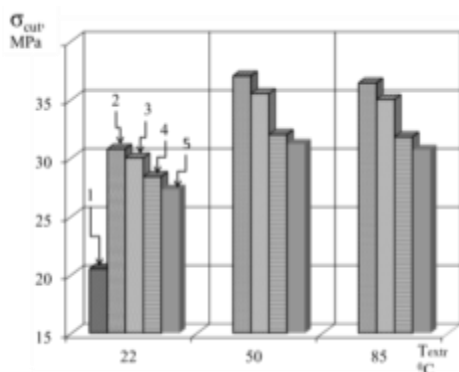


Рисунок 2. Диаграмма изменения прочностных характеристик в условиях срезающих напряжений образцов ПЭВП в зависимости от эквивалентной деформации и температуры экструзии,  $V_{\text{экс}} = 35 \text{ мм/мин}$ .  
Условные обозначения:  
1 -  $\varepsilon = 0$ ; 2 -  $\varepsilon = 1,3$ ; 3 -  $\varepsilon = 2,6$ ;  
4 -  $\varepsilon = 3,9$ ; 5 -  $\varepsilon = 5,2$ .

Измерение прочностных характеристик проводили на установке УТС-101-5 со специально разработанным приспособлением типа «вилка».

Обработка ПЭВП методом РКМУТФЭ повышает прочностные характеристики образцов в условиях срезающих напряжений, максимальный эффект обнаружен при одном цикле деформирования и температуре экструзии  $T_{\text{экс}} = 50^\circ\text{C}$ . При температуре экструзии  $T_{\text{экс}} = 22^\circ\text{C}$  образцы полимера имеют характерные трещины и дефекты. Повышение  $T_{\text{экс}}$  до  $50^\circ\text{C}$  приводит к снижению давления формования и повышению качества образцов. Дальнейшее повышение температуры экструзии до температуры  $T_{\text{экс}} = 85^\circ\text{C}$  приводит к снижению прочностных характеристик образцов в условиях срезающих напряжений как ПЭВП, так и углеродных композитов на его основе. Данный эффект можно объяснить тем, что во время экструзии происходит деформационный разогрев экструдата в зоне выдавливания, вследствие чего,

в образце частично протекают релаксационные процессы. При дальнейшем увеличении степени эквивалентной деформации образцов ПЭВП отмечено снижение прочностных характеристик в условиях срезающих напряжений вследствие происходящих релаксационных процессов в образцах (рис. 2). Таким образом, путем экспериментальных исследований и анализа полученных результатов выявлена оптимальная температура экструзии равная  $T_{\text{экс}} = 50^{\circ}\text{C}$  при скорости экструзии  $V_{\text{экс}} = 35\text{мм/мин}$  и относительной эквивалентной деформации  $\varepsilon = 1,3$ .

Наименьшие усадочные процессы в ПЭВП и композитах на его основе наблюдаются при одном цикле деформирования т.е. при  $\varepsilon = 1,3$ . Максимальной твердостью обладают образцы ПЭВП и композитов на его основе после одного цикла деформирования. При внесении модифицирующей добавки УНТ в полимерную матрицу ПЭВП отмечено снижение водопоглощения образцов в сравнении с исходным полиэтиленом [4, 5].

#### Выводы

1. Равноканальная многоугольная твердофазная экструзия как один из методов интенсивной пластической деформации полимеров позволяет повышать физико – механические характеристики ПЭВП и композитов на его основе.

2. Внесение углеродных модифицирующих добавок в полимерную матрицу ПЭВП при взаимодействии с определенными параметрами обработки в режиме РКМУТФЭ, позволяет получать полимерные композиты с заданными физико - механическими характеристиками, т.е. прогнозировать эксплуатационные показатели конечного продукта.

#### Список используемых источников

1. Баронин Г.С., Кербер М.Л., Минкин Е.В., Радько Ю.М. Переработка полимеров в твердой фазе. Физико-химические основы. — М : Машиностроение-1, 2002. — 320 с.
2. Твердофазная экструзия полимеров: Монография / В.А. Белошенко, Я.Е. Бейгельзимер, В.Н. Варюхин. – Киев: Наукова думка, 2008.
3. Ткачев А.Г. Аппаратура и методы синтеза твердотельных наноструктур: монография / А.Г.Ткачев, И.В.Золотухин // М.: «Издательство Машиностроение -1», 2007. 316 с.
4. Рудобашта, С.П. Массоперенос в системах с твердой фазой / С.П. Рудобашта. – М.: Химия, 1980. – 248 с.
5. Кавецкий, Г.Д. Оборудование для производства пластмасс. – М.: Химия, 1986.- 224 с.

*\*Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы (ГК №П702 от 20.05.2010 г) и гранта Президента РФ по поддержке ведущих научных школ РФ (НШ-3550.2012.3).*

# РАЗРАБОТКА МАТРИЧНЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ СВИНЦА

*Гулевский В.А., Доменти Е.А.*

*Волгоградский государственный технический университет*

В настоящее время перспективы прогресса во многих областях промышленности в основном связаны с разработкой и широким применением композиционных материалов.

Композиционные материалы системы «углеграфитовый каркас - сплавы свинца» отличаются широкими возможностями использования. Они могут применяться в качестве вкладышей радиальных и упорных подшипников, пластин, поршневых колец, поршневых и радиальных уплотнений в различных приборах и механизмах [1].

Углеродные материалы, пропитанные металлами, обладают более высокими механическими свойствами, лучшей химической и эрозионной стойкостью, чем чистый углеграфит, это и способствует их широкому применению в технике.

В соответствии с требованиями, предъявляемыми к сплавам для пропитки углеграфитовых каркасов они должны: хорошо смачивать и пропитывать углеграфит, а также находясь в его порах, не создавать больших внутренних напряжений, иметь близкие термические коэффициенты линейного расширения и являться защитой в окислительных средах при температурном воздействии.

Преимущество пропитки сплавами свинца: наилучшая возможность повысить прочность, твёрдость, улучшить износостойкость материала. Свинец обладает высокой коррозионной стойкостью во многих агрессивных средах, хорошими антифрикционными, демпфирующими, звукоизоляционными свойствами. А разработка и создание новых сплавов позволит расширить область применения композитов пропитанных свинцом.

Определенный интерес представляет сплав на основе свинца с добавлением серы [2].

Целью работы является создание матричного сплава для пропитки углеграфитового каркаса с минимальным поверхностным натяжением и высокой адгезией.

Разработка новых сплавов производится при использовании устройства безгазостатной пропитки, разработанного в ВолгГТУ [3,4]. Способ основан на использовании термического расширения пропитываемого сплава в замкнутой пропитывающей камере, при создании давления. Метод не имеет недостатков компрессионного литья и автоклавной пропитки, стоимость выпускаемой продукции которых значительно выше, а само оборудование на несколько порядков дороже. Дальнейшее совершенствование метода пропитки заключается в использовании совмещения подготовительных операций в процессе пропитки КМ.

Рассмотрим известный сплав Pb-Cu [3,4], он интересен прежде всего тем, что его получили в процессе пропитки в устройстве при повышенном давлении и температуре. При пропитке Cu из оснастки перешла в расплав.

Пропитка сплавом Pb осуществлялась при температуре 650° С и давлении 5 МПа. Было установлено изменение растворимости элементов расплава в зависимости от условий проведения эксперимента. Проведенные исследования показывают, что широко известная диаграмма системы Pb-Cu является точной только при проведении экспериментов при определенных условиях. Это связано с невероятным содержанием меди в расплаве (более 2%). При приложении избыточного давления линии межфазных переходов смещаются, что позволяет получать сплавы, существование которых ранее считалось невозможным.

Следует сказать, что теоретический выбор поверхностно-активных легирующих элементов позволяет создать пропитывающие сплавы с необходимой прочностью сцепления в межфазном слое, без нанесения барьерных покрытий на внутренние поверхности пор углеграфитового каркаса. В данном исследовании замечено, что сплавы на основе свинца обладают более высокой проникающей способностью, обеспечивающей удовлетворительную степень пропитки при невысоком давлении. Кроме того, сплав свинца, легированный медью, образует межфазный слой, в который выделяется до 70% от вводимого количества поверхностно активного элемента, что улучшает прочностные и эксплуатационные свойства композитов [3,4].

Полученные результаты позволили использовать устройство безгазостатной пропитки для создания сплава Pb-S при определенных технологических условиях (давлении, температуре, времени).

Сера, как и многие из используемых импрегнантов экологически опасна. Поэтому важно сократить количество повторных пропиток из соображений безопасности и защиты окружающей среды, а также повышения производительности и улучшения качества КМ. Для этого два этапа пропитки объединяем в один процесс. В результате чего процесс является более эффективным [5,6].

В соответствии с вышеизложенным, разработаны сплавы на основе свинца под пропитку ими каркасов из углеграфита. При создании сплава на основе свинца с серой в качестве легирующего элемента, важна оптимизация параметров поверхностного натяжения и адсорбции. Из теоретического выбора поверхностно-активных легирующих элементов известно, что рациональным содержанием серы в сплаве является значение от 5 до 10 %, оптимальным является сплав с мольной долей серы около 10% рис. 1.

При создании матричного сплава совмещаем две технологии получения сплава на основе пропитки в один процесс. На первом этапе осуществляется нанесение диффузионного барьера на каркас, через газовую фазу. На поры углеграфитового каркаса наносим небольшое количество приготовленной серы. На втором этапе фиксированным количеством серы легируется расплав свинца. При таком методе нанесения покрытия на каркас, жидкий сплав в

контакте с поверхностью образца образует плотную пленку покрытия. В результате адгезии имеет место прилипание расплава к поверхности пор.

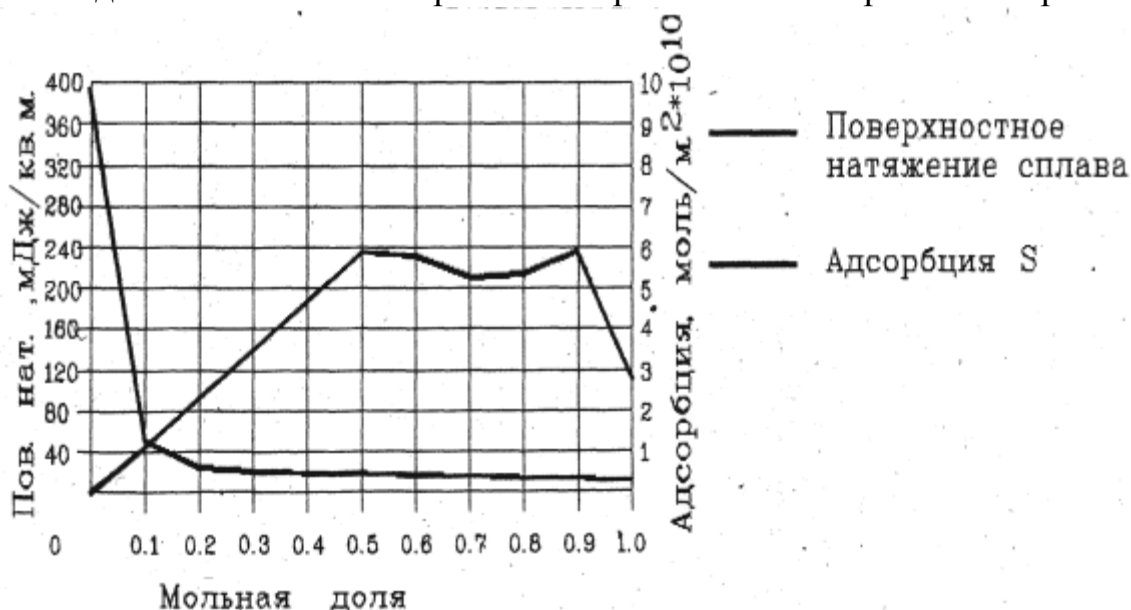


Рисунок 1. Зависимость поверхностного натяжения и адсорбции сплавов системы Pb-S от содержания легирующего элемента

В целом при использовании безгазостатного метода пропитки качество полученного КМ улучшается. Полученные композиты имеют повышенные эксплуатационные и прочностные характеристики, в среднем до 2 раз. Совмещение технологий, делает процесс пропитки сплавом Pb-S более эффективным и безопасным.

#### Список используемых источников

1. Антифрикционные материалы на основе углерода // Проспект фирмы «Шунк» (Schunk Kohlenstoff technik GmbH), Германия, 2006. - 22 с.
2. Марков В.Ф., Миронов М.П., Шнайдер А.В., Дьяков В.Ф, Маскаева Л.Н. Получение высокочувствительных КИК – излучению пленок PbS, осажденных из галогенидсодержащих растворов // Перспективные материалы, 2008. - № 3. - С. 28-31
3. Матричный сплав для пропитки углеграфитового каркаса/ В.А. Гулевский [и др.] // Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении. – 2009. - № 11 (59). – С. 81-84.
4. Гулевский В.А., Загребин А.Н., Мухин Ю.А., Пожарский А.В. Применение давления для получения литых композиционных материалов методом пропитки // Заготовительные производства в машиностроении, 2010. – № 6. – С. 3-8.
5. Продвинутая технология пропитки капиллярно-пористых тел / В.М. Задорский // Импрегнация капиллярно-пористых тел. – 2005. – С. 4-21.
6. Костиков В.И., Варенков А.Н. Сверхвысокотемпературные композиционные материалы. – М.: Интермет Инжиниринг, 2003.- 560с.



# ВЛИЯНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ТВЕРДОФАЗНОЙ ЭКСТРУЗИИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Полуэкттов В.Л., Баронин Г.С.*

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»,  
НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии», г.Тамбов*

В настоящее время большой интерес вызывают исследования, посвященные методам твердофазной экструзии (ТФЭ) полимеров, основанных на схемах простого сдвига - методы интенсивной пластической деформации. В отличие от традиционных методов ТФЭ (плунжерной и гидростатической) эти методы не приводят к изменению геометрии полимерных заготовок и вместе с тем благоприятно влияют на их физико-механические свойства.[1] Среди данных методов равноканальная угловая экструзия представляет особый интерес, так как создание ориентационного порядка достигается за счет того, что в РКУЭ деформация осуществляется не посредством выдавливания материала через фильеру с диаметром отверстия, меньшим диаметра заготовки, как при традиционной плунжерной экструзии, а путем простого сдвига.[2]

В настоящей работе представлены первые результаты реализации двух методов твердофазной (равноканальной угловой и плунжерной) экструзии, т.е. комбинированной экструзии, за один технологический цикл.

Твердофазная экструзия полимерных композитов осуществлялась в специально изготовленной экспериментальной ячейке. Объектом исследования являлся полиэтилен высокой плотности (ПЭВП) и композиты на его основе. В качестве модифицирующей добавки использовали углеродный наноматериал «Таунит»- углеродные нанотрубки (УНТ) наномасштабные нитевидные образования поликристаллического графита. Производитель углеродного наноматериала «Таунит» - ООО «Нанотехцентр» г.Тамбов.

Смешение компонентов предварительно осуществляли в шаровой мельнице в течение одного часа, с предварительной сушкой в вакуумной сушилке при температуре 373 К. Затем композиции перерабатывали на лабораторном экструдере. Полученный пруток измельчали и изготавливали экспериментальные образцы методом литья под давлением. В качестве образцов использовали монолитные прутки термопласта цилиндрического сечения диаметром 5 мм и длиной 20 мм.

В результате анализа экспериментальных данных установлен факт изменения прочности в условиях растяжения с ростом концентрации модифицирующей добавки. После проведения опытов в режиме комбинированной экструзии отмечено повышение прочности на 39 % у исходного материала, и 31% у композитов ПЭВП+0,05УНТ.

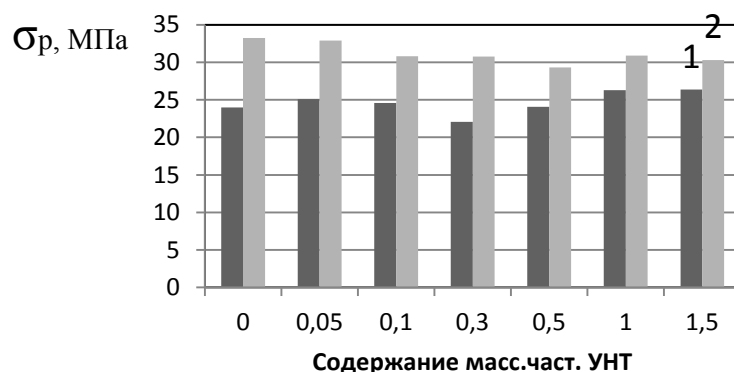


Рисунок 1. Диаграмма изменения разрушающего напряжения при растяжении полимерного композита ПЭВП + УНТ, в зависимости от содержания УНТ: 1- материал переработанный жидкофазной экструзией, 2- материал переработанный комбинированной экструзией.

Прочность в условиях срезающих напряжений исходного материала полученного комбинированной экструзией, превышает на 43% соответствующие характеристики материала полученного жидкофазной технологией, и на 55% у композитов ПЭВП+0,05УНТ.

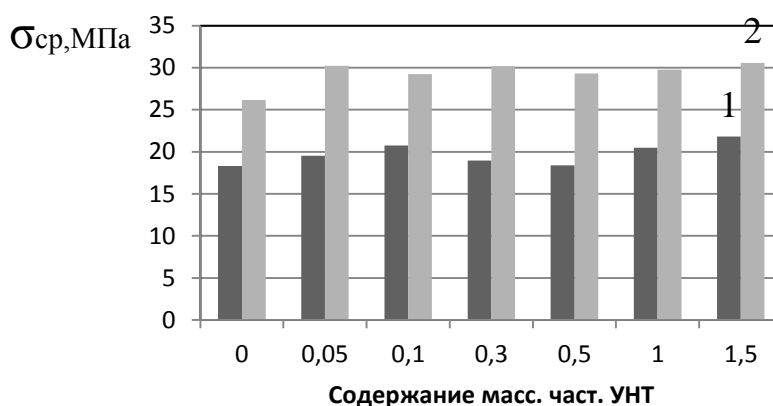


Рисунок 2. Диаграмма изменения разрушающего напряжения в условиях среза полимерного композита ПЭВП+УНТ, в зависимости от содержания УНТ: 1-материал переработанный жидкофазной экструзией, 2- материал переработанный комбинированной экструзией.

Полученные данные позволяют судить о положительном результате использования двух методов твердофазной (равноканальной угловой и плунжерной) экструзии, за один технологический цикл не только на исходные полимеры, но и на полимерные композиты.

В настоящее время пока ещё не достаточно научных данных, позволяющих судить о механизме деформации на микроуровне в режиме комбинированной экструзии[3]. Тем не менее, полученные первые результаты свидетельствуют о том, что данный вид обработки полимеров является эффективным методом твердофазной модификации, приводящим к улучшению комплекса физико-механических показателей полимеров и композитов на их основе.

### Список используемых источников

1. Белошенко, В.А. Твердофазная экструзия полимеров / В.А. Белошенко, Я.Е. Бейгельзимер, В.Н. Варюхин. Киев: Наукова думка, 2008-208с.
2. Иванов, С.А. Влияние интенсивной пластической деформации на физико-механические характеристики полимеров /С.А. Иванов, Г.С.Баронин, А.К. Разинин //Материалы II всероссийской научно-инновационной конференции, Тамбов, 27-29 октября 2010. – С.81-83
3. Баронин, Г.С. Переработка полимеров в твердой фазе. Физико-химические основы / Г.С. Баронин, М.Л. Кербер, Е.В. Минкин, Ю.М. Радько. М.: Машиностроение-1, 2002. – 320с.

## ВОЗМОЖНОСТЬ ПЕРЕНОСА ИОНА ГАЛЛИЯ В СИСТЕМЕ СУЛЬФАТ НАТРИЯ – СУЛЬФАТ ГАЛЛИЯ (III)

*Зяблицева Е.В.*

*Вятская государственная сельскохозяйственная академия, г. Киров  
[amel@mail.ru](mailto:amel@mail.ru)*

Система  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Ga}_2(\text{SO}_4)_3$  была предложена в качестве предполагаемого твердого электролита (ТЭ) с обратимостью по галлию. Метод рентгенофазового анализа показал наличие области твердых растворов до 7 мол. %  $\text{Ga}_2(\text{SO}_4)_3$ , вследствие чего для исследований были выбраны составы, содержащие 1-7 мол. %  $\text{Ga}_2(\text{SO}_4)_3$ .

Исследование электропроводности исследованы проводили в интервале температур 373 - 723 К (рис. 1).

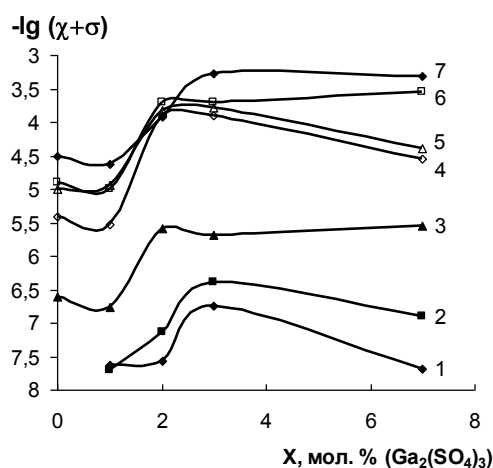


Рисунок 1. Изотермы электропроводности системы  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Ga}_2(\text{SO}_4)_3$ .

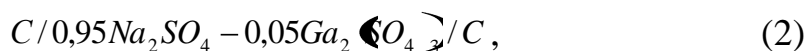
С повышением температуры от 373 К до 673 К электропроводность системы  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Ga}_2(\text{SO}_4)_3$  для исследуемых составов увеличивается от  $1 \cdot 10^{-7}$  -  $6 \cdot 10^{-7}$  См/см до  $2 \cdot 10^{-5}$  -  $8 \cdot 10^{-4}$  См/см, что для примесных ТЭ при данных температурах является величиной значительной.

Характер концентрационной зависимости электропроводности системы  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Ga}_2(\text{SO}_4)_3$  согласуется с квазихимической реакцией представляющей возможный механизм разупорядочения:



При внедрении  $\text{Ga}_2(\text{SO}_4)_3$  в кристаллическую решетку  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , галлий образует примесный дефект, сульфат-ион занимает регулярные узлы в анионной подрешетке, в катионной подрешетке образуется отрицательно заряженные вакансии, по которым возможен транспорт ионов галлия (III), радиусы ионов  $\text{Na}^+$  (0,97 Å) и  $\text{Ga}^{3+}$  (0,62 Å) показывают отсутствие геометрических затруднений. Процесс легирования сульфатом галлия (III)  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  эффективен для понижения электронно-дырочной и увеличения ионной проводимости по катионам галлия (III).

Методом импедансной спектроскопии в интервале температур 573 К–673 К получены годографы импеданса ТЭ в системе:



по которым установлено, что основную часть омического сопротивления системы составляет сопротивление на границе электрод / электролит ( $\sim 10^4 \text{ Ом}$ ).

Определение чисел переноса электронов проводили методом Хебба-Вагнера в системе  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Ga}_2(\text{SO}_4)_3$  с содержанием 1,0 – 7,0 мол.%  $\text{Ga}_2(\text{SO}_4)_3$  при температурах 473 – 773 К. Получены классические кривые электропроводности: с площадкой в зависимости от состава системы (рис. 2 а), с экстремумом - температурные (рис. 2 б).

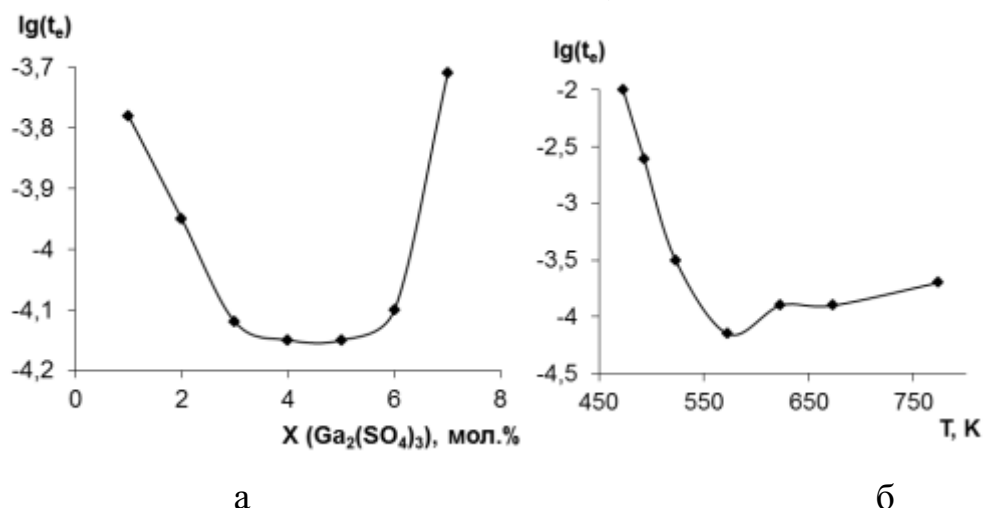


Рисунок 2. Зависимость чисел переноса электронов в системе  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Ga}_2(\text{SO}_4)_3$  от состава системы при температуре 573 К (а), от температуры при содержании 5,0 мол.%  $\text{Ga}_2(\text{SO}_4)_3$  (б).

Определение коэффициентов диффузии ионов галлия (III) в ТЭ  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Ga}_2(\text{SO}_4)_3$  проводили при температуре 573 К, для составов системы с

содержанием 1,0 – 9,0 мол.%  $\text{Ga}_2(\text{SO}_4)_3$  (рис. 3). Данная температура была выбрана как соответствующая максимальной электропроводности.

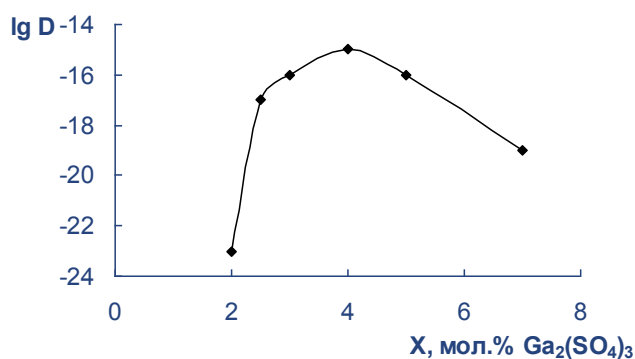


Рисунок 3. Зависимость коэффициентов диффузии ионов галлия (III) в ТЭ  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Ga}_2(\text{SO}_4)_3$  от состава системы при температуре 573 К.

Максимальная величина коэффициентов диффузии ионов галлия (III)  $10^{-15} - 10^{-14} \text{ см}^2/\text{с}$  наблюдается при содержании в системе 5,0 мол.%  $\text{Ga}_2(\text{SO}_4)_3$  в температурном интервале 573 – 733 К, что удовлетворительно согласуется с характером изменения электропроводности ТЭ.

Для оптимального состава - 5,0 мол.%  $\text{Ga}_2(\text{SO}_4)_3$  – была исследована зависимость коэффициентов диффузии от температуры (рис. 4).

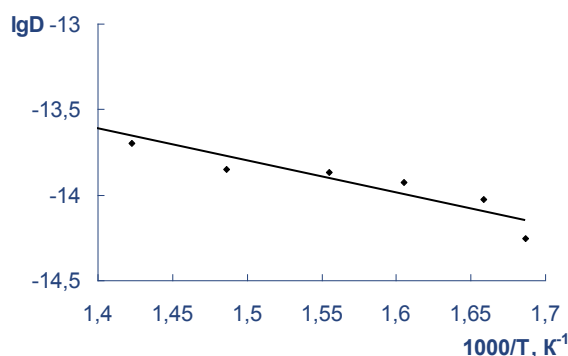


Рисунок 4. Зависимость коэффициентов диффузии ионов галлия (III) в ТЭ  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Ga}_2(\text{SO}_4)_3$  от обратной температуры при содержании в системе 5,0 мол.%  $\text{Ga}_2(\text{SO}_4)_3$ .

По температурной зависимости коэффициентов диффузии ионов галлия (III) в координатах  $(-\lg D - 10^3/T)$  определена энергия активации диффузии - 0,37 эВ.

Результаты исследований свидетельствуют, что ТЭ  $0,95\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-}0,05\text{Ga}_2(\text{SO}_4)_3$  обратим по катионам галлия (III).

Оптимальный состав системы  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Ga}_2(\text{SO}_4)_3$ , содержащий  $\text{Ga}_2(\text{SO}_4)_3$  3,0 - 6,0 мол.%, в интервале температур 553 – 673 К с электропроводностью  $1 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-4} \text{ См/см}$ , пренебрежимо малыми числами переноса электронов  $9 \cdot 10^{-5}$  и коэффициентами диффузии ионов галлия (III)  $10^{-15} - 10^{-14} \text{ см}^2/\text{с}$ , рекомендован в качестве ТЭ.

# ПРИДАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ЭПОКСИДНЫМ СМОЛАМ ЗА СЧЕТ ДОБАВОК УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

*Блохин А.Н., Захаревский А.В., Гурьев Я.Е.*

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»,  
Тамбов, [san775469@yandex.ru](mailto:san775469@yandex.ru)*

Производство новых функциональных материалов – актуальное направление, позволяющее значительно улучшить механические, электрофизические и др. свойства. Углеродные нанотрубки имея высокую электропроводность, теплопроводность, термическую стабильность, а также высокую механическую прочность, в настоящее время одни из наиболее интересных и перспективных материалов. Используемые на данный момент методы приданию полимерным композитам электропроводности основаны на внесении большого количества токопроводящих частиц в структуру полимерной матрицы. Как правило, этими частицами является графит, металлы и различные соединения титана, которые вносят в больших долях, обычно это 60–80 %, что приводит к разупрочнению матрицы и снижению прочностных и эксплуатационных характеристик.

Предлагаемый метод основан на физико-механическом воздействии на углеродные нанотрубки в эпоксидной суспензии, позволяющий добиться электропроводности порядка одного Ома, при внесении нескольких массовых процентов добавки. Также нанотрубки оказывают упрочняющее воздействие, что может скомпенсировать падение прочности материала при использовании больших процентов внесения. При этом данный метод позволяет сочетать предложенные нами наполнители традиционными, что не может не сказаться положительно на стоимости конечного продукта [1].

Предполагается, что углеродные нанотрубки, являющиеся проводником электричества, образуют замкнутый пространственный каркас, который выстраивается на границе макромолекул в процессе их полимеризации, что и придает электропроводящие свойства материалу.

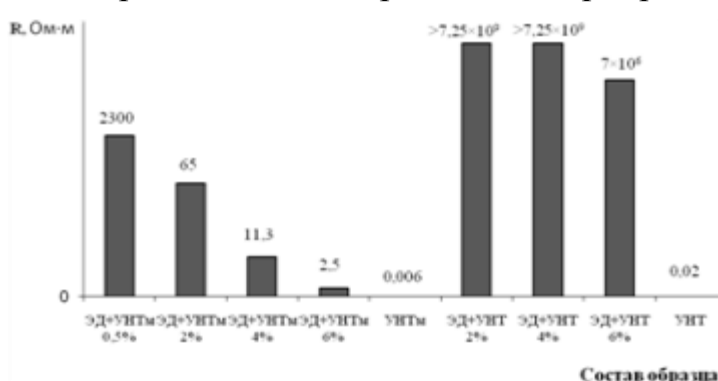


Рисунок 1. Изменение удельного сопротивления в зависимости от добавки и ее процентного содержания.

В качестве электропроводящей добавки использованы углеродные нанотрубки марки «Таунит» (УНТ) и «Таунит-М» (УНТм), полученные промышленным методом на ООО «НаноТехЦентр», г. Тамбов [2]. Процент внесения в эпоксидную матрицу составил от 0,5 до 6 % (масс.). В лабораторной

установке использовался измеритель сопротивления Тераомметр Е6-13А. Результаты эксперимента приведены на рисунке 1.

Исследования показали, что УНТм обладают лучшей электропроводностью в силу небольшого отличия в своей структуре.

По данным расчета на одну углеродную нанотрубку приходится объем эпоксидного полимера равного  $0,5 \cdot 10^{-20} \text{ м}^3$  (рис. 2)

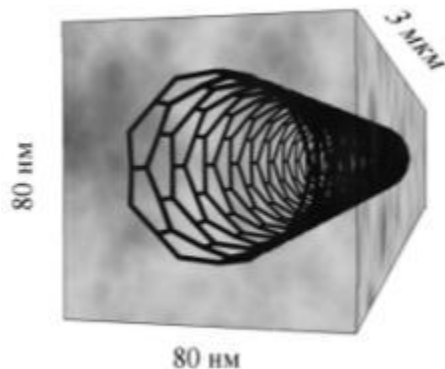


Рисунок 2. Средний объем эпоксидной смолы, приходящейся на одну нанотрубку в 2%-м наномодифицированном эпоксидном связующем.

Для придания электропроводности рекомендуется использовать УНТм. Максимальный процент добавки лимитируется процентом насыщения и падением вязкости. В исследованных диапазонах концентраций зависимость электропроводности от процента добавки носит во многом линейный характер, что может служить правилом для определения процента добавки под требования электропроводности заказчика к создаваемому материалу.

#### Список используемых источников

1. Мищенко, С.В. Углеродные наноматериалы. Производство, свойства, применение / С.В. Мищенко, А.Г. Ткачев. – М. : Машиностроение, 2008. – 320 с.
2. Ткачев, А.Г. Углеродный наноматериал «Таунит» – структура, свойства, производство и применения / А.Г. Ткачев // Перспективные материалы. – 2007. – № 3. – С. 5 – 9.

## **ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Полунина Н.Ю.*

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов,  
[teplotehnika@nnn.tstu.ru](mailto:teplotehnika@nnn.tstu.ru).*

Решение актуальной в настоящее время проблемы энергосбережения и снижения потерь теплоты в окружающую среду и, как следствие, снижение затрат на энергоресурсы, может быть достигнуто при качественном определении теплофизических свойств (ТФС) теплозащитных материалов. Энергосберегающие теплозащитные покрытия и материалы применяются в строительстве, энергетике, коммунальном хозяйстве. Поэтому при производстве и эксплуатации теплозащитных материалов необходимо знать их ТФС.

Данная статья посвящена результатам разработки информационно-измерительной системы для определения ТФС теплозащитных материалов по экспериментальным термограммам с использованием математических моделей, описанных в работах [1, 2].

На базе ранее разработанных конструкций бикалориметров [1], реализующих методы регулярного теплового режима, выбрана схема ТИЯ, которая является основным элементом разработанной ИИС.

Разработанная ИИС предназначена для определения комплекса ТФС (теплопроводности ( $\lambda$ ), температуропроводности ( $a$ ), объёмной теплоёмкости ( $ср$ )) теплозащитных материалов (листовых, пористых, волокнистых, сыпучих) с  $\lambda = 0,03 \dots 0,5$  Вт/(м·К) на образцах в виде диска диаметром от 120 до 160 мм и толщиной от 6 до 20 мм.

В состав технических средств ИИС входят (рис. 1): персональный компьютер (ПК) 1, оснащённый платой сбора данных АЦП/ЦАП; блок холодных спаев (БХС) 2 термопар хромель-алюмель (ХА); теплоизмерительная ячейка (ТИЯ) 3; металлический съёмный блок 4; блок питания и управления (БПУ) 6; циркуляционный насос 8 с электродвигателем 7; жидкостной термостат 9; блок холодных спаев термопары хромель-копель (ХК), расположенной в термостате.

Основным элементом ИИС является ТИЯ, конструкция которой предполагает установку двух идентичных образцов из исследуемого материала. Внутри латунного сердечника ТИЯ расположен электрический нагреватель. С обеих сторон от сердечника располагаются исследуемые образцы 5 и прижимаются с наружных сторон металлическими съёмными блоками. В металлических блоках при помощи насоса из термостата циркулирует охлаждающая жидкость, температура которой поддерживается постоянной.

Нагреватель ТИЯ обеспечивает создание теплового воздействия постоянной мощности на образцы из рабочего диапазона нагревателя (0 – 30 Вт). Регулирование мощности нагревателя обеспечивается изменением входного напряжения в диапазоне от 0 В до 30 В при помощи БПУ.

Чувствительными элементами ТИЯ являются четыре термопары ХА (I – IV), расположенные внутри сердечника и съёмных блоков (табл. 1). Дифференциальные термопары ДТП 1 и ДТП 2, образованные между термопарами I–II и III–IV, предназначены для измерения перепада температуры на обоих образцах.

Для поддержания заданного значения температуры жидкости в съёмных блоках ТИЯ в термостате расположены термопара ХК (V). Свободные концы термопар ХА и ХК расположены в БХС 2 и в БХС 10 соответственно, температура которых определяется встроенными в них интегральными датчиками с аналоговым выходным сигналом (VI, VII).



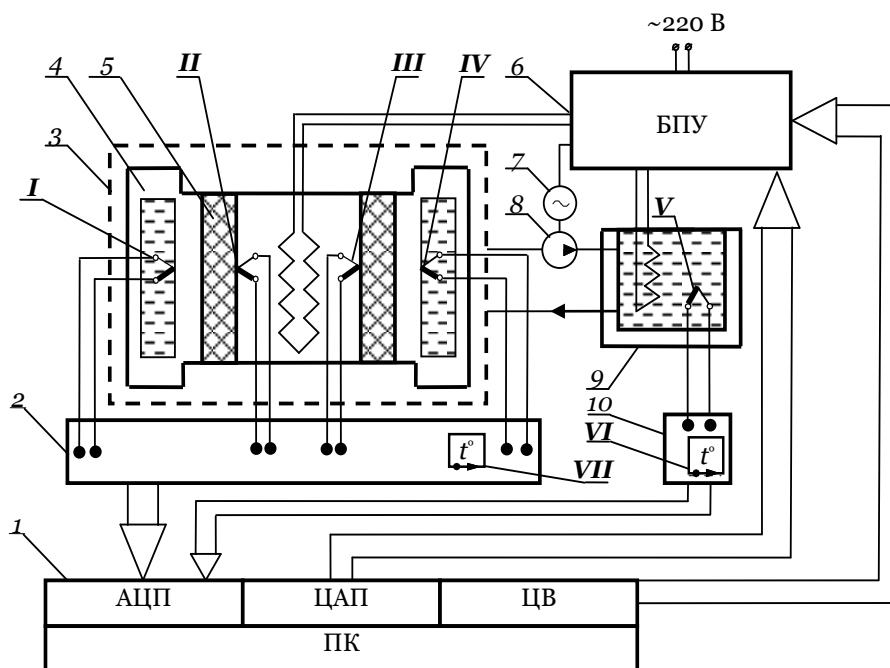


Рисунок 1. Схема ИИС: 1 – персональный компьютер; 2 – блок холодных спаев термопар ХА; 3 – тепло-измерительная ячейка; 4 – металлический съёмный блок; 5 – исследуемый образец; 6 – блок питания и управления; 7 – электродвигатель; 8 – насос циркуляционный; 9 – термостат; 10 – блок холодных спаев термопары ХК

Измерительная информация с термопар и датчиков ИИС поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) платы сбора данных при помощи разработанного программного обеспечения. Управление мощностью теплового потока нагревателя ТИЯ осуществляется посредством двухканального цифро-аналогового преобразователя «напряжение-ток» (ЦАП). Для включения / отключения нагревателя ТИЯ, насоса и нагревателя термостата в БПУ предусмотрен блок реле, которым управляют цифровые выходы (ЦВ) платы.

Теоретическую основу многомодельного метода определения ТФС материалов ИС составляют аналитические закономерности распространения тепла в системе двух тел на стадиях: нагрева, стационарной и остывания.

Таким образом, представленная ИИС реализует в полном объёме, включая аппаратные составляющие, средства измерения и автоматизации, вычислительные средства, математическое, алгоритмическое и программное обеспечение, многомодельный метод определения ТФС теплозащитных материалов.

#### Список используемых источников

1. Рогов, И.В. Измерительная система на базе бикалориметра, реализующая многомодельный метод определения теплофизических свойств / И.В. Рогов, Н.Ю. Полунина (Тужилина), Е.П. Полунин, Н.Ф. Майникова // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2011, Т.77, №8. – С. 36 – 39.
2. Полунина, Н.Ю. Информационно-измерительная система автоматического определения теплофизических свойств // Новый университет. – Йошкар-Ола: ООО «Коллоквиум» – 2012, № 1(7). – С. 62 – 64.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИНТЕНСИВНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПА-6 НА ПРИМЕРЕ ТВЕРДОФАЗНОЙ ПЛУНЖЕРНОЙ ЭКСТРУЗИИ\*

*Завражин Д.О., Баронин Г.С.*

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»  
Научно-образовательный центр «Твердофазные технологии», г.Тамбов*

Технологические методы обработки полимеров давлением в твердом агрегатном состоянии известны сравнительно недавно. В настоящее время нет единой сложившейся терминологии. В работах разных авторов встречаются различные названия метода: «формование в твердом состоянии», «формование в твердой фазе», «пластическое деформирование (формоизменение)», «низкотемпературное формование». По-видимому, следует считать, что терминология нового технологического метода сейчас только складывается и не является окончательной.

В основе всех процессов переработки полимеров в твердом состоянии лежит пластическая (вынужденно - эластическая) деформация, которая носит обратимый характер. Формование, ведется в температурном интервале, заключенном между комнатной температурой и температурой стеклования ( $T_c$ ) для аморфных полимеров или плавления ( $T_{пл}$ ) для кристаллизующихся [1]. Частным случаем метода является формование без нагрева, т.е. переработка при температуре окружающей среды. В литературе этот вид переработки термопластов носит название «холодное формование». Если комнатная температура лежит ниже температуры хрупкости полимера  $T_{хр}$ , то переработку ведут выше этой температуры, что обеспечивает проведение процесса в нехрупкой области.

В качестве объекта исследования использовали полиамид-6. В качестве модифицирующих веществ применяли углеродные наноструктурные материалы (УНМ) «Таунит» (производства ООО «Нанотехцентр», Россия, г.Тамбов) в виде сыпучего порошка с размером частиц 40-100 нм.

Образцы диаметром 5 мм. и длиной 15 мм. полученные литьем под давлением подвергли твердофазной плунжерной экструзии (ТФЭ) при температурах  $T_{экс} = 298$  К и  $T_{экс} = 363$  К на экспериментальной установке типа капиллярного вискозиметра с загрузочной камерой диаметром 0,005 м. [1]. Мерой деформируемости при ТФЭ является экструзионное отношение  $\lambda_{экс}$  (степень обжатия). В работе использовались 3 фильеры с экструзионными отношениями  $\lambda_{экс} = 2,52$ ;  $\lambda_{экс} = 2,07$ ;  $\lambda_{экс} = 1,52$ .

Измерялось давление, необходимое для твердофазной экструзии исследуемых наномодифицированных полимеров в зависимости от состава.

На представленных диаграммах (рис. 1, 2) хорошо прослеживается влияние вносимых добавок на изменение необходимого давления формования модифицированных материалов на основе ПА-6. Как отмечалось

выше, ТФЭ при оптимальных температурах переработки позволяет снизить необходимое давление формования, что свидетельствует о значительном изменении структуры материала при нагреве.

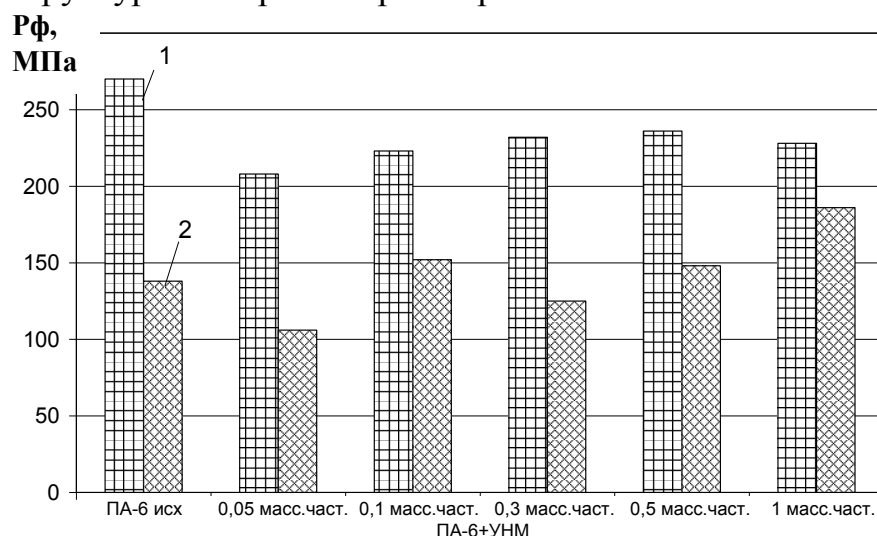


Рисунок 1. Диаграмма изменения необходимого давления формования  $P_{\phi}$  образцов системы ПА-6 + УНТ, экструдированных при  $\lambda_{\text{экс}}=1,52$  и температурах 298 К (1) и 363 К (2) в зависимости от содержания УНМ.

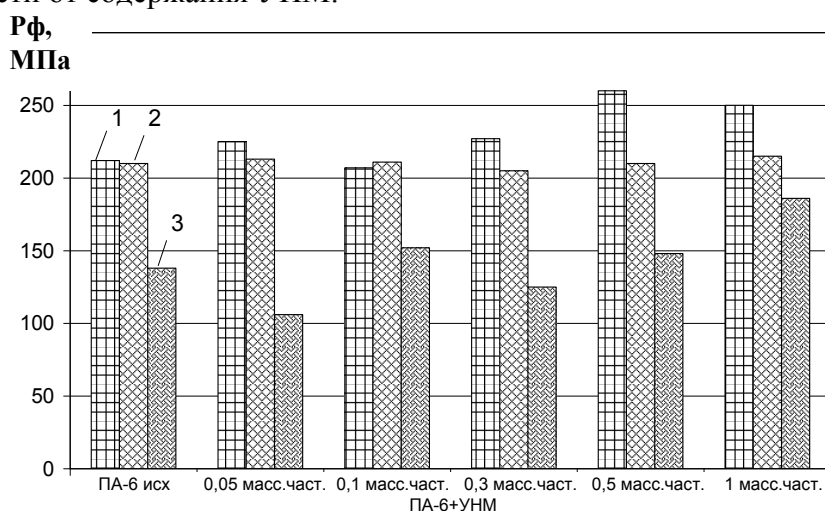


Рисунок 2. Диаграмма изменения необходимого давления формования  $P_{\phi}$  образцов системы ПА-6 + УНМ, экструдированных при  $T_{\text{экс}}=363$  К и  $\lambda_{\text{экс}}=2,52$  (1),  $\lambda_{\text{экс}}=2,07$  (2),  $\lambda_{\text{экс}}=1,52$  (3) в зависимости от содержания УНМ.

Наряду со снижением необходимого давления формования при  $T_{\text{экс}}=363$  К отмечено снижение модуля упругости в 2-3 раза, что свидетельствует о значительном изменении структуры материала при нагреве.

Однако, необходимо отметить, что при переработке полимерных материалов в режиме ТФЭ следует учитывать структурные особенности полимерной матрицы: переработка полимеров с жесткой структурой (ПА-6) при температуре окружающей среды может привести к разрушению полимерной матрицы. Для перехода ПА-6 в высокоэластическое состояние необходимо при ТФЭ дополнительно повысить температуру.

При оценке качества поверхности экструдатов необходимо также отметить, что ТФЭ при больших экструзионных отношениях позволяет получить экструдаты с более гладкой глянцевой поверхностью. Использование значительных степеней обжаривания ведет к развитию механизма пластической деформации матрицы полимера во всем объеме образца.

Одним из параметров, которые необходимо учитывать при ТФЭ является коэффициент разбухания экструдата ( $\alpha$ ), равный отношению диаметра экструдата к проходному диаметру фильеры. Одной из основных задач при производстве изделий из полимерных материалов является высокая размерная точность изделий. Проведенные исследования показали, что изменений коэффициента разбухания от внесения модификатора и от температуры экструзии не наблюдается.

#### Список используемых источников

1. Баронин, Г.С. Переработка полимеров в твердой фазе. Физико-химические основы: Монография / Г.С. Баронин и др. - М.: Машиностроение-1, 2002. - 320 с.

*\*Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (Государственное соглашение №14.В37.21.0947).*

## **ВЛИЯНИЕ МНОГОСТУПЕНЧАТОГО ОБЖАТИЯ НА ПРОЦЕСС СВС-ЭКСТРУЗИИ\***

*Штейнман А.Э., Столин А.М., Бажин П.М.*

*Федеральное государственное учреждение науки Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения Российской академии наук, г. Черноголовка, [alex@steinman.ru](mailto:alex@steinman.ru)*

В последнее время сильное развитие получили методы интенсивной пластической деформации (ИПД), в процессе которых происходит измельчения структуры материалов в результате деформационного воздействия. Благодаря этому, материалы приобретают большую пластичность и прочность. Наиболее исследованным является метод равноканального углового прессования (РКУП). Метод заключается в продавливании заготовки через равные по сечению каналы, пересекающиеся под определенным углом, обычно равным 90°. Как правило, совершается несколько проходов через каналы.

Исследования, посвященные ИПД, показали, что метод является перспективным, позволяет значительно улучшать прочностные характеристики материалов. Поэтому, встает задача применения наработок и

принципов, полученных при разработке методов ИПД к другим технологическим процессам и методам получения материалов, связанных с пластическим деформированием.

Одним из таких методов является СВС-экструзия. Технология сочетает в себе горение экзотермической смеси – СВС и горячее деформирование продуктов синтеза – экструзию. Процесс СВС – самораспространяющийся высокотемпературный синтез заключается в проведении экзотермических реакций в режиме распространения волны горения в результате которых синтезируется нужное вещество и формируется структура материала, обладающего ценными практическими свойствами. Горячее деформирование осуществляется методом экструзии - продавливанием продуктов синтеза через матрицу с заданным отверстием. Благодаря такому сочетанию удается осуществить деформирование достаточно твердых и плохо поддающихся пластической деформации материалов (карбиды, бориды, нитриды и др.). С помощью СВС-экструзии получают длинномерные изделия различного назначения - твердосплавные электроды, нагреватели, заготовки для режущего инструмента. Получаемые изделия хорошо отвечают поставленным задачам и обладают необходимыми свойствами (жаростойкость, жаропрочность, твердость и др.). Но наблюдаются и недостатки - к ним можно отнести неоднородность материала и повышенную хрупкость. Для того, что бы избежать указанных недостатков, а также повысить прочностные качества, была предложена технологическая схема применения наработок методов ИПД к СВС-экструзии. Она заключается в использовании многоступенчатых матриц во время экструзии. Это позволяет увеличить время пребывания материала под действием деформации, благодаря чему материал имеет более однородную структуру, а также увеличивается интенсивность деформации, за счет чего достигается уменьшение зерна.

Исследования микроструктуры и свойств полученного материала при использовании многоступенчатого обжата показали уменьшение размеров зерен карбида титана, увеличение однородности структуры, улучшение формы зерен. Наблюдается меньшее агрегирование и агломерирование зерен карбида титана. Также обнаружено уменьшение распределения зерен карбида титана по размерам.

Проведены измерения микротвердости образцов полученных при многоступенчатом и одноступенчатом обжате. Выявлено увеличение значений микротвердости до 30 % в образцах полученных с использованием многоступенчатого обжата.

*\*Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы, ГК № 02.740.11.0618 и Государственного задания Министерства образования и науки выполнения работ в ФГБОУ ВПО "ТГТУ" в 2012 г. и плановом периоде 2013-2014гг.*

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВС-ЭЛЕКТРОДОВ ПРИ УПРОЧНЕНИИ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬХОЗТЕХНИКИ\*

*Сипратов Н.Ю., Глазков Ю.Е., Ведищев С.М., Бажин П.М.  
Тамбовский государственный технический университет  
НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии», г. Тамбов  
[Baronin-gs@yandex.ru](mailto:Baronin-gs@yandex.ru)*

Важнейшей задачей, стоящей перед агропромышленным комплексом является обеспечение высокой надежности узлов и агрегатов транспортных и технологических машин и оборудования.

В условиях старения машинно-тракторного парка, многократного удорожания машин и запасных частей проблема технического оснащения сельскохозяйственного производства не может быть решена только за счет увеличения поступления новой техники. Большая роль в этом отводится эффективному использованию имеющегося парка машин, постоянному поддержанию его готовности за счет технического обслуживания, а также развитию и совершенствованию технологических процессов их ремонта.

Важнейшим резервом в повышении технической готовности является обеспечение предприятий АПК запасными частями за счет восстановления изношенных деталей. Научные исследования и опыт ремонтных предприятий показали, что в последние годы наметилась тенденция использования упрочняющих технологий, которые позволяют повысить износостойкость деталей и соединений в несколько раз.

Одним из способов восстановления и повышения долговечности деталей имеющих большой износ является применение электроискрового легирования (ЭИЛ) СВС-электродами и порошковыми материалами (продуктами самораспространяющегося высокотемпературного синтеза) из карбида (TiC) и диборида титана (TiB<sub>2</sub>) производимыми в Институте структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН, г. Черноголовка. Этот способ позволяет получать покрытия, характеризующиеся высокими эксплуатационными показателями (коррозионной стойкости и износостойкостью). Повышение коррозионной стойкости и износостойкости при восстановлении деталей увеличивает ресурс машин и является перспективным направлением развития ремонтного производства.

К основным особенностям и отличиям ЭИЛ следует отнести:

- высокую адгезию (прочность сцепления) формируемого слоя с основой;
- возможность локальной обработки поверхности;
- отсутствие необходимости специальной предварительной подготовки обрабатываемой поверхности (локальная очистка происходит в процессе ЭИЛ в начальной стадии разряда);

- весьма незначительный нагрев деталей в процессе обработки, что очень важно для малогабаритных, тонкостенных и ажурных деталей;

- возможность использования в качестве обрабатываемых материалов, как чистых металлов, так и сплавов, металлокерамических композиций, тугоплавких соединений и т.п.;

- диффузионное обогащение поверхности катода-детали составными элементами анода-инструмента без изменения размеров детали.

Для нанесения износостойких, коррозионно- и жаростойких покрытий на поверхности деталей машин и механизмов, в том числе адгезионных, антифрикционных и многослойных композиционных покрытий, использовалась установка для электроискрового легирования SE-5.01 (рис.1), при помощи которой по сравнению с аналогичными установками (СИРИУС-32, КОРОНА-1103, Элитрон 22-А) достигается возможность широкого варьирования режимов обработки. Установка обеспечивает, в зависимости от режимов обработки, материала электрода и обрабатываемого изделия, нанесение покрытий толщиной до 0,2 мм.

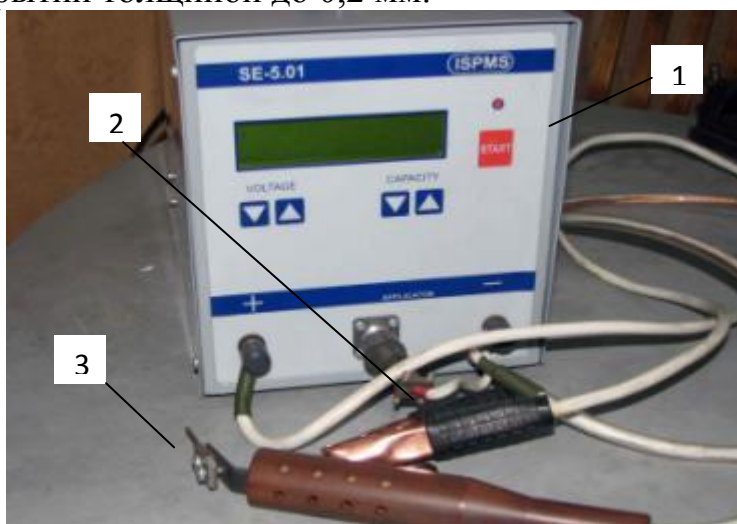


Рисунок 1. Общий вид установки SE – 5.01.

Установка SE-5.01 состоит из силового блока (1), вибратора (3) и кабеля (2) с «крокодилем» для подключения к обрабатываемому изделию. Силовой блок установки выполнен в типовом прямоугольном металлическом корпусе с расположением кнопок управления на передней панели.

Вибратор выполнен в текстолитовом корпусе, внутри которого размещена магнитная система, содержащая магнитопровод, катушку и якорь. На якоре закреплен электродержатель, позволяющий использовать электроды круглого и прямоугольного сечения. С нижней стороны корпуса вибратора выведен «подстроечный» винт, регулирующий амплитуду вибрации.



Рисунок 2. Упрочненный корпус чизельного плуга.

В работе проведена обработка корпуса чизельного плуга марки ПРПВ-5-50 СВС-электродами марки СТИМ-3 с целью повышения износостойкости.

Затраты на производстве по ЭИЛ в год (без учета транспортных расходов по привозу и отвозу плугов) представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Наименование затрат на:	Сумма затрат, руб.
Вспомогательные материалы	1 300,0
Амортизация оборудования	3 916,5
Электроэнергию	1 505,9
Аренду помещения	28 020,0
Заработную плату	320 006,4
Итого:	354 748,8

Себестоимость упрочнения инструмента (1ед.) без учета стоимости электрода при обработке 1000 ед. «корпуса чизельного плуга» в год (условие полной занятости) будет составлять, руб.:

$$354\,748,8/1000 = 354,7 \text{ руб.}$$

Стоимость 1 электрода 200 руб.

Стоимость упрочнения 1 ед. учетом прибыли (20%):

$$(354,7 + 200) * 1,2 = 545,6 \text{ руб.}$$

В настоящее время проводятся сравнительные испытания корпусов плуга в полевых условиях.

*\*Работа поддержана Грантом президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ РФ код проекта НШ – 3550.2012.3.*



# СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ПРОЦЕССАХ ФОРМИРОВАНИЯ ЭПОКСИАМИННЫХ ПОЛИМЕРОВ, ВЫЯВЛЯЕМЫЕ МЕТОДОМ ШИРОКОПОЛОСНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Дебердеев<sup>1</sup> Т.Р., Улитин<sup>1</sup> Н.В., Новиков<sup>2</sup> Г.Ф.,  
Тереженко<sup>1</sup> К.А., Сидельникова<sup>1</sup> В.А., Дебердеев<sup>1</sup> Р.Я.

<sup>1</sup>-ФГБОУ «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань, [nucleurmind@yandex.ru](mailto:nucleurmind@yandex.ru)  
<sup>2</sup>-Институт проблем химической физики РАН,  
142432. Московская обл., г. Черноголовка

Перспективным методом исследования процессов получения сетчатых полимеров является метод широкополосной диэлектрической спектроскопии. В настоящей работе рассмотрены особенности интерпретации результатов этого метода на примере анализа процесса изотермического взаимодействия эпоксидного олигомера ЭД-20 с диэтилентриамином.

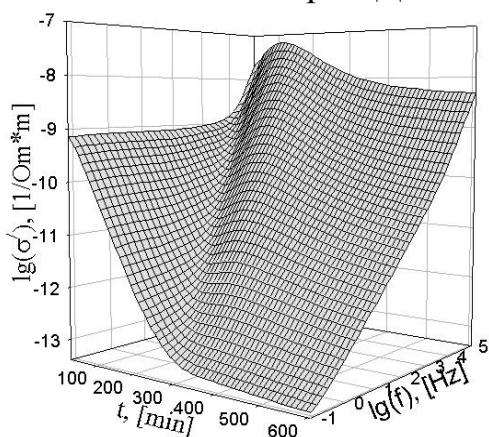


Рисунок 1. Зависимость проводимости от времени отверждения и частоты приложенного электрического поля

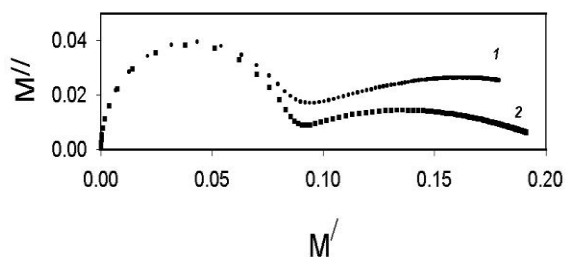


Рисунок 2. Диаграмма модуль-модуль  
1 – частота 0,075 Гц; 2 – 0,84 Гц

При допущении того, что проводимость в переменном электрическом поле равна проводимости в постоянном электрическом поле, окружность на кривой зависимости  $M''(M')$  указывает на то, что в области соответствующих времен отверждения имеет место дебаевская релаксация [1] с единственным временем релаксации  $\tau$ . В максимуме полуокружности  $\omega\tau = 1$  (где  $\omega = 2\pi f$  – круговая частота электрического поля).

Исследования показали, что существует временная зависимость активной составляющей проводимости ( $\sigma'$ ) сетчатого эпоксиаминного полимера от частоты приложенного электрического поля ( $f$ ). На рис. 1 приведена зависимость в интервале частот  $f = 10^{-2} - 10^5$  Гц.

Из приведенного рисунка видно, что на высоких значениях величины  $f$  наблюдается сначала рост проводимости, а затем плавный спад. А с момента времени порядка 400 минут величина  $\sigma'$  практически не меняется.

Перечисленные изменения проводимости связаны с ростом плотности сетки и, как следствие, с изменением соотношения вкладов. На рис. 2 приведены зависимости мнимой части комплексного электрического модуля  $M''$  от действительной части  $M'$ .

Если провести экстраполяцию  $\sigma'$  к нулю по степенному закону  $\sigma(T, t_c) = \sigma_0(T, t_c \rightarrow 0) \left[ \frac{t_{gel}(T) - t_c(T)}{t_{gel}(T)} \right]^{\chi(T)}$ , где  $\sigma_0(T, t_c \rightarrow 0)$  – проводимость, с

начала реакции отверждения при температуре  $T$ ,  $t_{gel}$  – время достижения точки геля и  $\chi$  – критический показатель степени степенного уравнения, то можно определить момент затормаживания процесса отверждения.  $t_{gel}$  может соответствовать как точке гелеобразования, так и стеклования [2]. Однако результаты измерений твердости по Шору А показали, что в отличие от модельных эпоксиаминных систем [2] в случае ЭД-20 это соответствовало стеклованию.

Исходя из полученных данных, можно заключить, что началу эффективной дипольной релаксации соответствует момент времени между полуокружностью и искаженной дугой. Но, как видно из рис. 2, величина  $M''$  в точке перехода существенно отличается от нуля. Этот факт говорит о том, что вклад дипольной релаксации в общую проводимость становится существенным уже тогда, когда ионная проводимость еще значительно отлична от нуля. Возможно, это свидетельствует об особенностях процесса образования матрицы при отверждении ЭД-20 по сравнению с модельными системами [2].

Таким образом, при синтезе поликонденсационных сетчатых полимеров методом широкополосной диэлектрической спектроскопии могут быть выявлены характерные и специфические эффекты, проявляющиеся как на ранних, так и на глубоких конверсиях функциональных групп. То есть этот метод будет полезен при контроле *insitu* за процессом получения сетчатых матриц в процессе формования композиционных материалов.

#### Список используемых источников

1. Johari G.P. Electrical properties of epoxy resins.in: Chemistry and Technology of Epoxy Resins / Ed. B. Ellis, Blackie and Sons. London. 1993. P.175.
2. Новиков Г.Ф. и др. Изучение электрической проводимости эпоксиаминной модельной системы при отверждении. // Высокомолек. соедин., 2000, 42(7), с. 1228-1237.

# ЗОНДОВЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАВЛЕНИЯ И КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Васильев С.О., Васильев Д.О., Антонов А.О. Майникова Н.Ф.  
ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»,  
Тамбов, [teplotehnika@nnn.tstu.ru](mailto:teplotehnika@nnn.tstu.ru)*

Физические свойства полимеров в разных состояниях не только предопределяют конкретные возможности их рациональных применений, но и определяют выбор методов исследования, так как всегда существуют более или менее сложные, прямые или непрямые корреляции между структурой и всеми физическими свойствами.

Полимеры плавятся в интервале значений температуры  $\Delta T_{\text{пл}}$ , достигающем иногда десятков градусов. Величина  $\Delta T_{\text{пл}}$  зависит от условий кристаллизации полимера, режима отжига, длины молекул, полидисперсности, условий измерения [1]. Известно, что плавление кристалло-аморфных полимеров всегда «растянуто» по оси температуры и напоминает переход второго рода, но это настоящий переход первого рода, так как на него затрачивается теплота плавления. Процесс плавления проявляет выраженный гистерезис (кристаллизация происходит существенно ниже температуры плавления) и отвечает другим признакам перехода первого рода.

В данной работе рассматриваются зондовый метод и измерительная система, реализующие метод определения значений температуры плавления и кристаллизации кристалло-аморфных полимеров.

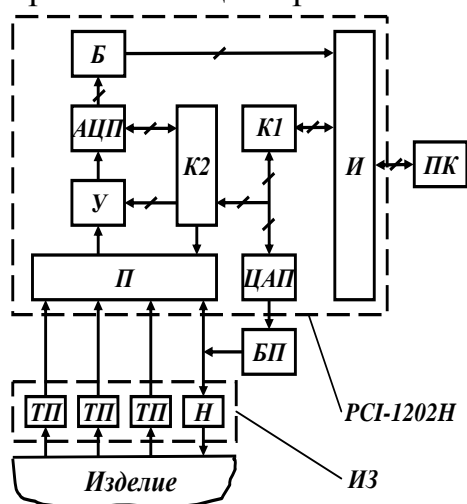


Рисунок 1. Структурная схема ИС с платой PCI-1202H

ИС (рис. 1) состоит из персонального компьютера (ПК), измерительно-управляющей платы PCI-1202H, сменных измерительных зондов (ИЗ), регулируемого блока питания (БП). Зонд обеспечивает создание теплового воздействия на исследуемое изделие, фиксирование температуры в заданных точках контроля термоэлектрическими преобразователями (ТП). При измерениях ИЗ устанавливают контактной стороной на поверхность исследуемого изделия. Тепловое воздействие осуществляется с помощью нагревателя (Н), выполненного в виде диска и встроенного в подложку ИЗ. Мощность и длительность теплового воздействия БП задаются программно через интерфейс (И), контроллер К1, цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП). Сигналы с ТП поступают через мультиплексор (П), усилитель (У), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), буфер обмена (Б) и

интерфейс (И) в ПК. Контроллер К2 обеспечивает необходимый порядок опроса каналов и различные диапазоны измерения на каждом из них. Сбор информации производится при нагреве и остывании исследуемого тела.

При измерениях ИЗ устанавливают контактной стороной на поверхность исследуемого изделия. Зонд обеспечивает создание теплового воздействия на исследуемое изделие, фиксирование температуры в заданных точках контроля (например, № 1 – 3, рис. 2 – 4) термоэлектрическими преобразователями.

Разработанный метод контроля основан на регистрации первой производной по времени от основной величины – температуры в нескольких точках контроля исследуемого полимерного тела в динамических режимах при нагреве и остывании.

Для расчета значений скорости изменения температуры  $V^*$  (назовем их текущими) термограмму разбивали на интервалы с номерами точек  $1...k$ ;  $2...k+1$ ;  $u-k+1...u$ , где  $k$  – количество точек в интервале, целое положительное нечетное число ( $k \geq 3$ );  $u$  – количество точек в термограмме;  $i$  – номер интервала.

Определение линии регрессии для каждого интервала при нагреве (1) и остывании (2) проводили по методу наименьших квадратов:

$$T'_i = p_{1i} \tau + p_{0i}, \quad (1)$$

$$T''_i = p_{3i} \tau + p_{2i}, \quad (2)$$

где

$$p_{1i} = \frac{k \left( \sum_{j=i-\frac{k-1}{2}}^{i+\frac{k-1}{2}} \tau_j T_j \right) - \left( \sum_{j=i-\frac{k-1}{2}}^{i+\frac{k-1}{2}} \tau_j \right) \left( \sum_{j=i-\frac{k-1}{2}}^{i+\frac{k-1}{2}} T_j \right)}{k \left( \sum_{j=i-\frac{k-1}{2}}^{i+\frac{k-1}{2}} \tau_j^2 \right) - \left( \sum_{j=i-\frac{k-1}{2}}^{i+\frac{k-1}{2}} \tau_j \right)^2} = V^*, \quad (3)$$

$$p_{0i} = \frac{\left( \sum_{j=i-\frac{k-1}{2}}^{i+\frac{k-1}{2}} T_j \right) \left( \sum_{j=i-\frac{k-1}{2}}^{i+\frac{k-1}{2}} \tau_j^2 \right) - \left( \sum_{j=i-\frac{k-1}{2}}^{i+\frac{k-1}{2}} \tau_j \right) \left( \sum_{j=i-\frac{k-1}{2}}^{i+\frac{k-1}{2}} \tau_j T_j \right)}{k \left( \sum_{j=i-\frac{k-1}{2}}^{i+\frac{k-1}{2}} \tau_j^2 \right) - \left( \sum_{j=i-\frac{k-1}{2}}^{i+\frac{k-1}{2}} \tau_j \right)^2}. \quad (4)$$

Коэффициенты  $p_{3i}$  и  $p_{2i}$  уравнения (2) находятся аналогично  $p_{1i}$  и  $p_{0i}$  по формулам (3), (4). Коэффициенты  $p_{1i}$ ,  $p_{3i}$  соответствуют скоростям изменения температуры  $V^*$  в точках расположения ТП при нагреве и остывании.

По методу наименьших квадратов строили прямые по  $k$  точкам термограммы, определяли скорости изменения температуры, которые относили к температуре середины каждого интервала  $T_s$ . Таким образом, удалось повысить чувствительность измерений и получить запись в «спектральной форме», т. е. в виде пиков в тех температурно-временных областях, где обнаруживаются различия в значениях

«структурочувствительных» свойств (в областях, в которых возможны структурные переходы, сопровождающиеся тепловыми эффектами).

Регистрация первой производной по времени от температуры, выражающей скорость изменения этой величины на кривой температурной зависимости, реализована измерительной системой с зондами, снабженными: а) круглым плоским нагревателем постоянной мощности в виде тонкого диска; б) круглым плоским нагревателем, обеспечивающим программным путем постоянную скорость нагрева в локальной области исследуемого изделия.

На рис. 2 – 4 представлен пример реализации метода на изделиях из полиэтилена низкой плотности.

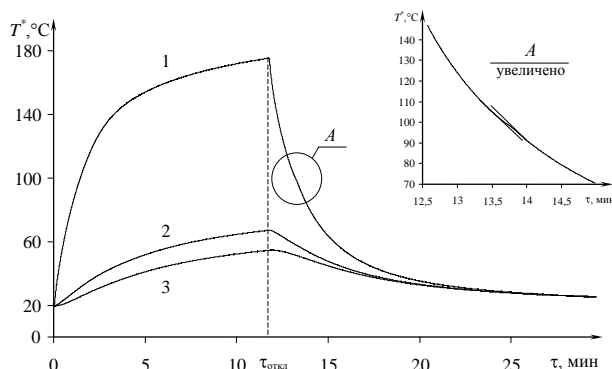


Рисунок 2. Термограммы, полученные на изделии из ПЭНП

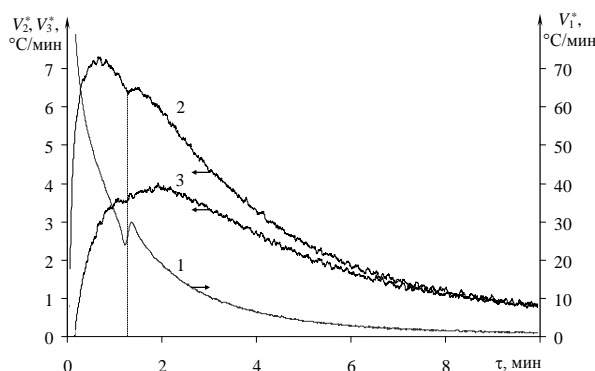


Рисунок 3. Значения скоростей остывания в точках контроля № 1, № 2 и № 3

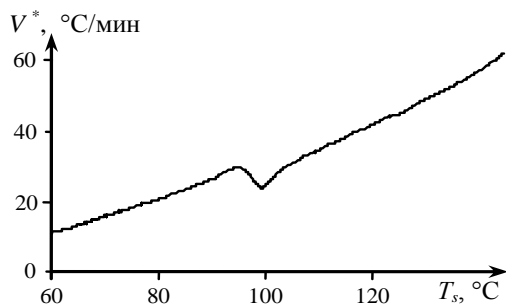


Рисунок 4. Значения скорости остывания изделия из ПЭНП, отнесенные к температуре точки

На рис. 2 представлены термограммы. На рис. 3 представлены значения скоростей остывания изделия из ПЭНП в точках контроля, расположенных в центре нагревателя и на расстояниях 7 и 9 мм от центра нагревателя. Как видно из представленных данных, на первой термограмме проявилась кристаллизация из расплава ПЭНП, которая идет с выделением тепла. Выделение тепла в точке изделия, расположенной в центре нагревателя, сказалось на результатах определения  $V^* = f(\tau)$  и  $V^* = f(T_s)$  на втором и третьем каналах измерения системы. На кривой зависимости  $V^* = f(T_s)$ , полученной по первой термограмме, процесс кристаллизации ПЭНП из расплава явно зафиксирован при температуре около 100 °С, что соответствует справочным данным.

Список используемых источников

1. Физика полимеров / Г.М. Бартнев, С.Я. Френкель. – Л.: Химия, 1990. – 432 с.

# ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЗАВИСИМЫХ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Юрина С.О., Рязанов П.М., Ткаченко Т.В., Мочалин С.Н., Rogov И.В.  
ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»*

Все усложняющиеся задачи по повышению качества и надежности энергетических объектов требуют дальнейшего совершенствования методов и средств контроля и диагностики конструкций и материалов различного назначения.

Исследование зависимости ТФС конструкционных материалов от температуры позволит более точно рассчитать эффективность этих объектов при работе на разных температурных режимах, что позволит снизить затраты при постройке и эксплуатации теплоэнергетических объектов. Среди методов и средств исследования ТФС материалов методы, основанные на режиме монотонного разогрева, позволяют за один эксперимент определить ТФС материала для диапазона значений температуры, что существенно экономит время для исследования температурной зависимости ТФС. Наиболее важной и сложной задачей при реализации метода определения ТФС на основе режима монотонного разогрева является разработка математической модели, максимально точно описывающей реальный процесс теплопереноса и состояния температурных полей в измерительной ячейке прибора.

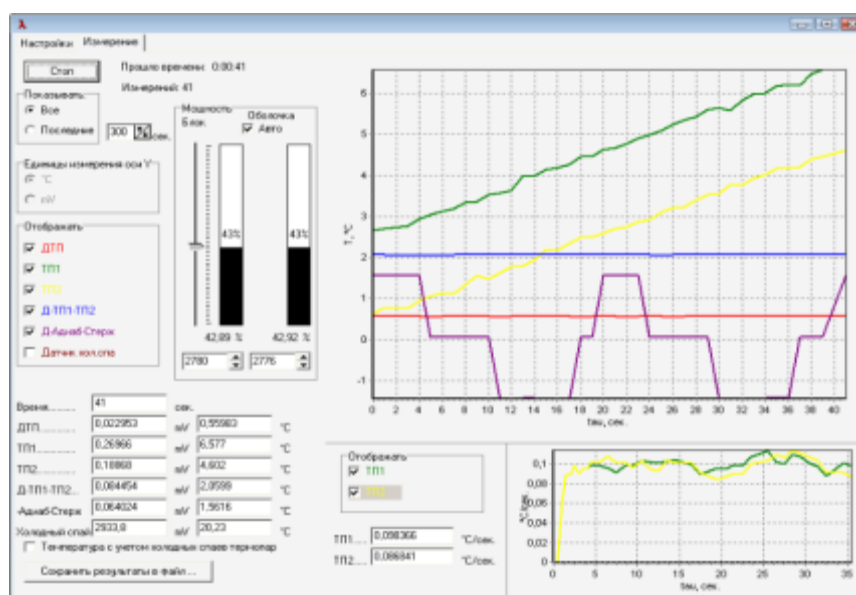


Рисунок 1. Лицевая панель управления ИИС

Используя современные технологии автоматизации на кафедре «Гидравлика и теплотехника» Тамбовского государственного технического университета была создана информационно-измерительная система (ИИС) для исследования зависимости ТФС твердых материалов от температуры. В основе системы используется модифицированный измеритель ИТ-λ-400,

возможности которого значительно расширены благодаря использованию различных режимов теплового воздействия на исследуемый образец. Погрешность измерителя также снижена за счет применения более точных математических моделей для каждого режима разогрева. Рабочее место оператора измерительной установки создано на базе персонального компьютера, оснащенного платой сбора данных PCI-1202H и специальным программным обеспечением по сбору, обработке, накоплению и систематизации данных.

С использованием измерительной системы были проведены исследования и получены зависимости ТФС от температуры. Результаты исследования зависимостей теплоемкости от температуры для различных материалов приведены на рис.2 и 3.

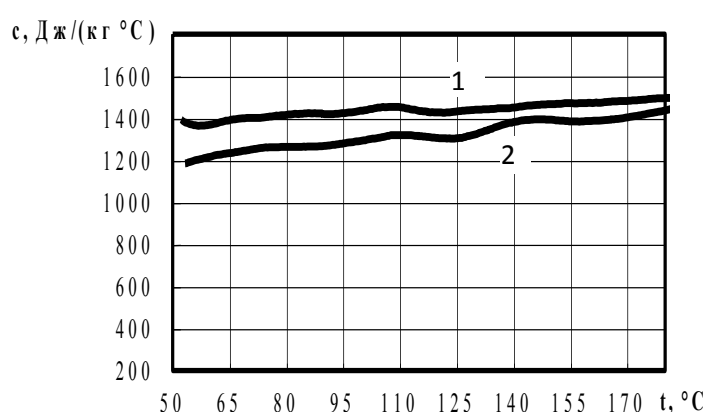


Рисунок 2. Температурная зависимость теплоемкости для материалов: 1 - Ф4К20; 2 - Политетрафторэтилен (ПТФЭ).

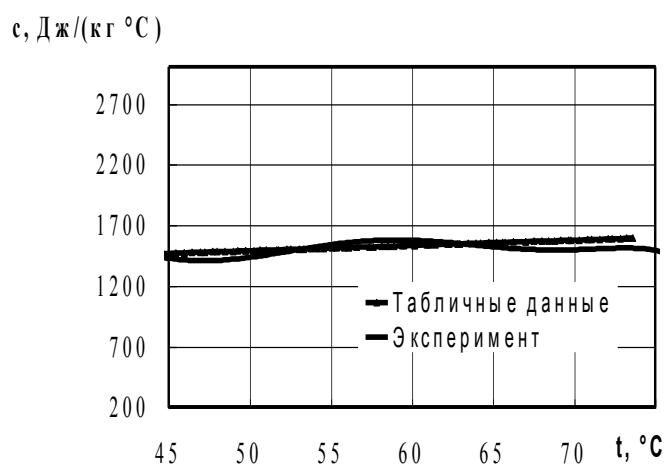


Рисунок 3. Температурная зависимость теплоемкости для полиметилметакрилата.

#### Список используемых источников

1. Лыков А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков, - М.: Высш. шк., 1967. – 599 с.
2. Теплофизические измерения и приборы / Е.С. Платунов, С.Е. Буравой, В.В. Курепин, Г.С. Петров; под общ.ред. Е.С. Платунова. – Л.: Машиностроение, 1986. – 256 с.

# РАЗРАБОТКА МАТРИЧНЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ ДЛЯ ПРОПИТКИ ПОРИСТОГО КАРКАСА

*Терзиман О.В., Гулевский В.А.*

*Волгоградский Государственный Технический Университет*

Одним из способов получения композиционных наноструктурированных материалов является пропитка твердых неметаллических каркасов расплавами металлов. В частности, композиционные материалы системы «угле-графитовый каркас – сплавы алюминия» отличаются широкими возможностями использования этих материалов в качестве вкладышей радиальных и упорных подшипников, направляющих втулок, пластин, поршневых колец, щеток токосъемных и радиальных уплотнений в различных машинах, приборах и механизмах.

Целью данной работы является получение новых композиционных материалов с заполнением металлической матрицы до 70 %, новыми матричными сплавами с необходимым комплексом свойств в которых бы сочетались различные физико-химические, механические и электротехнические свойства. Ниже рассматриваются матричный сплав на основе алюминия.

Лучшими литейными свойствами обладают сплавы Al-Si (силумины). Высокая жидкотекучесть, малая усадка, отсутствие или низкая склонность к образованию горячих трещин и хорошая герметичность силуминов объясняются наличием большого количества эвтектики в структуре этих сплавов. Плотность большинства силуминов 2650 кг/м<sup>3</sup>, т.е. меньше плотности чистого алюминия (2700 кг/м<sup>3</sup>). Они хорошо свариваются. Механические свойства зависят от химического состава, технологии изготовления (модифицирования, способа литья и т.д.), а также термической обработки.[1]

Исследования, проведенные в ВолгГТУ, установили изменение растворимости элементов расплава в зависимости от условий проведения эксперимента. Так, при избыточном давлении 15 МПа, удалось получить сплав системы Al-Si- Ni- Cr с содержанием Si 12,5 мас. %.

С целью проведения эксперимента, изготавливались углеграфитовые образцы сечением 15 x 15 мм и длиной 30 мм, которые пропитывались безгазостатным способом сплавом Al-Si при температуре 800°C и давлении 15 МПа. Во время пропитки было замечено, что Ni и Cr перешли в образец из оснастки, предотвращающей всплытие, в которой находился образец, а само устройство из нихрома растворилось в расплаве. После безгазостатной пропитки из образцов изготавливали шлифы и исследовали их на цифровом микроскопе Olympus VХ61 при различных увеличениях.[2] Данные микро-структуры представлены на рисунке 1.

Исследуется ряд новых матричных сплавов на основе алюминия для изделий различного назначения со специальными свойствами: прочностными, электротехническими и коррозионными свойствами, физико-химическими свойствами с высоким комплексом механических, трибологических и электротехнических свойств.



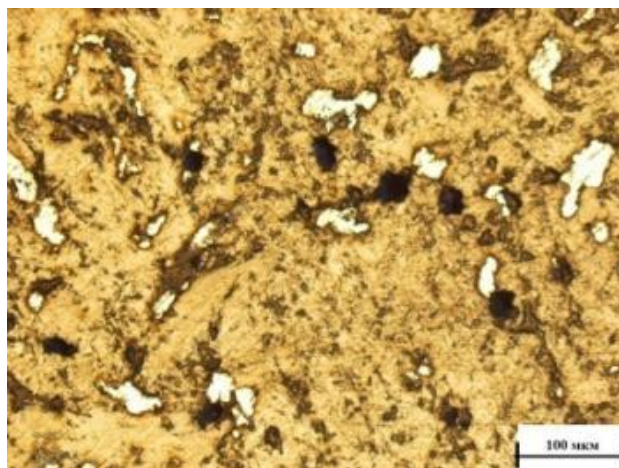


Рисунок 1. Микроструктура поверхности образцов, пропитанных алюминием (микроскоп Olympus BX61).

Экспериментальные данные показали, что силумин, легированный никелем и хромом, образует межфазный слой, в который выделяется до 70% от вводимого количества поверхностно активного элемента, что улучшает механические свойства композитов.

Разработанный способ безгазостатной пропитки позволяет создать новые матричные сплавы с необходимым комплексом свойств, получить которые в других условиях очень сложно, при этом позволяют достигать высокой степени заполнения открытых пор углеродистых каркасов.

Кроме того, применение метода безгазостатной пропитки позволяет значительно снизить себестоимость композиционных материалов за счет использования оборудования из обычных конструкционных материалов. По причине невысокой стоимости оснастки, можно изготовить большое количество емкостей для пропитки с целью организации серийного или массового производства композитов.[3]

Пропитка силумином с растворившимся никелем углеродистого каркаса позволило получить композиты, обладающие высокими трибологическими и прочностными свойствами. Был отмечен рост прочности пропитываемого сплава в составе композита за счет изменения структуры сплава при взаимодействии с каркасом и малого поперечного сечения металлического волокна, сформировавшегося в объеме микропор каркаса.

Вопросу пропитки углеродистых сплавов, на основе алюминия, посвящен относительно ограниченный ряд исследований, и полный его потенциал до сих пор не раскрыт, что может привести к расширению спектра используемых материалов.

#### Список используемых источников

- 1 Алюминий и его сплавы [Электронный ресурс]. - 2011. – Режим доступа :<http://www.1metal.ru/info/directories/aluminium/alsplav/>
- 2 Матричный сплав для безавтоклавной пропитки углеродистого / В. А. Гулевский [и др.] // НТК ОАО "Уральская Сталь", 2010 г. Вып. 1. Наука и производство Урала : тез.докл. / НФ НИТУ «МИСиС». – Новотроицк, 2010.
- 3 Применение давления для получения литых композиционных материалов методом пропитки / В. А. Гулевский [и др.] // Заготовительные производства в машиностроении.- 2010. – №6. – С. 3-8.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГАЗОФАЗНОЙ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИИ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

*Горский С.Ю., Дьячкова Т.П.*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Тамбовский государственный технический университет»*

Углеродные нанотрубки (УНТ) обладают высокой тепло- и электропроводимостью, механической прочностью, термической стойкостью и другими уникальными характеристиками, что делает целесообразным их применение в составе различных композиционных материалов. Однако остро стоит проблема введения склонных к агломерации УНТ в полимерные матрицы различной природы. Следствием неравномерности распределения углеродных нанотрубок в полимерах является их малая эффективность в составе композитов. Благодаря ковалентной функционализации поверхности УНТ возможно формирование химических связей на границе раздела со многими полимерами и образование относительно упорядоченной сетки в объеме нанокомпозитов.

Достижению совместимости с полярными полимерными матрицами способствует пришивка к поверхности УНТ кислородсодержащих функциональных групп, таких, как, например, карбоксильные ( $-\text{COOH}$ ) и гидроксильные ( $-\text{OH}$ ). С этой целью углеродные нанотрубки, как правило, обрабатывают кислотами [1-4], перекисью водорода и смесями на ее основе [5-6], другими окислителями [7]. Однако для получения материалов с достаточной степенью функционализации описанными способами требуется длительная обработка и высокий расход реагентов на единицу массы УНТ, что оправдано только в лабораторных условиях. Более перспективными с позиций опытно-промышленной реализации являются методы газофазного карбоксилирования углеродных нанотрубок под действием озона [8] и паров азотной кислоты [9].

Целью настоящей работы явилось исследование некоторых закономерностей газофазной химической функционализации углеродных наноматериалов «Таунит» ( $d = 20 \div 70$  нм;  $l = 2$  мкм;  $S_{\text{уд}} = 120 \div 130$  м<sup>2</sup>/г), «Таунит-М» ( $d = 8 \div 15$  нм,  $l = 2$  мкм;  $S_{\text{уд}} = 300 \div 320$  м<sup>2</sup>/г) и «Таунит-МД» ( $d = 30 \div 80$  нм,  $l = 20$  мкм;  $S_{\text{уд}} = 180 \div 200$  м<sup>2</sup>/г) карбоксильными группами. Изучено влияние расхода окисляющего реагента, температуры и продолжительности процесса на термическую стабильность и степень функционализации поверхности УНТ  $\text{COOH}$ -группами. Полученные функционализированные материалы исследованы методами Рамановской и ИК-спектроскопии. Определен дисперсный состав водных суспензий и коллоидных растворов на их основе.

Наблюдается повышение степени карбоксилирования поверхности УНТ различных типов с увеличением продолжительности обработки в парах азотной кислоты (рис.1). Однако характер этой зависимости обусловлен морфологией углеродного материала. Более высокое содержание функциональных групп на поверхности «Таунита-М» по сравнению с другими материалами можно в первом приближении объяснить его наибольшей удельной поверхностью ( $S_{уд.}$ ).

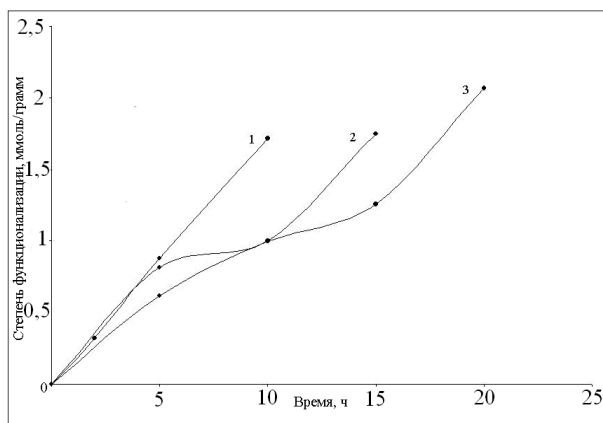


Рисунок 1. Зависимость степени карбоксилирования УНТ «Таунит-М» (1), «Таунит» (2) и «Таунит-МД» (3) от продолжительности обработки в парах азотной кислоты при 140°C.

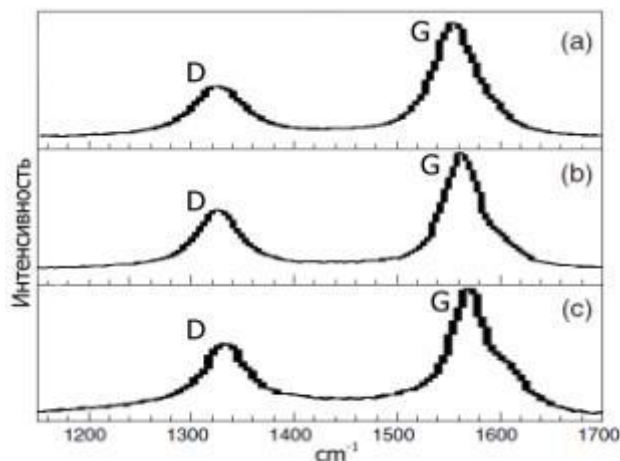


Рисунок 2. Спектры КР исходного «Таунита-МД» (а) и после 10 (б) и 20 (с) часов обработки в парах азотной кислоты при 140°C.

Вид временных зависимостей степени функционализации для «Таунита» и «Таунита-МД» характеризуется большей устойчивостью поверхностных слоев к разрушению. Это также подтверждается данными спектров комбинационного рассеяния исходных и функционализированных материалов, соотношения полос D/G которых можно оценить степень дефектности поверхностных графеновых слоев УНТ (рис. 2). Длительное окисление в газовой фазе позволяет получать материал с высокой степенью функционализации, но в ряде случаев является причиной деструктивного разрушения поверхностных слоев углеродных атомов. Поэтому время окисления должно быть оптимальным.

Дисперсный анализ водных суспензий и коллоидных растворов на основе УНТ показал уменьшение размеров частиц дисперсной фазы с ростом степени функционализации, что свидетельствует о дезагломерации карбоксилированных УНТ в полярной водной среде. В связи с этим можно ожидать и равномерного распределения в других полярных растворителях и матрицах. Применение процессов ковалентной функционализации УНТ класса «Таунит» значительно расширит номенклатуру реализуемой углеродной нанопродукции, адаптированной к условиям конкретного применения в виде коллоидных растворов, паст, модификаторов и т.п.

#### Список используемых источников

1. Rosca I.D., Watari F., Uo M., Akasaka T. //Carbon. 2005. V. 43. P. 3124 – 3131.
2. Нгуен Чан Хунг, Аношкин И.В., Раков Э.Г. Химическое активирование углеродных нанотрубок и нановолокон// Тез. V Межд. конф. "Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология". М.: Изд-во МГУ им. М. В. Ломоносова. С.131.
3. Saito T., Matsushige K., Tanaka K.// Physica B. 2002. V. 323. P. 280 – 283.
4. Hamon M.A., Hu H., Blowmik P., Niyogi S., Zhao B., Itkis M.E., Haddon R.C. //Chem. Phys. Lett. 2001. V.347. P. 8–12.
5. Yudasaka M., Zhang M., Iijima S.// Chem. Phys. Lett. 2003. V. 374. P. 132 – 136.
6. Datsyuk V., Kalyva M., Papagelis K., Parthenios J., Tasis D., Siokou A., Kallitsis I., Galiotis C.// Carbon. 2008. V.. 46. P. 833-840.
7. Zhang N.; Xie J.; Varadan V. K. //Smart Mater. Struct. 2002. V. 11. P. 962-965.
8. Cataldo F. // Fullerenes, Nanotubes, and Carbon Nanostructures. 2008. V. 16. P. 1–17.
9. Xia W., Jin C., Kundu S., Muhler M.//Carbon. 2009. Vol. 47. P. 919-922.

## НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫЕ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СИСТЕМ

*Щегольков А.В., Юдин А.С.*

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»*

Снижение тепловых потерь является эффективной мерой улучшения энергетических параметров различных технологических объектов. В этой связи актуальными являются мероприятия по аккумулированию тепла. Применение тепловых аккумуляторов способствует сглаживанию суточных и сезонных пиков потребления и снижения расхода энергетических ресурсов.

При разработке теплоаккумуляторов следует уделить внимание перспективному научному направлению, которое касается создания и применения наноматериалов. В первую очередь необходимо рассматривать наноматериалы выпускаемые в промышленных масштабах. К таким наноматериалам относится углеродный наноматериал серии «Таунит» (ООО «НаноТехЦентр»).

С целью выявления воздействия углеродного наноматериала на органические вещества и в частности на парафин проведены экспериментальные исследования из которых следует, что наномодификация парафина различными типами УНМ, УНМ «М» и УНМ «МД» позволяет

получить теплоаккумулирующие материалы с широким диапазоном теплофизических параметров. Температурные зависимости теплоемкости для наномодифицированного парафина с различным типом углеродного наноматериала УНМ, УНМ «М» и УНМ «МД» приведены на рисунке 1.

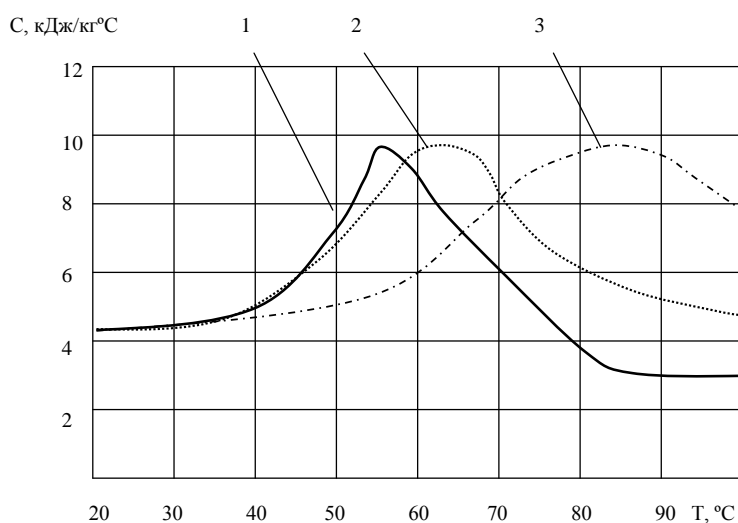


Рисунок 1. Температурная зависимость теплоемкости наномодифицированного парафина: 1 – парафин, модифицированный УНМ; 2 – парафин, модифицированный УНМ «М»; 3 – парафин, модифицированный УНМ «МД».

Проводя анализ температурных зависимостей можно сделать вывод, что модифицирование парафина различными типами УНМ позволяет изменить его теплофизические параметры, следствием чего является изменение положения точки фазового перехода, а также расширение границ фазового перехода. Это позволяет повысить эффективность системы теплоаккумуляции, так как расширяется диапазон температур фазового перехода, что в свою очередь приводит к увеличению накопленной теплоты на 30-50%.

Согласно экспериментальным исследованиям установлен двойной фазовый переход для наномодифицированного парафина (рисунок 2), выраженный в выделении теплоты, которая для первого фазового перехода составляет 600 Дж, а для второго 300 Дж. При этом температура фазового перехода, определенная путем построения касательных, равна 54°C.

Из приведённых данных на рисунке 2 следует, что существует диапазон температур от 60 до 70°C для наномодифицированного парафина при котором происходит максимальное накопление теплоты за счёт фазового перехода первого рода. Нагрев до температуры выше 75°C приводит ко второму фазовому переходу.

Появление второго фазового перехода, не свойственного диэлектрическому материалу (парафину), можно отнести к процессу адсорбции (физиосорбции). В то же время, увеличение твердости парафина может служить основанием для предположения об изменении кристаллической структуры парафина, вследствие чего возросло значение

количества тепла, требуемое для смены кристаллической структуры на аморфную.

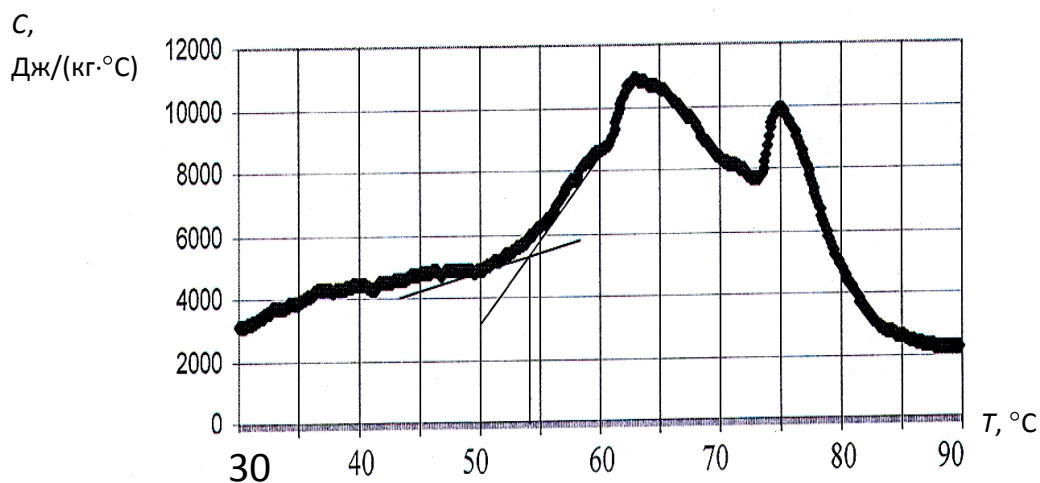


Рисунок 2. Температурная зависимость теплоемкости ЭТН.

Теплопроводность наномодифицированный парафина ( $\lambda$ ) оказывает влияние на накопление и отдачу тепловой энергии. Изменение теплопроводности наномодифицированного парафина представлено на рисунке 3. Установлено, что по сравнению с чистым парафин теплопроводность возрасла на 30%.

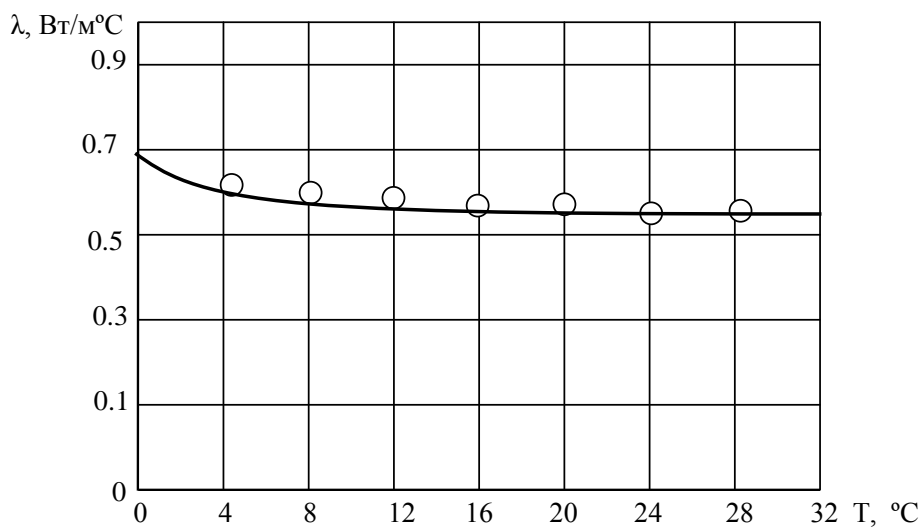


Рисунок 3. Температурная зависимость теплопроводности ЭТН.

В ходе проведенных исследований установлена возможность получения разнообразных типов теплоаккумулирующих материалов с разнообразными теплофизическими и физико-механическими характеристиками, что дает возможность подстраивать под конкретные температурные режимы параметры систем теплоаккумуляции с целью повышения их эффективности.

# ПОРИСТЫЙ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЙ ОКСИД АЛЮМИНИЯ: МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ

*Аверин И.А., Губич И.А.*

*ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет»*

Пористые оксидные пленки на алюминии известны с середины 20 века. Результаты исследований позволили установить, что при определенных условиях возможно создание на поверхности алюминиевой основы упорядоченного массива вертикально расположенных пор (см. рисунок 1).

Существует несколько основных методов получения упорядоченной структуры, а именно:

1. Наноимпринтинг - создание отпечатка на поверхности алюминия с использованием матрицы, изготовленной литографически, представляющей собой массив наноразмерных элементов, и последующее двойное анодирование алюминия [1]. Данный способ позволяет создать структуру с диаметром пор 100, 150 и 200 нм.

2. Создание искусственного нанорельефа при помощи сканирующего зондового микроскопа [2]. Зонд с определенным периодом формирует в алюминии массив наноразмерных углублений. Затем проводится анодное окисление алюминия. В результате формируется структура с диаметром пор от 100 до 400 нм.

3. Электрохимическое анодирование с методикой двухступенчатого улучшения регулярности [3]. Варьирование условий анодирования позволяет получать поры от нескольких нанометров до сотен микрометров.

Первые два метода основаны на прецизионной сложной технологии и использовании дорогостоящего оборудования. Третий метод получения пористого оксида алюминия считается наиболее приемлемым с точки зрения его реализации и синтеза структуры с упорядоченным массивом пор порядка менее 100 нм[4-6].

Основными методами исследования поверхности пористого наноструктурированного оксида алюминия являются растровая электронная микроскопия (РЭМ), атомно-силовая микроскопия (АСМ) и оптическая микроскопия (ОМ). ОМ не всегда может быть применима для анализа распределения пор по диаметру, т.к. данный метод имеет недостаточную разрешающую способность (возможен анализ структуры с диаметром пор микронного порядка). Применения методов РЭМ и АСМ дает более полную информацию о рельефе поверхности, но и у них есть определенные недостатки.

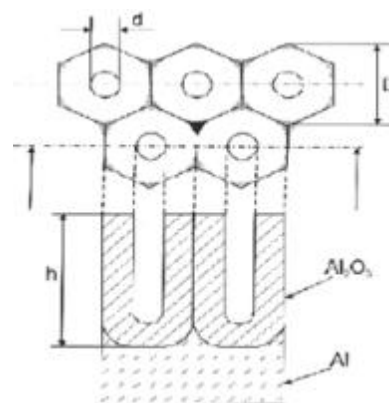


Рисунок 1. Схематичное изображение идеального фрагмента упорядоченной структуры пористого оксида алюминия:  $d$  — диаметр поры,  $D$  — диаметр ячейки,  $h$  — высота поры (и пористого оксида)



РЭМ позволяет исследовать срезы и просматривать не только диаметр пор, но и их глубину. АСМ обеспечивает трехмерное картирование поверхности. Изображения, полученные вышеперечисленными методами, приведены на рисунке 2.

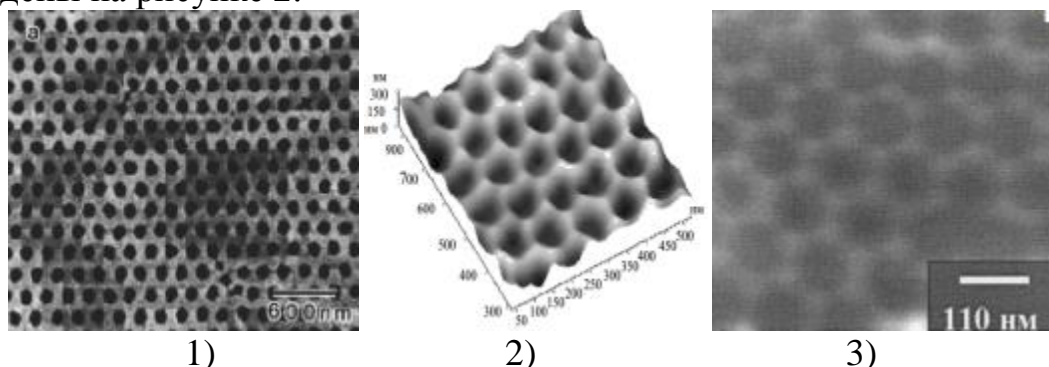


Рисунок 2. Изображения пористого оксида алюминия, полученные при помощи различных методов исследования: 1 - РЭМ; 2 - АСМ; 3 - ОМ

Комплексное применение данных методов создания и исследования пористого оксида алюминия, позволяет существенно улучшить свойства наноматериалов. Известно несколько основных направлений использования пористого оксида алюминия, а именно:

- как матриц для создания функциональных электронных элементов;
- контейнеров для хранения объектов биологических исследований;
- основ для сенсорных систем;
- основ для автоэмиссионных катодов и т.д.

Все вышеперечисленные направления интенсивно развиваются, что указывает на большой интерес со стороны научного сообщества к наноструктурированному пористому оксиду алюминия.

#### Список используемых источников

1. Патент Китая CN1614102, C25D 11/04, 2005.
2. Патент Японии JP 2002285382, C25D 11/04, 2002.
3. Hideki Masuda, Kenji Kanezawa and Kazuyuki Nishio. Fabrication of Ideally Ordered Nanohole Arrays in Anodic Porous Alumina Based on Nanoindentation Using Scanning Probe Microscope. Chemistry Letters 2002. - p. 1218-1219.
4. Лукашук Т.С., Ларин В.И., Пшеничная С.В. Формирование наноструктурированных анодных оксидов алюминия в щавелевой кислоте. Вестник Харьковского национального университета, г. Харьков. 2010. - №.932 – С. 112-118.
5. Губич И.А., Пермяков Н.В., Соколова Е.Н. Исследование условий формирования POR- $Al_2O_3$  // Сб. статей III всероссийской научно-технической конференции «Методы создания, исследования микро-, наносистем и экономические аспекты микро-, наноэлектроники». 2011.– С.33-35.
6. Аверин И.А., Губич И.А., Печерская Р.М. Формирование и исследование пористых оксидных пленок на алюминии // Нано и микросистемная техника. 2012. №6 . С.11-14.



# ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЭПОКСИДНЫХ СВЯЗУЮЩИХ

*Блохин А.Н., Гурьев Я.Е., Яцишина О.Ю.*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет», Тамов, [yakaGuitar@mail.ru](mailto:yakaGuitar@mail.ru)*

Материалы в современных условиях играют определяющую роль в техническом прогрессе. К одному из важнейших материалов последних лет принадлежат углеродные нанотрубки (УНТ). Благодаря своему малому размеру и уникальной структуре УНТ находят применение в различных областях промышленности. Необычные физико-механические свойства, наряду с высокой жесткостью и упругостью, делают УНТ одним из самых современных и перспективных материалов для повышения прочности композитов.

Прогнозирование свойств дисперсно-наполненных композиционных материалов является весьма сложной задачей, так как они характеризуются сложным комплексом механических свойств. Это связано с наличием различных видов включений и дефектов, которые обеспечивают разнообразные процессы разрушения. Ещё более сложной задачей является прогнозирование свойств композитов с наполнителем нанометрового диапазона.

Разрушение дисперсно-наполненных композиционных материалов (КМ) условно можно разделить на две основные стадии [1]:

- 1) инициирование микропор и микротрещин;
- 2) развитие магистральной трещины (хрупкие матрицы) либо рост и объединение микропор (пластичные матрицы).

При встрече с включениями движущийся фронт трещины на мгновение останавливается. По мере того, как этот фронт прогибается между каждой парой частиц, его длина увеличивается. Ленг [2] разработал модель, в которой предполагается, что увеличенная длина фронта трещины может давать существенный вклад в энергию разрушения хрупкого композитного материала с дисперсными частицами. На рисунке 1 схематически показана часть фронта трещины, взаимодействующая с рядом расположенными на одинаковых расстояниях помехами и в отсутствии их. Искривленная линия соответствует состоянию, предшествующему прорыву фронта и последующему разрушению. После приложения значительного напряжения фронт трещины начинает продвигаться между каждой парой включений, образуя новые площади поверхностей разрушения, что приводит к увеличению длины фронта. Чтобы это происходило, приложенные силы должны произвести работу на образование новой поверхности разрушения и на увеличение длины фронта трещины. На основе предположений, что места

задержки представляют собой в сечении трещиной безразмерные точки и состояние прорыва наступает, когда фронт трещины между местами задержки имеет полукруглую форму (рис.1).

Также немаловажное значение имеет фактор, оказывающий ориентирующее влияние дисперсного наполнителя на связующее. Причем ориентирование осуществляется не только в адсорбированных молекулах, но и в молекулах, которые непосредственно с ними связаны и в которых ориентирование происходит как отклик на ближнее взаимодействие [3]. Дальнодействие не ограничивается влиянием поверхностных силовых полей. Установлено, что микроусадочные явления, наблюдающиеся в процессе формирования полимерных КМ, также вызывают объёмное ориентирование (рисунок 2).

В целом в граничном слое происходит увеличение степени кристалличности за счет уменьшения доли межглобулярных аморфных прослоек полимера. Поэтому плотность полимера в слое повышается в сравнении с объёмной фазой. В граничном слое наблюдается упорядоченность структуры полимера, характеризующаяся значительно меньшим числом конформаций, что собственно и отражает эффект ориентации.

Не менее значительным фактором, является наличие в объеме полимерного КМ пространственного каркаса, сформированного из частиц наполнителя, чередующихся со структурированной фазой матрицы. Собственно каркас образуется из граничных слоев матрицы, а частицы наполнителя служат их носителями. Структура такого каркаса с усиленной матрицей оказывает существенное влияние на прочность композита. Важное значение имеет равномерность распределения дисперсного наполнителя в КМ, характеризующая формирование непрерывного усиливающего пространственного каркаса из частиц наполнителя, связанных структурированными прослойками полимера[4].

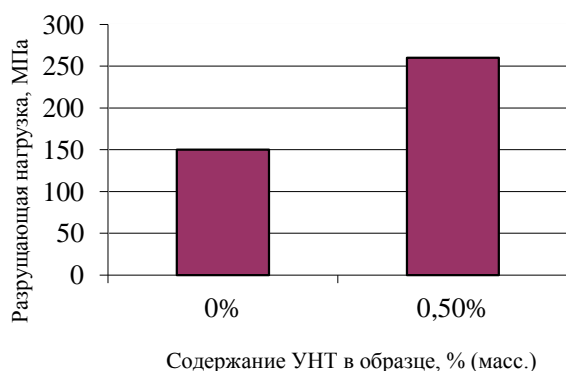


Рисунок 2. Зависимость стойкости наномодифицированной матрицы к изгибающим нагрузкам от массового содержания и вида наполнителя.

Нами были получены лабораторные образцы для физико-механических испытаний. В качестве модифицирующей добавки использовались МУНТ марки «ТАУНИТ» (рис. 2.)

Результаты прочностных испытаний подтверждают увеличение стойкости наномодифицированной матрицы к изгибающим нагрузкам, что доказывает эффективность применения углеродных нанотрубок в качестве структурных

модификаторов эпоксидных связующих для композиционных материалов.

### Список используемых источников

1. Бартенев, Г.М. Прочность и механизм разрушения полимеров. - М.: Химия, 1984.-280 с.
2. Соколкин, Ю.В., Механика деформирования и разрушения структурно-неоднородных тел./ Ю.В. Соколкин, А.А. Ташкинов- М.: Наука, 1984. - 115 с.
3. Ленг, Ф.Ф. Разрушение композитов с дисперсными частицами в хрупкой матрице // Кн. Композиционные материалы. Т. 5. Разрушение и усталость. -М., 1978.-С. 21-57.
4. Рогалев, А.В. Геометрический синтез случайных структур в наполненных полимерах / А.В. Рогалев, Е.С. Ананьева, В.Б. Маркин // Труды международной научно-технической конференции «Композиты - в народное хозяйство», АлтГТУ - Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2005, стр. 183-194.
5. Рогалев, А.В. Моделирование случайных геометрических структур в наполненных полимерах / А.В. Рогалев, Е.С. Ананьева, В.Б. Маркин // Сборник трудов XII Международной научно-практической конференции «Современные техника и технологии». - Томск: Изд-во ТПУ, 2006. Т.1. - с. 465-467.
6. Новиков, В.У. Фрактальный подход к межфазному слою в наполненных полимерах / В.У. Новиков, Г.В. Козлов, О.Ю. // Механика композитных материалов. - 2000. т.36, №1. - с.3-32.
7. Гуняев, Г.М. Технология и эффективность модифицирования углепластиков углеродными наночастицами // Конструкции из композиционных материалов. - 2004, №4. - с.77 - 79.

## **ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНОГО НАНОКОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ЭЛАСТОМЕРА Ф-40**

*Колесников А.А., Бутин А.В., Ли Р.И.*

*Липецкий государственный технический университет, romanlee@list.ru;*

Способы восстановления посадочных мест подшипников качения полимерными материалами отличаются простотой и обеспечивают повышение долговечности подшипниковых узлов. Перспективным направлением в повышении эффективности восстановления является разработка полимерных композиционных материалов (ПКМ). Введение наполнителей в полимер позволяет значительно изменять потребительские свойства материала и существенно уменьшать его стоимость [1].

Все более широкое распространение получают ПКМ на основе дисперсных наполнителей. Введение таких наполнителей в полимерную матрицу увеличивает прочность, теплопроводность, обеспечивает заданные

потребительские свойства и позволяет значительно снизить себестоимость восстановления подшипниковых узлов. Практический интерес представляет исследование ПКМ наполненных наноразмерными порошками алюминия и бронзы. При введении бронзового порошка сокращается время отверждения и возможно снижение температуры обработки полимерного нанокпозиционного материала. Алюминиевый наполнитель повышает вязкость разрушения и теплопроводность полимерного материала [2].

Оптимизация состава полимерного нанокпозиционного материала (ПНКМ) позволит разработать высокоэффективную технологию восстановления, обеспечивающую повышение долговечности подшипниковых узлов и снижение затрат на ремонт.

На кафедре "Транспортные средства и техносферная безопасность" ЛГТУ проведены исследования ПНКМ на основе эластомера Ф-40. Состав ПНКМ №1: (в масс. ч.): эластомер Ф-40 – 100, алюминиевый наноразмерный порошок – 10. Состав ПНКМ №2: эластомер Ф-40 – 100, алюминиевый наноразмерный порошок – 10, бронзовый наноразмерный порошок – 1. Цель эксперимента – исследование деформационно-прочностных свойств пленок ПНКМ на основе эластомера Ф-40, обработанных при различных температурах термообработки.

Деформационно-прочностные свойства пленок не наполненного эластомера Ф-40 и композиции на его основе оценивали прочностью при одноосном растяжении пленок, относительным удлинением и удельной работой деформации при разрыве пленок [2]. Образцы представляли собой пленки прямоугольной формы 90×30×0,5 мм. Расчетная длина образца составляла 50 мм. В качестве подложки использовали пластину 200×160×4 мм из фторопласта-4. Прямоугольную форму и геометрические размеры обеспечивали при помощи рамки трафарета 180×140×0,5 мм из стали 3 с тремя окнами (прорезями) для пленок. Рамку накладывали на фторопластовую пластину и заполняли ее, нанося эластомер Ф-40 или ПНКМ на ее основе волосной кистью №5. После отверждения образцы кондиционировали в течение 16 ч. при нормальной температуре. Затем лезвием отсекали по внутреннему контуру рамки-трафарета границы пленки по длине и ширине. Предельные отклонения размеров образцов не превышали по длине и ширине ± 0,1 мм.

Испытания образцов осуществляли на разрывной машине ИР 5047-50 с одновременной записью диаграммы "нагрузка-деформация". Скорость нагружения при испытаниях была постоянной и составляла 5 мм/мин.

Экспериментальные исследования показали, что наиболее высокие деформационно-прочностные свойства пленки имеют при температуре  $T = 120^{\circ}\text{C}$ . На рис. 1 показана удельная работа разрушения  $\alpha_p$  пленок эластомера Ф-40 и ПНКМ на основе эластомера Ф-40.

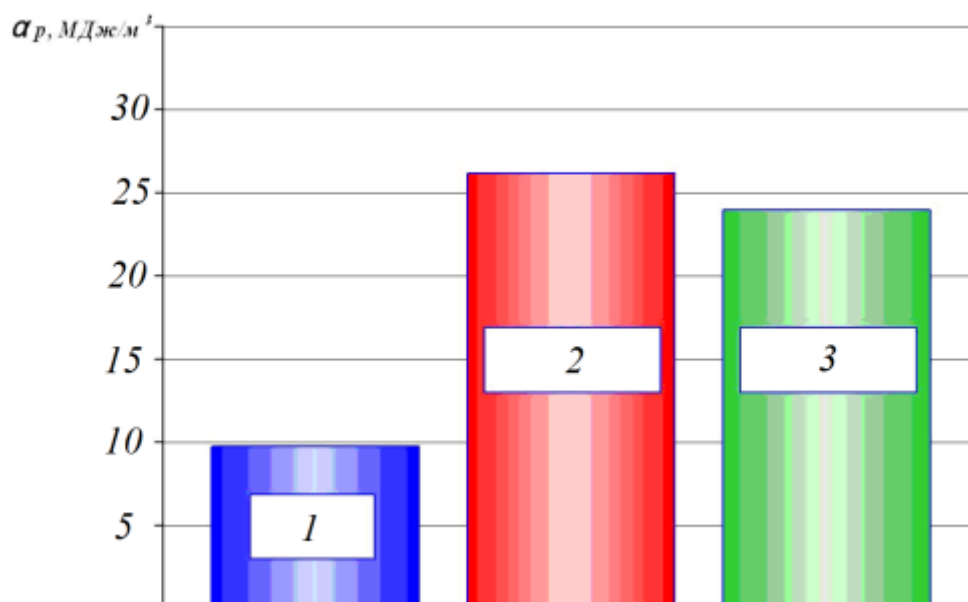


Рисунок 1. Удельная работа разрушения  $\alpha_p$  пленок эластомера Ф-40 и ПНКМ на его основе при температуре отверждения 120 °С: 1 – эластомер Ф-40; 2– эластомер Ф-40 100 м.ч., алюминиевый наноразмерный порошок 10 м.ч. и 1 м.ч. бронзового наноразмерного порошка; 3 – эластомер Ф-40 100 м.ч., алюминиевый наноразмерный порошок 10 м.ч.

Как следует из рис. 1, наиболее высокие деформационно-прочностные свойства имеют пленки ПНКМ на основе эластомера Ф-40 с составом: эластомер Ф-40 – 100, алюминиевый наноразмерный порошок – 10, бронзовый наноразмерный порошок – 1 масс. ч.

Необходимы дальнейшие исследования перспективного ПНКМ на основе эластомера Ф-40 для разработки технологии восстановления посадочных мест подшипников качения в корпусных деталях узлов автомобильного транспорта.

#### Список используемых источников

1. Бутин, А.В. Повышение эффективности восстановления неподвижных соединений подшипников качения сельскохозяйственной техники полимер-полимерными композициями [Текст]: дис ... канд. техн. наук. / Бутин А.В. – Мичуринск, 2012. – 128 с.
2. Бочаров, А.В. Повышение эффективности восстановления неподвижных соединений подшипников качения сельскохозяйственной техники адгезивами, наполненными дисперсными металлическими порошками [Текст]: дис ... канд. техн. наук. / Бочаров А.В. – Мичуринск, 2009. – 150 с.

# ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ УПОРЯДОЧЕННОЙ СТРУКТУРЫ И УМЕНЬШЕНИЯ ДЕФЕКТОВ АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

*Аверин И.А., Губич И.А.*

*ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет»*

Создание приборов на основе наноструктурированных материалов позволит сэкономить на сырье и потреблении энергии, сократить выбросы в атмосферу и т.п.

В современной научно – технической литературе [1-4] широко освещены вопросы получения пористых упорядоченных структур на алюминии, но процессы первоначальной подготовки поверхности алюминиевой основы практически не рассматриваются.

Данная работа позволит выявить особенности предварительной подготовки Al-основания для последующего получения строго упорядоченного массива пор с минимальным количеством дефектов.

В качестве алюминиевых основ используется алюминиевая фольга толщиной от 20 мкм до 1 мм и пленки алюминия, напыленные на подложки из различных материалов. На последние предподготовка поверхности не распространяется.

Предварительная подготовка в зависимости от исходного материала делится на несколько этапов:

- механическая полировка (рисунок 1);
- электрохимическая или химическая полировка (рисунок 2);
- рекристаллизация (процесс термического отжига) (рисунок 3).

Механическая полировка в основном производится абразивной пастой для удаления с поверхности неровностей микронного порядка. При полировании алюминия используются пасты, основными компонентами которых являются оксиды хрома или железа, также возможно использовать технический мел, оксид кальция с добавками оксидов магния и железа. Такой способ ликвидации неровности поверхности применим только для «толстых» алюминиевых основ.

Для достижения необходимой чистоты поверхности применяется щелочное и кислотное травление. Травление проводят в водном растворе NaOH с концентрацией 40 - 60 г/л или в растворе, содержащем 20 - 30 г/л NaOH и 20 - 30 г/л Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> при 40 - 50 °С в течение 2 мин. [5–7]. При кислотном травлении в водном растворе HNO<sub>3</sub> возможно получение сильно

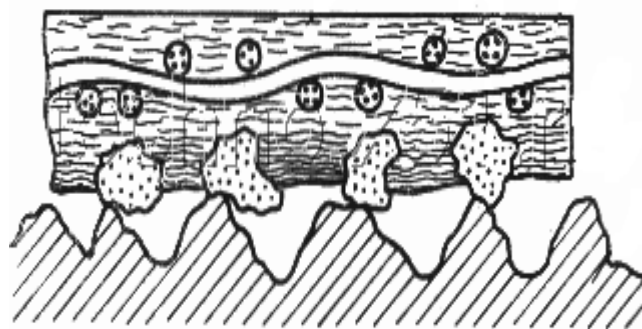


Рисунок 1. Схема процесса механического полирования

глянцевой или зеркальной поверхности. Этот вид обработки поверхности применяется в том случае если шероховатость поверхности алюминия превышает 50-70 нм. Стоит отметить, что такой вид обработки тоже имеет ограничения. Экспериментальным путем показано, что для каждой толщины алюминиевой основы подбираются режимы травления для предотвращения полного растворения металла.

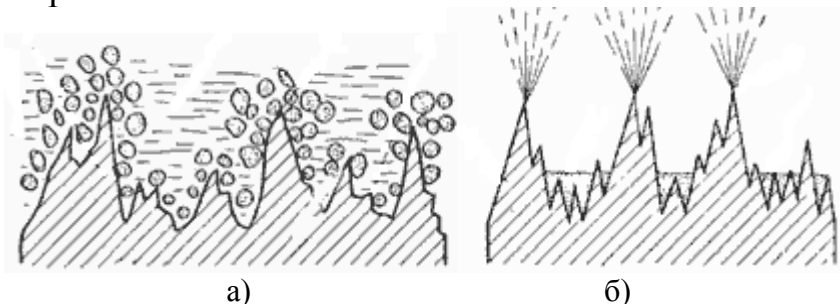


Рисунок 2. Схема процесса химического (а) и электрохимического (б) полирования металла

Заключительным этапом формирования «идеальной» поверхности для последующего получения пористого анодного оксида алюминия является процесс термического отжига или рекристаллизации [8]. Данный процесс обеспечивает увеличение размера микроструктур (зерен) алюминия по сравнению с исходным материалом. Так как упорядочение пор может происходить в области одного зерна, следовательно, чем больше размер зерен, тем больше домены, имеющие упорядочение.

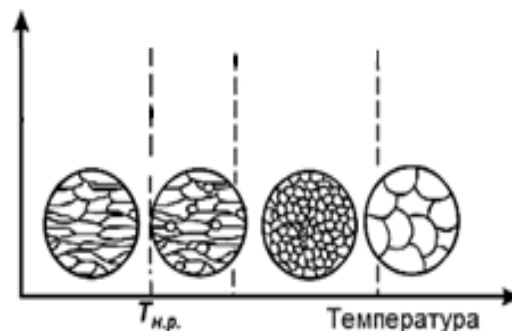


Рисунок 3. Схема процесса рекристаллизации

Данный процесс определяется двумя параметрами: временем и температурой отжига. Предварительно определяется температура начала рекристаллизации (ТНР). Данный параметр напрямую зависит от чистоты материала. Чем чище металл, тем меньше температура начала процесса перестроения микроструктуры. Для чистого алюминия значение ТНР колеблется в диапазоне от 70 до 130 °С. В зависимости от температуры и толщины исходного металла подбирается время отжига. Весь процесс длится от 2 до 6 часов. Следует отметить, что при высокой температуре отжига на поверхности тонкой (20 мкм) алюминиевой фольги образуются места прогорания.

Таким образом, применение предлагаемой методики предварительной подготовки поверхности обеспечивает получение «идеальной» поверхности алюминиевой основы для последующего анодного окисления.

#### Список используемых источников

1. Аверин И.А., Губич И.А., Печерская Р.М. Формирование и исследование пористых оксидных пленок на алюминии // Нано и микросистемная техника. 2012. №6 . С.11-14.

2. Губич И.А., Пермяков Н.В., Соколова Е.Н. Исследование условий формирования POR- $Al_2O_3$  // Сб. статей III всероссийской научно - технической конференции «Методы создания, исследования микро-, наносистем и экономические аспекты микро-, наноэлектроники». 2011. – С. 33-35.

3. Мошников В.А., Соколова Е.Н., Спивак Ю.М. Формирование и анализ структур на основе пористого оксида алюминия // Изв СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2011. № 2. С. 13-19.

4. Лукашук Т.С., Ларин В.И., Пшеничная С.В. Формирование наноструктурированных анодных оксидов алюминия в щавелевой кислоте. Вестник Харьковского национального университета, г. Харьков. 2010. - №.932 – С. 112-118

5. Сциборовская Н.Б., Солнос М.Г., Рау В.Ф. Под редакцией Лайнера В.И. Справочное руководство по гальванотехнике. Перевод с немецкого. – М.: Машиностроение, 1969, Т1. – 418 с.

6. Гамбург Ю.Д. «Гальванические покрытия». Справочник по применению. – М.: Техносфера, 2006. – 215 с.

7. Губич И.А., Аверин И.А., Мошников В.А., Соколова Е.Н., Пермяков Н.В. Исследование влияния щелочно-кислотных растворителей при двухстадийном анодировании оксида алюминия // Сб. статей III всероссийской научно - технической конференции «Методы создания, исследования микро-, наносистем и экономические аспекты микро-, наноэлектроники». - Пенза, 2011. – С. 72-74

8. Сажин В.Б. Основы материаловедения. - М.: Теис, 2005. - 155с.

## **ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК МАРКИ «ТАУНИТ» НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ**

*Котов В.А.*

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов,  
[nanotam@yandex.ru](mailto:nanotam@yandex.ru)*

В настоящее время разрабатываются и реализуются проекты зданий и сооружений, предъявляющие высокие требования к качеству строительных материалов и, прежде всего к бетону, как основному из них. Удовлетворить эти требования не всегда удаётся с помощью традиционных технологий. Разработки в области наноматериалов позволяют удовлетворить такие требования путём добавления в бетон наноструктурированных компонентов [1], таких как углеродные нанотрубки марки «Таунит». Значительная стоимость этого материала может быть скомпенсирована его малым расходом и промышленным масштабом производства, что делает возможным его широкое применение. Углеродные нанотрубки структурируют



цементный камень, тем самым упрочняя его, что во многом определяет качество бетона.

Целью представленного исследования является изучение влияния углеродных нанотрубок марки «Таунит», вводимых в портландцемент, на прочностные характеристики образцов цементного камня, в сравнении с действием широко применяемого суперпластификатора С-3, а так же совместного влияния «Таунита» и С-3.

Компоненты смесей в массовых долях: портландцемент (цемент) М500 ГОСТ 10178-85 – 1; вода – 0,26; суперпластификатор С-3 ТУ 5745-001-97474489-2007 (сухой порошок) –  $6 \cdot 10^{-3}$  [2]; углеродные нанотрубки марки «Таунит» ТУ 2166-001-02069289-2006 –  $5 \cdot 10^{-6}$  [3].

Сначала введение «Таунита» осуществлялось в 1/10 часть цемента по массе на планетарной мельнице «Пульверизетте 5» в металлических стаканах, заполненных стальными шарами.

Приготовление смесей проводилось по следующей технологии. Введение добавки (С-3 или/и цемента с «Таунитом») в остальной цемент производилось путём смешения мастерком вручную и мешалкой с электроприводом. Ко всему цементу или полученной смеси сыпучих компонентов постепенно добавлялась вода при одновременном смешении масс мастерком вручную, а затем при перемешивании мешалкой с электроприводом.

Приготовленная смесь загружалась в форму с размерами ячеек  $160 \times 40 \times 40$  мм по ГОСТ 22685-89. Затем смесь отверждалась. Полученные таким образом образцы цементного камня извлекались из формы и созревали. В возрасте 28 суток образцы подвергались испытаниям на прочность при изгибе и сжатии. Изгиб проводился на прессе ИП - 100 М – авто, сжатие на прессе ПММ – 125. Полученные прочностные характеристики представлены на рис. 1 и 2.

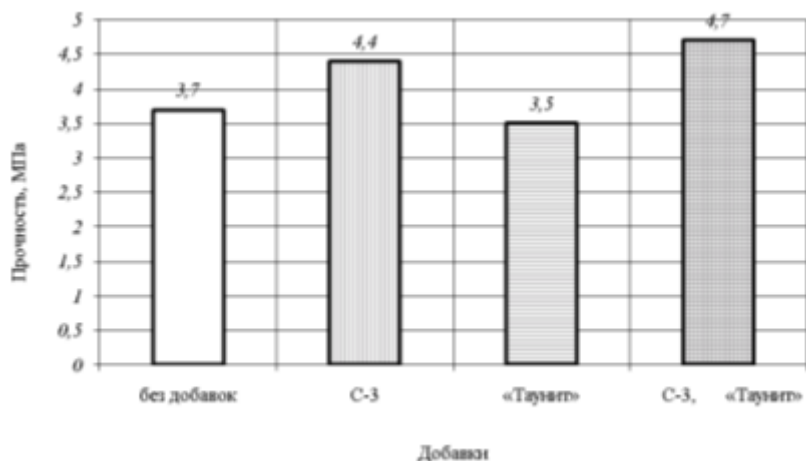


Рисунок 1. Прочность образцов цементного камня при изгибе.

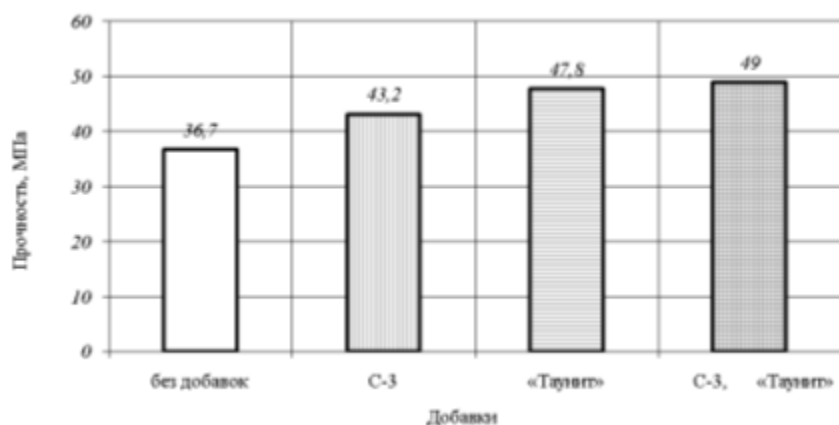


Рисунок 2. Прочность образцов цементного камня при сжатии.

Результаты были проанализированы, на основании чего сформулированы выводы:

- С-3, как и следовало ожидать, увеличивает прочность при изгибе в наших опытах на 15-20%;
- «Таунит» не изменяет прочность при изгибе, т.е. не оказывает пластифицирующего действия на цементный камень;
- С-3 и «Таунит» совместно увеличивают прочность при изгибе на 25-30%, возможно в этом случае проявляется синергизм;
- С-3 увеличивает в наших опытах прочность при сжатии на 15-20%;
- «Таунит» увеличивает прочность при сжатии на 30-35%;
- С-3 и «Таунит» увеличивают прочность при сжатии на 30-35%, вопреки ожиданиям проявления синергизма.

Проведённые исследования подтвердили перспективность применения углеродных нанотрубок марки «Таунит» в добавках для повышения прочностных характеристик бетона. Следует отметить, что применяемые добавки в форме сыпучих материалов обладают такими преимуществами как устойчивость при хранении и удобство в применении.

#### Список используемых источников

1. Пат. 2233254 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> С 04 В 28/02, С 04 В 111/20. Композиция для получения строительных материалов / Пономарев А. Н., Ваучский М. Н., Никитин В. А., Прокофьев В. К., Шнитковский А. Ф., Заренков В. А., Захаров И. Д., Добрица Ю. В. – № 2000127644/03 ; заявл. 26.10.2000 ; опубл. 10.12.2002.

2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://superplast.su/catalog/?base=&news=7>

3. Тевяшев А.Д., Шитиков Е.С. О возможности управления свойствами цементобетонных с помощью наномодификаторов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – 4/7 (40). – С. 35 – 40.

## **ВВЕДЕНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ДОБАВОК В ПОЛИМЕРНЫЙ ХЕМОСОРБЕНТ\***

*Тюрин И.А., Терин Д.В., Макаров Б.С., Кардаш М.М., Олейник Д.В.  
Энгельсский технологический институт  
Саратовского государственного технического университета  
имени Ю.А.Гагарина, e-mail: [kardash@tecn.sstu.ru](mailto:kardash@tecn.sstu.ru)*

Учеными ведущих научных коллективов проводятся исследования, направленные на совершенствование существующих ионообменных материалов, а также получение новых с широким комплексом заранее заданных свойств, что, в ряде случаев достигается в результате направленного регулирования структуры материалов.

Регулировать структуру возможно изменяя технологические параметры получения, а также введением модифицирующих добавок в виде нанопорошков. Последний вид модификации является наиболее перспективным, так как введением ультрадисперсных частиц возможно осуществлять не только направленное регулирование структуры, но и предавать полимерным материалам свойства, которыми они изначально не обладали.

На кафедре Химической технологии ЭТИ СГТУ был разработан новый класс хемосорбентов (КХВМ) - композиционные хемосорбционные волокнистые материалы. Они состоят из полимерной матрицы с активными ионообменными группами, сформированной на волокнистом наполнителе с реакционно-способными группами; их получают по малостадийной технологии методом поликонденсационного наполнения.

Проведенные ранее исследования позволили создать широкий класс материалов «Поликон» и определить основные области рационального применения материала [1]. К ним относится создание полимерных композиционных наполнителей каналов обессоливания для электродиализных установок [2]. Однако невысокая электропроводность материалов ограничивает их использование. Решение этой проблемы предлагается решать путем введения ультрадисперсных добавок, обладающих электропроводными свойствами, в полимерную матрицу на стадии синтеза её на волокнистой основе. [3]. Введение нанопорошков позволяют направленно регулировать структуру и повысить комплекс эксплуатационных свойств композиционных хемосорбционных волокнистых материалов (КХВМ).

Известно, что получаемые полимерные композиты с применением наноструктур, обладают уникальными свойствами, хотя применение наночастиц затруднено протеканием самопроизвольных процессов агломерирования. Эта проблема решается благодаря перспективному методу поликонденсационного наполнения и наличием оксидной пленки на поверхности каждой частицы, которая позволяет сохранить их структуру и

единичные размеры, вследствие чего достигается равномерное распределение нанопорошка в объеме композита [4].

В результате исследований показано, что с введением дополнительной гетерофазы в среду синтеза полимерной фенолсульфокатионовой матрицы возрастает не только скорость процесса, но и пространственное структурирование. У разработанных хемосорбентов с введенными в них добавками наблюдается снижение на порядок удельного объемного сопротивления.

Таким образом, показана возможность направленного регулирования структуры и свойств КХВМ «Поликон К» с введением в состав ультрадисперсных добавок на стадии синтеза, которая открыла новые возможности применения подобных материалов и модернизации способов электродиализа широкого спектра сильно разбавленных коллоидных систем.

#### Список используемых источников

1. Кардаш М.М. Применение материалов "Поликон" в качестве наполнителей каналов обессоливания при электродиализе разбавленных растворов /Кардаш М.М., Павлов А.В. //Ионный перенос в органических и неорганических мембранах: материалы российской конференции с международным участием, Краснодар, 22-25 мая 2007 г. - Краснодар: КубГУ, 2007.- С.108-110.

2. Кардаш М.М. Применение листовых волокнистых ионообменных материалов "Поликон" в камерах обессоливания электродиализных установок /Кардаш М.М., Павлов А.В. //Перспективные полимерные композиционные материалы. Альтернативные технологии. Переработка. Применение. Экология. :материалы Международной конференции "Композит-2007", г.Саратов, 3-6 июля 2007г. - Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2007 .- С.446-449.

3. Влияние ультрадисперсных неорганических наполнителей на синтез и отверждение материалов Поликон /Кардаш М.М., Тюрин И.А., Терин Д.В., Аширов Р.Т. // Волокна и пленки 2011. Перспективные технологии и оборудование для производства и переработки волокнистых и пленочных материалов: материалы Международной научно-практической конференции-семинара, Могилев, Беларусь. 28 октября 2011 г.- Могилев: Могилевский гос. ун-т продовольствия, 2011.- С.92 – 95.

4. Модификация материалов "Поликон К" ультрадисперсными неорганическими добавками /Кардаш М.М., Тюрин И.А., Терин Д.В., Олейник Д.В. // Химические волокна. -2012.- № 1. -С.7 – 9.

*\*Работа выполняется при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 10-08-00074-а)*

# РЕНТГЕНОВСКАЯ ДИФРАКТОМЕТРИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОСТРУКТУР\*

Мамонтов<sup>1</sup> А.И., Зимин<sup>2</sup> С.П.

<sup>1</sup>- Сыктывкарский государственный университет, г. Сыктывкар, Россия,  
[snowchek@mail.ru](mailto:snowchek@mail.ru);

<sup>2</sup>- Ярославский государственный университет, г. Ярославль, Россия.

В последние годы значительное внимание уделяется изучению свойств квантово-размерных многослойных структур, что связано с перспективой их практического использования (в приборах оптоэлектроники, для создания полевых транзисторов, солнечных батарей и др.). В этом плане чрезвычайно важной становится информация о структуре этих объектов. Наиболее чувствительными и информативными методами неразрушающего контроля реальной структуры сверхрешеток являются рентгеновские методы исследования.

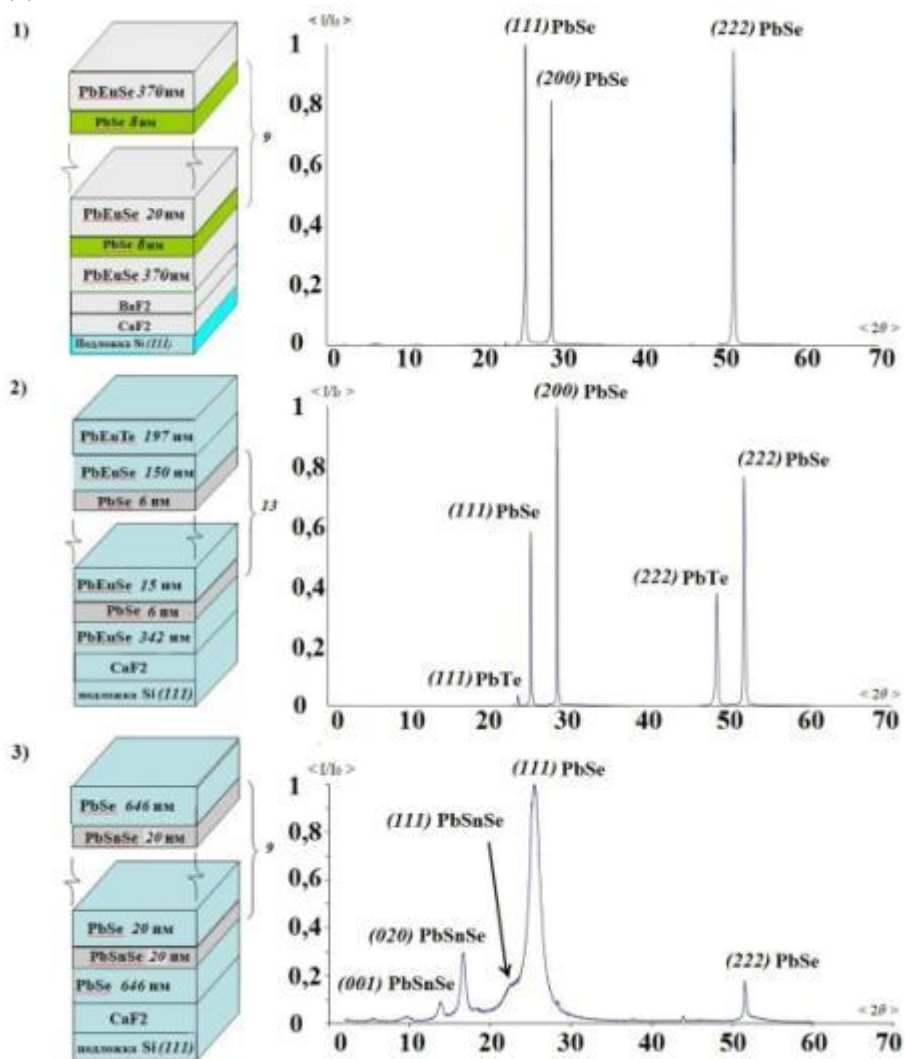


Рисунок 1. Структура образцов и их дифрактограммы.

Несколько исследуемых многослойных структур представлены на рис.1. Они выращены методом молекулярно-лучевой эпитаксией на подложке кремния Si(111) с буферным слоем  $\text{CaF}_2$ . Рентгеновские исследования проводились на высокоразрешающем дифрактометре.

Когда эпитаксиальный слой достаточно толстый, обычно  $\sim 1$  мкм, тогда для определения его параметров из кривых применимы простые параметры. Эффективное несоответствие можно определить путём прямого измерения углового разделения пиков подложки и слоя и дифференцированием закона Брэгга. Этот упрощённый анализ нельзя применять, когда слой становится тонким, тоньше 0,25 мкм, и когда даже для единичного слоя интерференционные эффекты становятся чрезвычайно важными. Кривые качания от сверхрешёток и многослойной структуры могут быть довольно сложными и анализ пиков позволяет получить много сведений об образцах, такие как период структуры, толщины чередующихся слоев, состав слоев и др.

Например, если предположить, что мы имеем подложку из материала А, и многослойную структуру, упакованную из слоёв АБ, то кривая качания будет иметь несколько характерных особенностей. Это пик от подложки, пик, вызванный сверткой брэгговских отражений А и Б элементов многослойной структуры, набор пиков-сателлитов. В условиях стандартного отражения количество элементов подобной структуры определяет ширину пиков-сателлитов. Число сателлитов будет зависеть от формы интерфейса между элементами решётки. Интенсивность сателлитов содержит информацию о резкости и плавности интерфейса.

Как можно видеть первый и второй образец близки друг к другу по структуре, что видно и из дифрактограмм, но наличие PbEuTe в верхнем слое второго образца приводит к появлению дополнительного пика на дифрактограмме, рис.1. У третьего образца также появляются дополнительные пики, соответствующие решётке PbSnSe, и изменяется форма пиков по сравнению с первым графиком. Уширение и ослабление интенсивности пиков на дифрактограмме связано с увеличением толщины слоёв и появлением дислокаций и мозаичности в структуре кристалла образца.

Проанализированы дифрактограммы для многослойных структур, определены межплоскостные расстояния и толщины слоёв. Соответствие пиков веществам и индексы Миллера приведены на рис.1.

*\*Работа выполнена в рамках Программы «Развитие научного потенциала Высшей школы на 2009-2012 годы (проект № 2.1.1/5848).*

# Триботехнические свойства тонких плёнок, синтезированных в плазме тлеющего разряда

*Новиков В.А., Сафонов А.А., Штеренберг А.М.  
Самарский государственный технический университет,  
г. Самара, [vladislav\\_novyi@mail.ru](mailto:vladislav_novyi@mail.ru)*

Экспериментально изучены триботехнические и фрикционные свойства покрытий на алюминиевых образцах на различных этапах их синтеза в тлеющем разряде в парах тетрафторэтилена. Показано, что нанесение тонких плёнок в плазме тлеющего разряда способствует повышению износостойкости образцов и снижению в 2 – 4 раза коэффициента трения. Значительное повышение качества модификации образцов имеет место при условии достижения прежде всего высокой адгезионной прочности соединения покрытия с основой, при формировании покрытий с высокими когезионными и упругими свойствами. Нанесение на поверхность алюминиевых образцов хрома перед синтезом полимерного покрытия в плазме тлеющего разряда приводит к увеличению адгезии покрытия и влияет на процессы адсорбции молекулярных фрагментов и структуру покрытия. Синтез покрытия проходил при значениях давления в реакционной камере 50 и 70 Па, мощности разряда 120 Вт, частоте 1 кГц и изменении длительности обработки от 5 до 600 секунд.

Истирание нанесённого полимера производилось при возвратно-поступательном движении по схеме сфера-плоскость на микротрибометре при следующих режимах: нагрузка 0.6 Н; средняя скорость скольжения  $7 \times 10^{-3}$  м/с; длина дорожки трения 15 мм; индентором являлся стальной шарик диаметром 5 мм. Испытания на износостойкость формируемых покрытий осуществляли при скорости скольжения  $4 \times 10^{-2}$  м/с и нагрузке 2 и 4 Н, так как при скорости  $7 \times 10^{-3}$  м/с и нагрузке 0.6 Н следы разрушения покрытия отсутствовали. Изучение морфологии поверхностей и дорожек трения модифицированных алюминиевых пластинок осуществляли на растровом электронном микроскопе (JEOL JSM-6390A) и сканирующем зондовом микроскопе (NanoEducator NT MDT Solver NOVA Tech. в режиме SFM – сканирующий силовой микроскоп).

Заметное (в 2 раза) снижение коэффициента трения для обрабатываемой поверхности начиналось при длительности разряда не менее 180 секунд и толщине нанесённого полимера 0.4 – 1.7 мкм, при этом величина шероховатостей поверхности плёнки составляла в среднем 70 нм, а максимальные неровности на поверхности  $5 \times 5$  мм<sup>2</sup> не превышали 230 нм. Более длительная обработка (>180 с) производилась при меньших плотностях тока (60 Вт) и более высоком давлении (100 Па). Такой режим работы позволил добиться равномерного роста полимера и уменьшения внутренних напряжений, эти условия являются более выгодными с позиции уменьшения трения и увеличения качества сшивки полимера в объёме.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ КЛАСТЕРНЫХ СВЕРХРЕШЕТОК ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ НАНОМОДИФИКАТОРОВ В ЖИДКИХ СРЕДАХ\*

*Шелохвостов В.П., Образцов Д.В., Гумбин В.В.  
ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»,  
Тамбов, [energ-lab@yandex.ru](mailto:energ-lab@yandex.ru)*

Как известно, физико-химические свойства веществ зависят не только от химического состава, но и от их структурного состояния. Кроме хорошо изученных агрегатных состояний веществ, таких как твердое, жидкое, газообразное и плазма, также необходимо рассматривать кластерную структуру в рамках каждого агрегатного состояния.

В современной научной литературе «кластер» представляет собой устойчивые ассоциаты конечного числа атомов или простых молекул, которые могут существовать в газовой, жидкой и твердой фазах. В научной литературе широко освещены механизмы образования кластеров под действием внешних факторов в твердых веществах, также определено, что образованные кластеры выстраиваются в сверхрешетку. Данная сверхрешетка является высокоорганизованной кластерной структурой, которая кардинальным образом меняет свойства конденсированной среды. Особый интерес представляет изучение подобных объемных образований в жидких конденсированных средах. Известно, что первопричиной образования кластера в жидкости, является образование димера из свободных молекул, в последствии, появившийся димер становится ядром формирующегося кластера. Образовавшийся кластер имеет характерное строение в виде оболочек вокруг ядра. Проведение аналогии процессов формирования кластерной сверхрешетки в твердых веществах позволяет предполагать, что в жидких средах также должны образовываться кластерные сверхрешетки. Однако исследований жидких конденсированных сред на предмет образования в них кластерных сверхрешеток практически не проводились. Это связано с тем, что по сравнению с твердыми веществами в жидкостях, сформировавшиеся кластерные системы подвержены различного рода воздействиям (тепловым флуктуациями, внешним полям различного рода и т.д.), а, следовательно, в образованных сверхрешетках происходят процессы, приводящие к её разрушению. Сформированная динамическая кластерная сверхрешетка при стабилизации её параметров должна приводить к значительным изменениям свойств жидкой среды. Поэтому задача исследования процессов формирования динамических кластерных сверхрешеток в жидких динамических средах является актуальной.

Формирование кластеров в воде под действием нанобъектов предположительно происходит по следующему механизму. При добавлении в воду наноразмерных частиц происходит компенсация их поверхностной



энергии, по крайней мере, двумя слоями: ион-формирующем и ион-компенсирующем (рисунок 1).

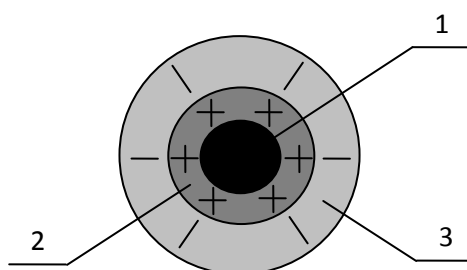


Рисунок 1. Схема сформированного кластера в жидкости: 1 – нанообъект, 2 – ион-формирующий слой, 3 – ион-компенсирующий слой.

В данном случае происходит компенсация активной поверхности нанообъекта слоями из морфологических единиц окружающей их сред, что приводит к снижению активности и уменьшению достигаемого эффекта модифицирования. При малом количестве нанообъектов их влияние очень незначительно и существенно не изменяет физико-химические свойства окружающей их среды, так как под действием нанообъекта модифицируется только приповерхностный слой. В данном случае для достижения какого-либо заметного изменения физико-химических свойств среды необходимо значительно увеличивать концентрацию нанообъектов, что зачастую становится экономически и технологически нецелесообразным.

В данной работе рассмотрен другой подход, который позволяет произвести модифицирование среды при малой концентрации нанообъектов. Принятый подход заключается в возможности автономного существования отделенного от нанообъекта ион-формирующего и ион-компенсирующего слоя в виде стабильного кластера. Таким образом, для модификации среды необходимо распространить кластеры, состоящие из ион-формирующего и ион-компенсирующего слоя на весь объем среды. Это можно достичь реализацией процесса отделения контактного слоя среды от поверхности нанообъекта, удаления его в объем среды и последующего возникновения на этой же поверхности нового слоя. Эффект модифицирования будет увеличиваться по мере накопления в объеме кластеров, возникших из ион-формирующего и ион-компенсирующего слоя. Теоретические расчеты показывают, что уровень прочности сцепления ион-формирующего слоя с нанообъектом находится, примерно на уровне прочности самого нанообъекта и непосредственный отрыв в данном случае без разрушения нанообъекта невозможен. Однако в теории и экспериментах с твердыми веществами показано, что сдвиговые усилия при определенных условиях могут быть значительно ниже усилий отрыва, что также справедливо и для границ раздела фаз. На рисунке 2 представлена схема формирования кластера из морфологических единиц среды в жидкости.

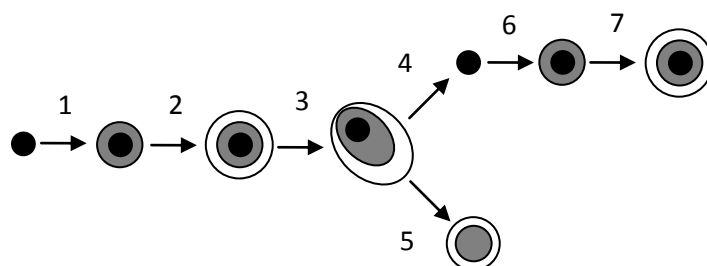


Рисунок 2. Схема формирования кластера из морфологических единиц среды в жидкости: 1 – процесс образования ион-формирующего слоя на поверхности нанобъекта, 2 – процесс образования ион-компенсирующего слоя, 3 – процесс динамизации среды; 4 – отделение от нанобъекта ионных слоев; 5 – сформированный кластер из ионных слоев; 6 – процесс образования ион-формирующего слоя на поверхности нанобъекта, 7 – процесс образования ион-компенсирующего слоя.

При определенном уровне касательных напряжений происходит отделение ионных слоёв с образованием кластеров с ядрами на основе ион-формирующего слоя 5 (рисунок 2). При сдвиговом отрыве ионных слоёв с нанобъекта на его поверхности вновь начинается формирование ионных слоев 6,7 (рисунок 2). При продолжении процесса динамизации (ультразвук, кавитация и т.д.) среды происходит увеличение числа сформированных кластеров из ионных слоев, что приводит к значительному изменению физико-химических свойств среды. Сформированные кластеры при достижении определенной концентрации могут выстраиваться в кластерную сверхрешётку. Кластерная сверхрешётка в связи с её упорядоченностью будет способна распределять и релаксировать внешние воздействия (световое излучение, тепловое воздействие) тем самым, сохраняя свою структуру.

**Выводы:** Рассмотрены механизмы формирования ионных кластеров в водной среде, содержащей нанобъекты под действием внешних воздействий. На основе данного механизма предложено объяснение сильного влияния малых концентраций нанобъектов на содержащих их водную среду.

#### Список используемых источников

1. Демиховский, В.Я. Физика квантовых низкоразмерных структур / В.Я. Демиховский, Г.А. Вугальтер. - М.: Логос, 2000. - 248 с.
2. Шелохвостов, В.П. Методы и средства контроля параметров конденсированных сред, содержащих наноструктурные компоненты / В.П. Шелохвостов, В.Н. Чернышов. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – (Препринт Вестн. Тамб. гос. тех. ун-та / Тамб. гос. техн. ун-т. – Препринт № 21. Рубрика 01. – 2007. – Т. 13, № 3. – 60 с.).

*\*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта 12-03-31495 мол\_a*

# ОПЫТ СОЗДАНИЯ В РОССИИ КЛАССИФИКАТОРА НАПРАВЛЕНИЙ НАНОТЕХНОЛОГИИ

*Першин А.С., Петрова Е.А., Семикина С.И., Пасько Т.В.  
Тамбовский государственный технический университет*

Интенсивное развитие нанотехнологий, их быстрое проникновение в производство и потребление и связанные с этим риски – социальные, этические, экологические – обуславливают актуальность скорейшего решения задачи формирования системы экономико-статистических измерений масштабов, структуры и динамики данного технологического направления и соответствующей ему сферы деятельности. Отсутствие необходимой для этого методологической базы и практического инструментария ведет к весьма расплывчатым, а часто и противоречивым представлениям о состоянии сферы нанотехнологий, ее экономических и социальных эффектах.

Создание в России метрологического комплекса и нормативно-методической базы направлено на обеспечение единства измерений параметров углеродных наноструктурированных материалов и продукции. Использование созданных метрологических комплексов, научно-методической базы и Государственных стандартных образцов, позволит проводить измерения параметров углеродных фуллеренов и нанотрубок, обеспечивающих промышленные приемо-сдаточные и сертификационные испытания этих материалов, что приведет к повышению конкурентоспособности отечественных производителей.

Для построения проекта российской классификации направлений нанотехнологий (КНН) группой экспертов под научным руководством академика Алфимова М.В. была предпринята попытка обобщить подходы и сформировать систему, открытую для дальнейшего расширения и детализации [1]. Назначением такой классификации является, прежде всего, решение задач в области учета, анализа и стандартизации научной, научно-технической, инновационной и производственной деятельности в сфере нанотехнологий. Классификация может быть также использована для отбора и экспертизы проектов, оценки деятельности в области защиты прав интеллектуальной собственности, проведения статистических исследований, унификации научно-технической или иной информации в этой области. Все это должно обеспечить структурированное описание нанотехнологий как научно-технологической и экономической сферы, способствовать выработке приоритетов, формированию и реализации политики, основанной на фактах.

В результате работы были выделены семь основных направлений нанотехнологий: наноматериалы, наноэлектроника, нанофотоника, нанобиотехнологии, наномедицина, наноинструменты (нанодиагностика), технологии и специальное оборудование для создания и производства наноматериалов и наноустройств. Для каждого из выделенных направлений были сформулированы соответствующие определения и предложено первичное

наполнение (как правило, от трех до пяти групп технологий). Для уточнения наименований классификационных позиций и определений широко использовались материалы административных источников, базы данных научных публикаций и патентов и т.п. Комбинация материалов позволила получить разнообразную информацию о возможных подходах к выявлению направлений применения нанотехнологий и предложить проект их классификации. Кроме того, для оценки полноты и адекватности разработанного перечня направлений, уточнения их наименований, определений и последовательности, проверки корректности формулировок была сформирована группа, включавшая более пятидесяти экспертов из различных областей науки и производства.

Таблица 1

Общая структура классификации направлений нанотехнологий

Код КНН	Наименование научно-технологического направления
T.01	Наноматериалы
T.02	Наноэлектроника
T.03	Нанофотоника
T.04	Нанобиотехнологии
T.05	Наномедицина
T.06	Методы и инструменты исследования и сертификации наноматериалов и наноустройств
T.07	Технологии и специальное оборудование для создания и производства наноматериалов и наноустройств
T.09	Прочие направления

Проект классификации направлений имеет двухуровневую иерархическую структуру с использованием последовательного метода кодирования (табл. 1).

Используемый при этом буквенно-цифровой код имеет следующую формулу:

$$T + XX + XX,$$

где T – индекс латинского алфавита, указывающий на принадлежность кода к классификации КНН; X – символ, обозначающий разряды цифровой части кода.

На первом уровне классификационного деления (T .XX) представлены основные научно-технологические направления, на втором (T.XX.XX) – группы технологий.

В справочных целях в КНН также приводятся дополнительные группировки. Они представлены на более низких уровнях для уточнения состава групп технологий и увязки с продуктами (услугами), производимыми на их основе. Их нумерация ведется сплошным списком.

Список используемых источников

1. Алфимов, М.В. Нанотехнологии: определения и классификация / М.В. Алфимов, Л.М. Гохберг, К.С. Фурсов // Российские нанотехнологии. – 2010. – Т. 5, № 7-8. – С. 8-16.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАЗМЫ В ПРОЦЕССЕ СИНТЕЗА НАНОУГЛЕРОДНЫХ СТРУКТУР

*Платёнкин А.В., Баршутин С.Н.*

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»,  
Тамбов, [lepilalex@yandex.ru](mailto:lepilalex@yandex.ru)*

Нанокуглеродные материалы, прежде всего нанотрубки и фуллерены, вызывают постоянный интерес у исследователей. Это связано с тем, что изучение фуллеренов и нанотрубок обеспечивает развитие фундаментальной науки в целом и одновременно открывает широкие возможности для промышленного применения нанокуглеродных материалов в самых различных областях. В соединении с другими веществами фуллерены и другие нанокуглеродные структуры позволяют получать материалы с принципиально новыми свойствами.

В настоящее время разработано достаточно много методов получения фуллеренов. Из наиболее распространенных можно отметить синтез фуллеренов из углеродного газа, полученного испарением графита, а также методы, которые основаны на сжигании или пиролизе различных углеводородов.

Одним из наиболее перспективных методов, который бурно развивается в последнее время, является плазмохимический метод синтеза нанокуглеродных структур [1]. Важным достоинством данного метода является возможность получения широкого спектра нанокуглеродных материалов, однако содержание их в конечном продукте синтеза обычно не превышает 5%, остальные 95% составляет аморфный углерод. Для повышения эффективности плазмохимического метода возникает фундаментальная задача изучения механизма формирования нанокуглеродных объектов в процессе синтеза, что в дальнейшем позволит повысить процент их выхода, а также повысит избирательность метода для получения более узкой группы нанокуглеродных материалов в конечных продуктах.

Для решения этой задачи необходимо провести комплексные исследования процессов, происходящих внутри зоны реакции, на выходе плазмотрона в момент синтеза, исследовать конечные продукты синтеза при различных технологических параметрах плазмы, а также изучить возможные влияния внешних факторов (например внешнего электромагнитного поля) на процесс формирования нанокуглеродных объектов.

В данном материале представлены результаты спектральных исследований плазмы в процессе синтеза нанокуглеродных материалов.

В качестве исходных материалов использовали графитовые микропорошки с гранулометрическим составом 30-70 мкм, технологические газы – аргон и азот.

Синтез осуществляли в плазменной установке УПУ-8М со штатной конструкцией плазмотрона и устройством внешнего воздействия, в виде генератора электромагнитного поля, схематически показанных на рисунке 1.

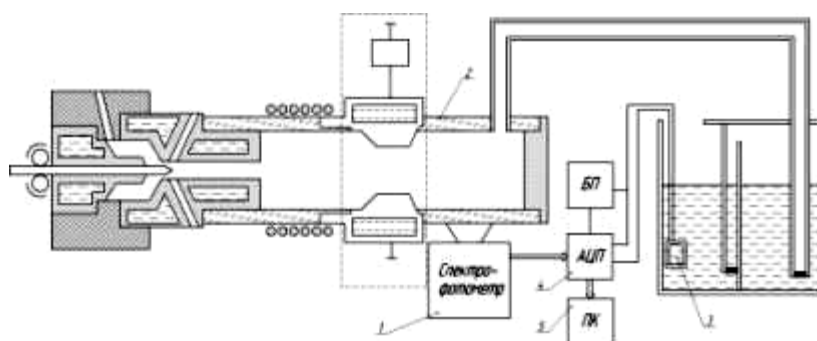


Рисунок 1. Синтез углеродных нанобъектов: 1 – атомноабсорбционный спектрофотометр Perkin Elmer 2280; 2 – блок внешнего воздействия; 3 – фотодатчик; 4 – АЦП; 5 – персональный компьютер.

Плазма формировалась путем пропускания аргона (расход  $\sim 50$  л/мин) через дуговой разряд (напряжение на электродах – 50 В, сила тока – 300А). Графитовый порошок подавался в плазменный канал дозирующим устройством с разной интенсивностью от 5 до 20 г/мин с использованием транспортирующего газового потока (азот) с расходом в пределах 15 – 55 л/мин.

Устройство внешнего воздействия представляло собой кварцевую трубу, герметично соединенную с анодом, вокруг которой помещен генератор высокочастотного магнитного поля (4 МГц). Магнитное поле обеспечивает увеличение объема плазмы, а, следовательно, и зоны реакции.

Фотодатчик контролирует мутность воды для определения наполняемости водного фильтра конечными продуктами синтеза.

Данные со спектрофотометра и фотодатчика через АЦП передаются на персональный компьютер, на котором сигналы записываются в автоматическом режиме.

В ходе экспериментов на установке были получены спектральные характеристики плазмы с введением в неё углеродного материала с разной интенсивностью [2]. По характеристическим линиям спектра возможно идентифицировать наноуглеродные объекты, а по интенсивности линий оценить количественные показатели (рисунок 2).

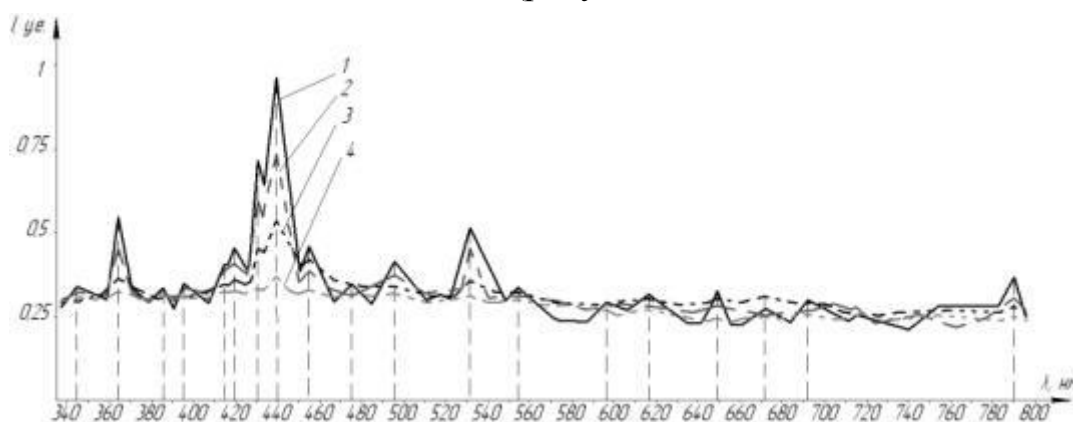


Рисунок 2. Участок эмиссионного спектра синтеза фуллеренов: 1 – расход порошка: 20 г/мин; 2 – расход порошка: 15 г/мин; 3 – расход порошка: 10 г/мин; 4 – расход порошка: 5 г/мин

Сравнивая расчетные данные спектра фуллеренов с полученным спектром, определили, что в проведенном эксперименте все четыре линии ИК-спектра фуллеренов совпадают с расчетными[3]. Это позволяет утверждать, что в процессе плазмохимического синтеза наряду с другими нанокуглеродными объектами, действительно образуются фуллерены.

По наиболее характерным спектральным линиям построили зависимость интенсивности от расхода порошка исходного сырья (рисунок 3).

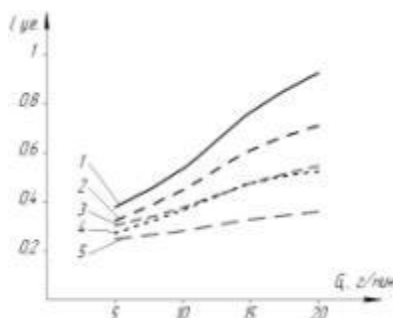


Рисунок 3. Зависимость плотности спектральной линии от расхода порошка: 1 – спектральная линия 439,3 нм; 2 – 430,8 нм; 3 – 364,2 нм; 4 – 531,4 нм; 5 – 790,3 нм.

Зависимость показывает, что наиболее интенсивный рост спектральной плотности, а, следовательно, и концентрации нанокуглеродных объектов, наблюдается в интервале расхода порошка от 10 до 15 г/мин. Дальнейшее увеличение расхода порошка приводит к менее интенсивному росту концентрации нанообъектов.

**Выводы:** Провели исследования спектральных характеристик плазмы в процессе синтеза нанокуглеродных объектов, определили, что в процессе эксперимента в конечных продуктах образуются фуллерены. Всего четыре линии в ИК спектре, принадлежащие  $C_{60}$ , являются следствием высокой симметрии молекулы. Первые две линии спектра можно отнести к деформационным колебаниям связей  $C=C$ , а последние две к валентным колебаниям связей  $C=C$ .

Показали интенсивность роста спектральной плотности от расхода порошка.

#### Список используемых источников

1. Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Кн.1 : Вводный том / Под ред. В.Е.Фортова. - М.: Наука, 2000. - 585 с
2. Очкин В.Н. Спектроскопия низкотемпературной плазмы – М.: Физматлит, 2006. – 472 с.
3. Физика квантовых низкоразмерных структур [Текст] / В.Я. Демиховский, Г.А. Вугальтер. - М.: Логос, 2000. - 247 с.: орн. + 1. - Библиогр. в конце гл. - ISBN 5-88439-045-9

# ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ПОЛИМЕРНОЙ НАНОКОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ АНАЭРОБНОГО ГЕРМЕТИКА АН-111

*Ли<sup>1</sup> Р.И., Рожнов<sup>2</sup> А.Б.*

*1 – Липецкий государственный технический университет, Липецк,  
[romanlee@list.ru](mailto:romanlee@list.ru)*

*2 – Мичуринский государственный аграрный университет, Мичуринск.*

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) находят широкое применение при ремонте сельскохозяйственной техники. Они обеспечили качественно новый уровень решения проблемы склеивания, герметизации и уплотнения в современной технике. Для повышения потребительских свойств в состав полимера вводят мелкодисперсные наполнители. При этом увеличиваются прочность, теплопроводность, стойкость к циклическому нагружению. Представляет научный и практический интерес исследование влияния наноразмерных наполнителей на свойства ПКМ.

Деформационно-прочностные свойства исследовали на образцах, представляющих клеевые соединения внутренних колец подшипников 205 с валами, изготовленными из стали 45. Диаметральный зазор составлял 0,2 мм. Исследован ПКМ на основе анаэробного герметика АН-111. В качестве наполнителя применяли углеродные нанотрубки «Таунит-М» (УНТ) концентрацией 0,5; 2,5; 4,5 и 6,5 масс.ч. на 100 масс.ч. анаэробного герметика АН-111.

Соединения отверждали в течение 24 ч при температуре 20°С. Прочность при аксиальном сдвиге и деформацию образцов измеряли на разрывной машине ИР 5047-50. Скорость нагружения при испытаниях была постоянной и составляла 5 мм/мин.

На рис. 1 показана зависимость прочности клеевых соединений нанокomпозиции герметика АН-111 при аксиальном сдвиге  $\tau$  от концентрации УНТ «Таунит-М». Как следует из рис. 1 с введением нанонаполнителя прочность однозначно возрастает от 23,5 до 46,5 МПа. Прочность соединений нанокomпозиции по сравнению с ненаполненным герметиком АН-111 увеличивается в 1,03; 1,84; 1,98 раза при концентрации нанопорошка 0,5; 2,5; 4,5 масс.ч. соответственно. При концентрации 6,5 масс.ч. наблюдается снижение прочности клеевого соединения по отношению к образцу с концентрацией 4,5 масс. ч. в 1,15 раза, а по отношению к ненаполненному полимеру прочность увеличилась в 1,72 раза.

На рис. 2 показана зависимость удельной работы разрушения  $\alpha$  клеевых соединений композиции герметика АН-111 при аксиальном сдвиге  $\tau$  от концентрации УНТ «Таунит-М». Введение нанонаполнителя также не однозначно влияет на деформацию клеевых соединений.



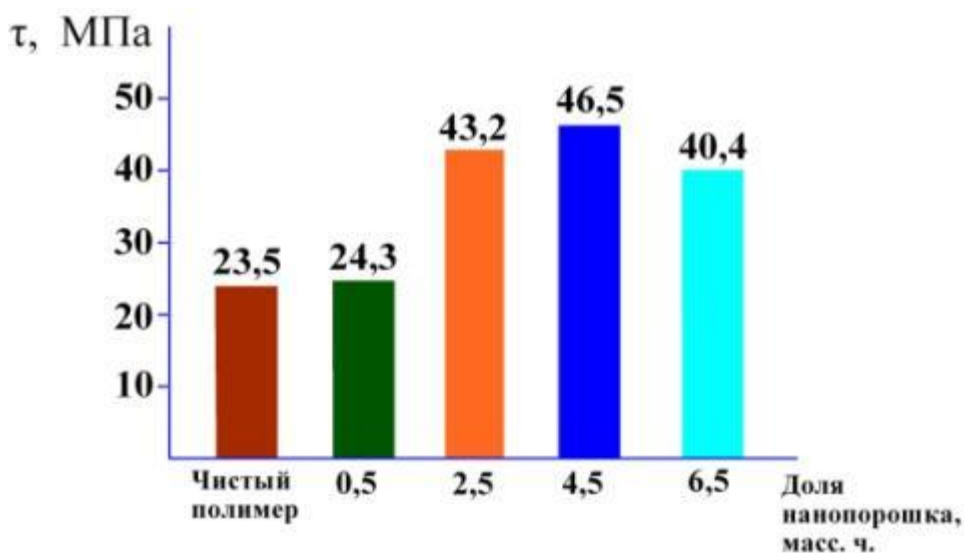


Рисунок 1. Зависимость прочности клеевых соединений нанокomпозиции герметика АН-111 при аксиальном сдвиге  $\tau$  от концентрации УНТ «Таунит-М».

При концентрации УНТ 0,5 масс.ч. работа разрушения клеевых соединений нанокomпозиции, по сравнению с ненаполненным герметиком АН-111 уменьшается в 1,13 раза с 187,58 до 166,1 Мдж/м<sup>3</sup>. С дальнейшим увеличением концентрации УНТ работа разрушения клеевых соединений нанокomпозиции, по сравнению с ненаполненным герметиком АН-111, увеличивается в 2,41 и 2,71 раза, до 452,7 и 509,1 Мдж/м<sup>3</sup> при концентрации УНТ 2,5 и 4,5 масс.ч. соответственно.

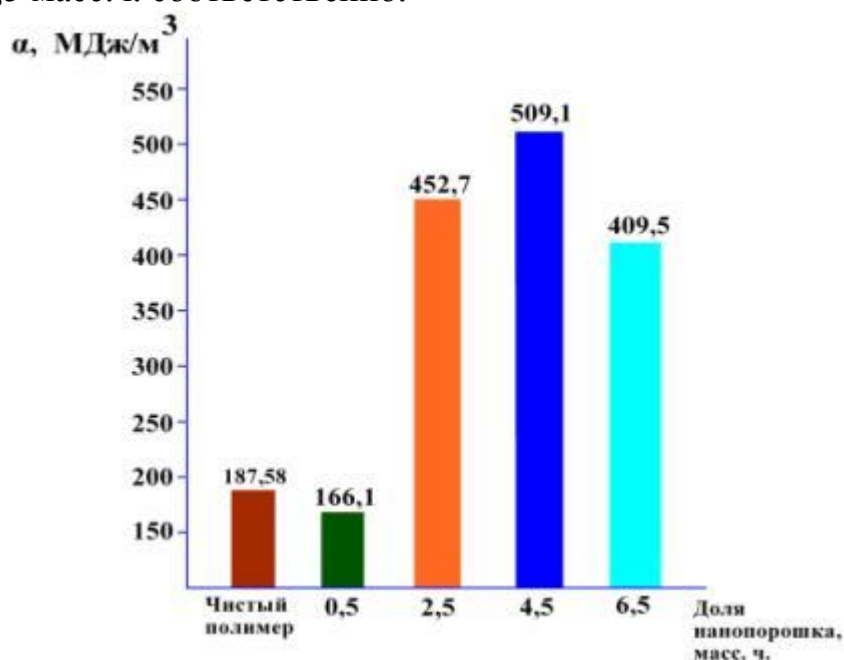


Рисунок 2. Зависимость удельной работы разрушения  $\alpha$  клеевых соединений композиции герметика АН-111 при аксиальном сдвиге  $\tau$  от концентрации УНТ «Таунит».

При концентрации 6,5 масс.ч. наблюдается снижение значений удельной работы разрушения по сравнению с 4,5 масс. ч. в 1,24 раза с 509,1 до 409,5 Мдж/м<sup>3</sup>. По отношению к образцу склеенному ненаполненным

полимером удельная работа разрушения образца с концентрацией УНТ «Таунит-М» 6,5 масс.ч. увеличилась в 2,18 раза.

Долговечность неподвижных соединений, восстановленных полимерными материалами, зависит от деформационно-прочностных свойств полимеров [1, 2]. Одни материалы имеют более высокую прочность и относительно низкую деформацию, тогда как другие материалы наоборот – более высокую деформацию и относительно низкую прочность.

Авторы предлагают выбор полимерных материалов осуществлять по удельной работе разрушения. Чем больше значения удельной работы разрушения, тем выше значения долговечности материала при динамическом нагружении. Поэтому в качестве оптимальной концентрации УНТ принято значение 4,5 масс.ч.

#### Список используемых источников

1. Курчаткин, В.В. Восстановление посадок подшипников качения сельскохозяйственной техники полимерными материалами [Текст]: дис ... док. техн. наук. / Курчаткин В.В. – М., 1989. – 407с.
2. Ли, Р.И. Восстановление неподвижных соединений подшипников качения сельскохозяйственной техники полимерными материалами [Текст]: дис ... докт. техн. наук. / Ли Р.И. – М., 2001, – 340 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ**

*Щегольков А.В.*

*Тамбовский государственный технический университет  
(ФГБОУ ВПО «ТГТУ»)*

Разработка материалов обладающих широкими функциональными возможностями путем наномодифицирования является перспективным научно-техническим направлением. В этом отношении актуальным является исследование параметров наномодифицированных парафинов, которые вследствие введения в них УНМ (Таунит) и воздействия физических полей различной природы на стадии модификации приобретают особые электро и теплофизические характеристики.

Целью экспериментальных исследований является изучение вольт амперных характеристик (ВАХ) электрического теплоаккумулирующего нагревателя (ЭТН) полученного путем наномодификации парафинов.

Состав приборов и оборудования для исследования ВАХ ЭТН включал в себя криостат LOIP FT-311-25 и блок питания Б-7, с возможностью изменения напряжения с шагом 0,1 В.

На рисунке 1 показаны ВАХ ЭТН: 1– ЭТН (твёрдый наполнитель) с использованием цемента с 2% добавлением парафина; 2– ЭТН на основе парафина; 3– ЭТН на основе церезина.

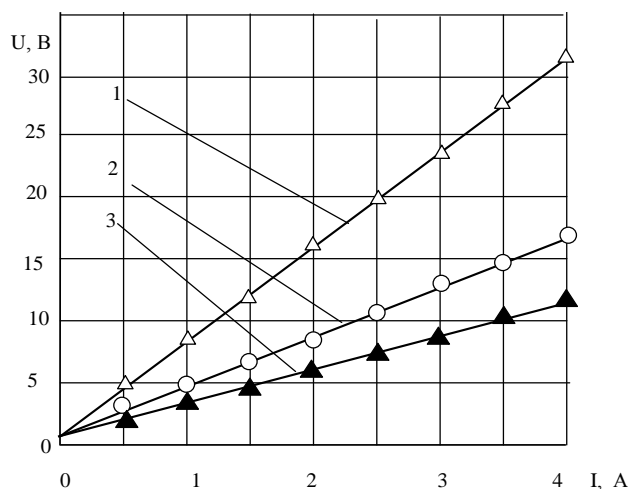


Рисунок 1. Вольт-амперная характеристика ЭТН: 1– ЭТН (твёрдый наполнитель) с использованием цемента с 2% добавлением парафина; 2– ЭТН на основе парафина; 3– ЭТН на основе церезина.

На рисунке 2 показано, как изменяется ВАХ при нарушении сплошности ЭТН за счёт введения пластинок из картона и алюминия. Линия 1 соответствует целому состоянию ЭТН. При напряжении 6 В и силе тока 1,7А ЭТН рассекли алюминиевой пластинкой, в результате чего точка 1 перешла в точку 2. В состоянии из точки 2 путём повышения питающего напряжения была получена линия 2. После того, как алюминиевую пластинку изъяли из образца, линия 2 перестроилась в линию 1. Опыт повторили с картонной пластинкой той же толщины, при этом линии 1 и 2 приняли тоже самое положение. Рассечение ЭТН пластинками большей толщины приводит к тому, что точка 1 переходит в точку 3. Если убрать пластику из ЭТН, то в этом случае линия 3 переходит в положение линии 1.

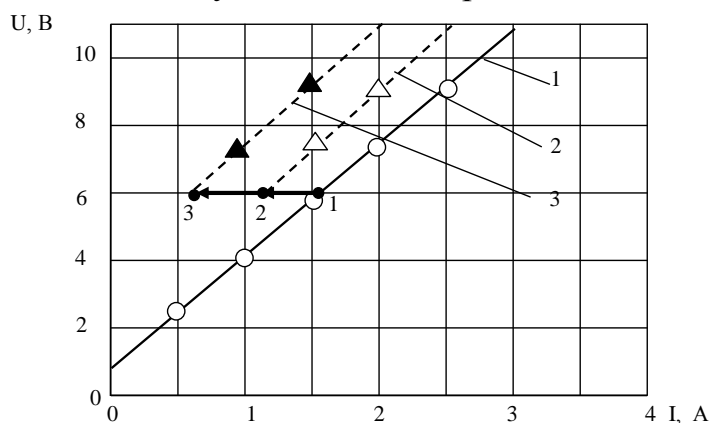


Рисунок 2. Вольт-амперная характеристика ЭТН (Эффект памяти).

Явление, которое выявлено при исследовании ВАХ ЭТН в результате введения инородных тел, указывает на существование «эффекта памяти», который графически соответствует возвращению ВАХ из позиций 2 и 3 в

начальное положение 1, при этом позиции ВАХ 2 и 3 достигнуты сечением пластинками с разной толщиной и сделанными из различных материалов.

Таким образом, под эффектом памяти ЭТН понимается воспроизведение ВАХ после рассечения (механического изменения вызванного инородным телом) материалом ЭТН, ВАХ, имевшей место в исходном (целом) состоянии.

На рисунке 3 показано, как изменится ВАХ ЭТН, если во внутренний «П» образный промежуток ЭТН ввести металлическую стружку.

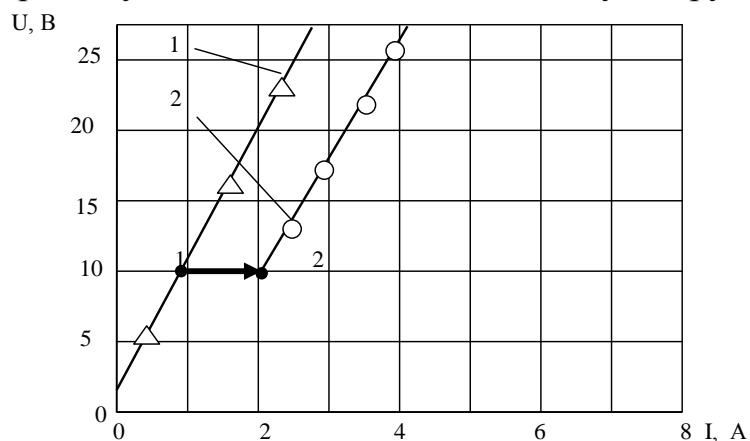


Рисунок 3. Динамика изменения силы тока при введении во внутреннее пространство ЭТН (металлической стружки): 1 – до введения; 2– после введения

Сила тока при введении металлической стружки возрастает, точка 1 на линии ВАХ переходит в положение 2. Это можно объяснить тем, что происходит усиление электропроводности за счёт мостиков, образуемых витками стружки. При этом кромки промежутков ЭТН, где есть контакт с металлической стружкой, подвергаются более интенсивному нагреву, что объясняется более высоким электрическим сопротивлением. После того, как из промежутка ЭТН извлекается металлическая стружка ВАХ линия 2 переходит в линию 1.

Таким образом, линейность ВАХ свидетельствует о равновесии электрофизических процессов при переходе электрической энергии в тепловую. При этом, нарушение равновесного процесса перехода электрической энергии в тепловую при рассечении ЭТН электропроводящими и диэлектрическими пластинками не приводит к прекращению тепловыделения, а лишь уменьшает интенсивность в случае промежутка в ЭТН от 0,5 до 3 мм.

Линейность ВАХ сохраняется и при дальнейшем увеличении температуры, а также при изменении объёма и сплошности ЭТН. Всё это указывает на стабильность тепловыделения и указывает на то, что тепловыделение обусловлено явлением такого рода, которому не присущи видоизменения в условиях механических и тепловых нагрузок.

# НЕНЬЮТОНОВСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ УЛЬТРАТОНКОЙ ПЛЕНКИ СМАЗКИ МЕЖДУ ДВУМЯ АТОМАРНО-ГЛАДКИМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ В ПРОЦЕССЕ ГРАНИЧНОГО ТРЕНИЯ

*Заскока А.Н., Ляшенко Я.А., Хоменко А.В.*

*Сумский государственный университет, 40007 Сумы, Украина*

*zaskoka23@ukr.net*

В предлагаемой работе на основе теории фазовых переходов Ландау первого рода построена термодинамическая модель плавления ультратонкой пленки смазки, зажатой между двумя атомарно-гладкими твердыми поверхностями. Исследовано кинетику системы на основе механического аналога простой трибологической системы, обладающей упругостью (рис. 1).

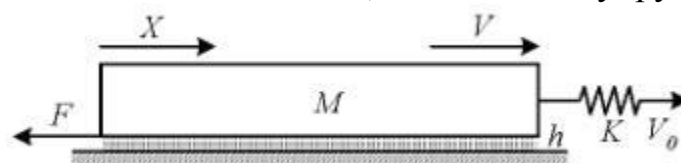


Рисунок 1: Механический аналог трибологической системы.

Указанная система состоит из двух блоков с атомарно-гладкими поверхностями. Нижний блок зафиксирован, а верхний при приложении внешней силы может по нему скользить. Между блоками находится ультратонкий слой смазочного материала толщиной  $h$ . К верхнему блоку массой  $M$  крепится пружина с жесткостью  $K$ , свободный конец которой движется с фиксированной скоростью  $V_0$ . При движении свободного конца пружины в движение приводится и сам блок, но его скорость  $V$  в общем случае существенно отличается от скорости  $V_0$  за счет того, что движению блока препятствует сила трения  $F$ , возникающая между поверхностями, в граничном режиме имеющая сложную нелинейную зависимость от скорости сдвига [1-5].

Обозначим координату верхнего блока  $X$ , тогда соответствующее уравнение движения принимает вид [1-3]:

$$M\ddot{X} = K\Delta X - F, \quad (1)$$

где сила трения  $F$  определяется согласно формуле [3, 4]:

$$F = \left[ \sigma_{el} + k \cdot \text{sgn}(V) \left( \frac{|V|}{h} \right)^{\gamma+1} \right] A, \quad (2)$$

в которой  $\sigma_{el}$  – сдвиговая компонента упругих напряжений в слое смазки,  $A$  – площадь контакта. Дополнительно в (2) введены феноменологические параметры  $k$  и  $\gamma$ , описывающие зависимость неньютоновской вязкости смазки от градиента скорости [3,4]. Случай  $\gamma < 0$  соответствует

псевдопластическим смазкам, значение  $\gamma > 0$  описывает дилатантные смазки, и  $\gamma = 0$  отвечает ньютоновской жидкости.

Запишем плотность свободной энергии для смазки в виде [2, 5]:

$$f = \alpha \left( T - T_c \right) \varphi^2 + \frac{a}{2} \varphi^2 \varepsilon_{el}^2 - \frac{b}{3} \varphi^3 + \frac{c}{4} \varphi^4, \quad (3)$$

где  $T$  – температура смазки,  $T_c$  – критическая температура,  $\varepsilon_{el}$  – сдвиговая упругая деформация,  $\varphi$  – параметр порядка (амплитуда периодической части микроскопической функции плотности среды [2]). Этот параметр равен нулю в жидкоподобной фазе и принимает ненулевые значения в твердоподобной.

При движении верхней трущейся поверхности со скоростью  $V$  в слое смазки возникают стационарные упругие деформации  $\varepsilon_{el}$  связанные со скоростью движения по формуле [3-5]:

$$\varepsilon_{el} = \frac{\tau_\varepsilon V}{h}, \quad (4)$$

где  $\tau_\varepsilon$  – максвелловское время релаксации внутренних напряжений.

Анализ (3) позволяет выделить две критические температуры [5]:

$$T_{c0} = T_c - \frac{a}{2\alpha} \left( \frac{\tau_\varepsilon V}{h} \right)^2 + \frac{b^2}{8\alpha c}, \quad (5)$$

$$T_c^0 = T_c - \frac{a}{2\alpha} \left( \frac{\tau_\varepsilon V}{h} \right)^2. \quad (6)$$

При превышении температурой критической величины  $T_{c0}$  параметр порядка скачкообразно изменяет свое значение от  $\varphi_0 = 0.5b/c$  до нуля с переходом смазки в жидкоподобное состояние, соответствующее минимуму потенциала (3). Если после указанного перехода понижать  $T$ , смазка затвердевает при меньшем значении температуры  $T_c^0$ . В этом случае наблюдается скачкообразное изменение стационарного значения параметра порядка от нуля до  $\varphi_0 = b/c$ . Таким образом, зависимость  $\varphi(T)$  имеет гистерезисный характер, что соответствует модели фазового перехода первого рода. Согласно (5) и (6) легко определить ширину гистерезиса по температуре

$$\Delta T = T_{c0} - T_c^0 = \frac{b^2}{8\alpha c}. \quad (7)$$

Аналогично можно выделить критические значения скоростей сдвига. При превышении скоростью  $V$  величины

$$V_{c0} = \frac{h}{\tau_\varepsilon} \sqrt{\frac{2\alpha \left( T_c - T \right) + \frac{b^2}{4\alpha c}}{a}} \quad (8)$$

происходит плавление, а затвердевает смазка, когда  $V$  становится меньше значения

$$V_c^0 = \frac{h}{\tau_\varepsilon} \sqrt{\frac{2\alpha \tau_c - T}{a}} \quad (9)$$

В отличие от предыдущего случая ширина гистерезиса по скорости  $\Delta V = V_{c0} - V_c^0$  с ростом температуры увеличивается. В случае функционирования системы, показанной на рис.1, при фиксированной скорости свободного конца пружины  $V_0$  скорость блока  $V$  существенно зависит от жесткости пружины  $K$  и его массы  $M$ .

Результаты моделирования показывают, что в некотором диапазоне температур в системе реализуется прерывистый режим движения (*stick-slip*) [1-5]. С увеличением температуры максимальные значения силы трения  $F$  и упругих напряжений  $\sigma_{el}$  уменьшаются, но прерывистый режим продолжает наблюдаться до критической температуры  $T^* > T_{c0}$ . Отметим, что температура  $T^*$  существенно зависит от жесткости пружины. При снижении  $T$  смазка полностью затвердевает при значении  $T = T_c^0$ . С дальнейшим понижением  $T$  смазка твердоподобна.

Исследование поведения системы при непрерывном увеличении скорости  $V_0$  с фиксированным ускорением  $a_{ac}$  показывает, что при низких температурах смазки ( $T \ll T_c$ ) в системе наблюдается *stick-slip* режим, поскольку наличие пружины способствует изменению скорости блока  $V$  на несколько порядков. После растягивания пружины смазка плавится, блок проскальзывает на значительное расстояние, далее пружина сжимается и смазка снова затвердевает. Этот процесс повторяется, причем с ростом  $V_0$  увеличивается частота фазовых переходов плавление/затвердевание. Режим скольжения устанавливается в таком случае при скорости  $V_0$  значительно большей скорости  $V_{c0}$ .

При температурах смазки близких к значению  $T_c$  ( $T < T_c$ ) происходит однократное плавление, после чего смазочный материал больше не затвердевает и в системе устанавливается режим жидкостного трения (скольжения).

#### Список используемых источников

1. Yoshizawa H., Israelachvili J. // J. Phys. Chem. – 1993 (**97**), 11300.
2. Попов В.Л. // ЖТФ. – 2001 (**71**), 100.
3. Lyashenko I. A., Khomenko A. V., Metlov L. S. // Tribol. Int. – 2011 (**44**), 476.
4. Ляшенко Я.А., Хоменко А.В., Метлов Л.С. // ЖТФ. – 2010 (**80**), 120.
5. Ляшенко Я.А. // ЖТФ. – 2012 (**82**), 19.

*\*Работа выполнена при поддержке МОНМС Украины в рамках проекта «Моделирование трения металлических наночастиц и граничных пленок смазок, взаимодействующих с атомарно-гладкими поверхностями», № 0112U001380.*

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВТОРИЧНОЙ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИИ КАРБОКСИЛИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

*Дружинина В.Н., Богаева К.Д., Телегин М.О., Дьячкова Т.П.  
Тамбовский государственный технический университет,  
[nanotam@yandex.ru](mailto:nanotam@yandex.ru)*

Функционализация углеродных нанотрубок (УНТ) является одним из путей повышения эффективности их использования в составе композиционных полимерных материалов. Наличие на поверхности УНТ различных групп (гидроксильных, карбоксильных, аминных и т.п.) способствует ее химическому взаимодействию с полимерной матрицей, благодаря чему достигается более равномерное распределение.

Одним из наиболее простых и распространенных способов функционализации углеродных нанотрубок является их окисление, способствующее пришивке кислородсодержащих групп. Однако согласно литературным данным, наличие азотсодержащих групп на поверхности УНТ является более полезным с позиций их применения в композитах. Для пришивки к поверхности УНТ таких функциональных групп необходимо подвергать предварительно карбоксилированные нанотрубки вторичным превращениям.

В настоящей работе в качестве исходного материала использованы УНТ «Таунит-М» ( $d = 8 \div 15$  нм,  $l \approx 2$  мкм;  $S_{уд} = 300 \div 320$  м<sup>2</sup>/г) и «Таунит-МД» ( $d = 30 \div 80$  нм,  $l \geq 20$  мкм;  $S_{уд} = 180 \div 200$  м<sup>2</sup>/г) предварительно окисленные кипячением в концентрированной азотной кислоте в течение 10 часов. На ИК-спектрах (рис. 1) этих материалов фиксируются пики, характеризующие наличие С=О ( $1630\text{-}1637,8$  см<sup>-1</sup>) и ОН-групп ( $3446,2\text{-}3450$  см<sup>-1</sup>).

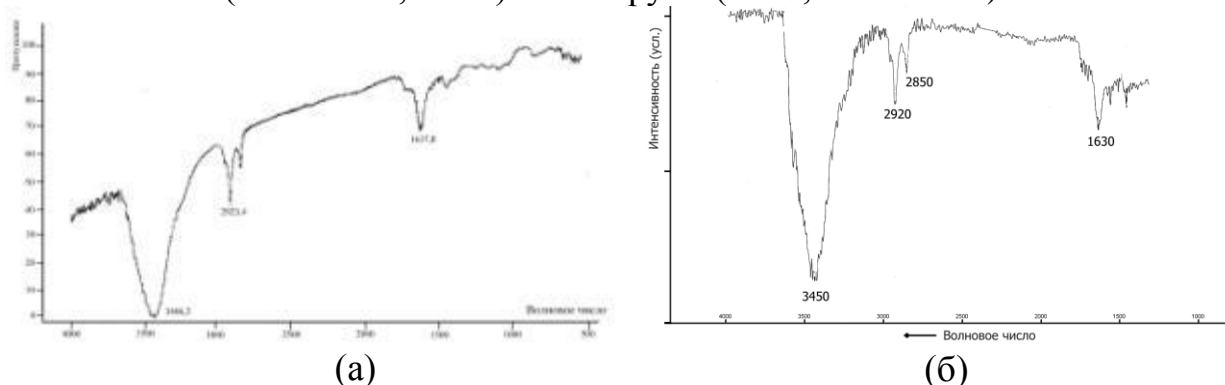


Рисунок 1. ИК-спектры окисленных азотной кислотой УНТ «Таунит-М» (а) и «Таунит-МД» (б).

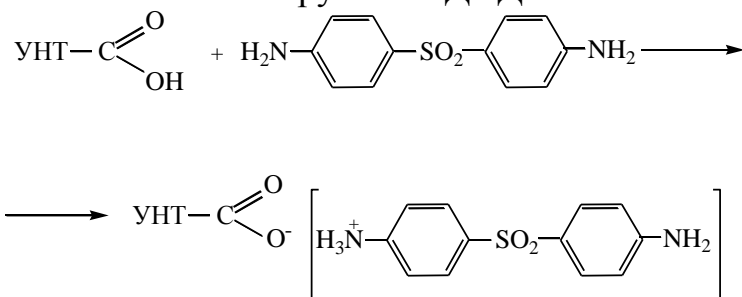
Исследовано вторичные превращения окисленных УНТ при реакции диаминодифенилсульфоном (ДАДФС). Для этого карбоксилированные УНТ «Таунит-М» (0,6 ммоль СООН-групп на 1 г УНТ) и 4,4'-диаминодифенилсульфона (ДАДФС) диспергировали в ацетоне с помощью ультразвука. Полученную смесь пропускали через фильтр. Отфильтрованный



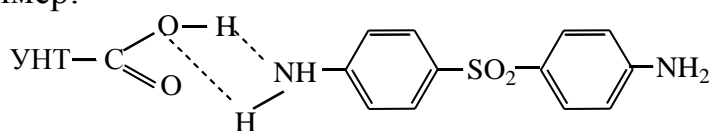
материал высушивали на воздухе при 50-56<sup>0</sup>С, а затем нагревали выдерживали при 120, 140 и 180<sup>0</sup>С в течение 1 часа.

Между карбоксилированными УНТ и ДАДФС возможно следующие типы взаимодействий:

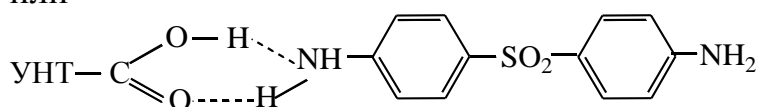
1) кислотно-основное взаимодействие между карбоксильными группами УНТ и аминогруппами ДАДФС



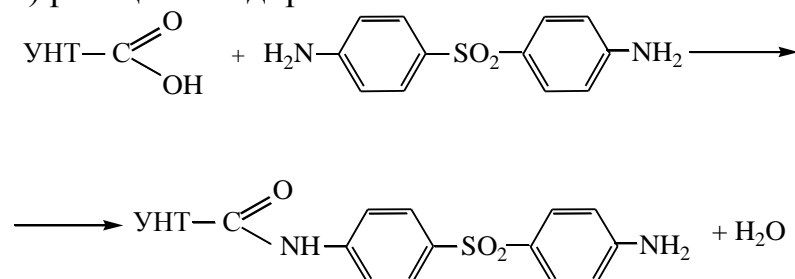
Структура продуктов этого взаимодействия может быть различной, например:



или



2) реакция амидирования



Кислотно-основное взаимодействие также возможно благодаря кислотным свойствам карбоксильных групп и основным свойствам аминогрупп. Однако карбоксилированные УНТ являются очень слабыми кислотами, а ДАДФС, являясь ароматическим амином, проявляет очень слабые основные свойства. Поэтому такое взаимодействие может быть в некоторой степени затруднено. Образование амида маловероятно из-за слабых нуклеофильных свойств ДАДФС. Продукты кислотно-основного взаимодействия и реакции амидирования могут быть идентифицированы по наличию характерных пиков на ИК-спектрах (рис. 2). Все проанализированные материалы в своем составе имеют алкильные группы, являющиеся остатками молекул углеводородов, используемых при CVD-синтезе углеродных нанотрубок (2850-2860 и 2920-2930 см<sup>-1</sup>). Также все материалы содержат карбонильные и гидроксильные группы, что в совокупности указывает на наличие поверхностных карбоксильных групп.

Взаимодействие карбоксилированных УНТ с ДАДФС не сопровождается кардинальными изменениями ИК-спектра. На нем появляются очень малоинтенсивные пики, соответствующие C-N-валентным колебаниям ( $1638 \text{ см}^{-1}$ ) и колебаниям пара-дизамещенных ароматических циклов ( $646\text{-}648 \text{ см}^{-1}$ ), к которым относится ДАДФС. Т.е. возможно образование небольшого количества химических связей. Скорее всего, в данном случае реализуются все возможные варианты кислотно-основного взаимодействия. При нагревании ф\_МУНТ с ДАДФС происходит увеличение интенсивности указанных пиков, а также появляются дополнительные линии, подтверждающие наличие связей C-N ( $1385 \text{ см}^{-1}$ ) и арил-SO<sub>2</sub>-арил ( $1339 \text{ см}^{-1}$ ). Можно предполагать, что реакция амидирования карбоксилированных УНТ с ДАДФС при температуре порядка  $180^\circ$  возможна.

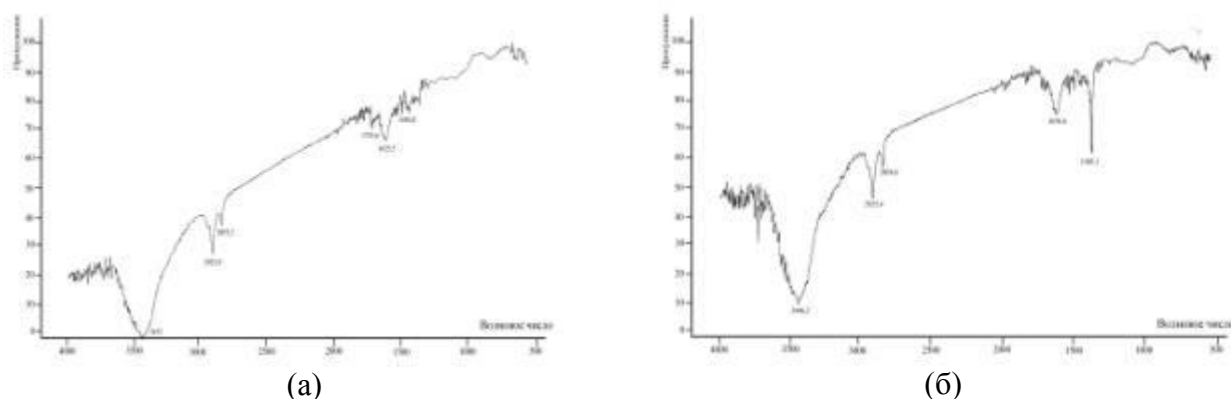
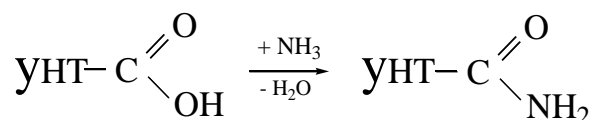


Рисунок 2. ИК спектры предварительно окисленных и прореагировавших с ДАДФС УНТ «Таунит-М», термообработанных при температурах  $120$  (а) и  $180$  °С (б).

Амидированию в парах аммиака подвергались также карбоксилированные УНТ «Таунит-МД». Протекающая в данном случае реакция



подтверждается данными ИК-спектра (рис. 3.), на котором отсутствует полоса поглощения, соответствующая наличию гидроксильной группы, но появляются пики, характерные для связей C-N ( $1286$  и  $1125 \text{ см}^{-1}$ ) и N-H ( $1464$  и  $742 \text{ см}^{-1}$ ).

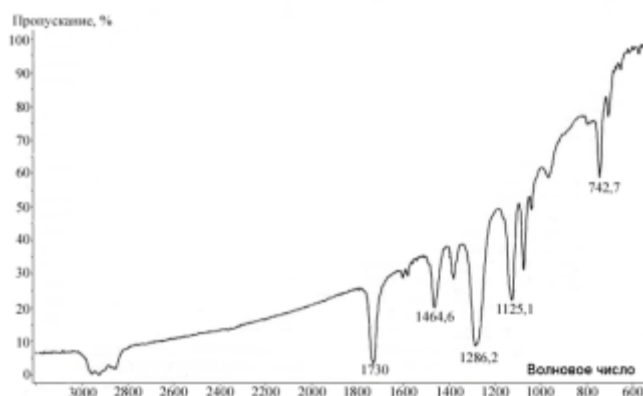


Рисунок 3. ИК-спектр амидированных УНТ «Таунит-МД»

По предварительным данным вторично функционализированные УНТ лучше распределяются в эпоксидных матрицах, чем карбоксилированные. Их применение также дает больший эффект для улучшения механических свойств композиционных материалов.

## МЕТОДЫ АНАЛИЗА НАНОРАЗМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Конкина В.В., Паршикова М.В., Пучкова Д.И., Шубин И.Н.  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего и профессионального образования «Тамбовский государственный  
технический университет»*

Наноразмерные материалы (углеродные нанотрубки и нановолокна, силикагели, цеолиты, и т.д.) в настоящее время являются все более востребованными во многих отраслях современной промышленности. Это связано как с их уникальными свойствами, так и с все более расширяющимся кругом задач, для выполнения которых они необходимы. В связи с этим на первое место при производстве и применении выходят точные данные о физико-химических характеристиках используемых наноматериалов: размеры пор, удельная поверхность, сорбционная емкость и т.д. Среди наиболее перспективных отраслей применения наноматериалов можно выделить следующие: создание аккумуляторов водорода, разработка новых сорбентов органических веществ для систем жизнеобеспечения, решение широкого круга экологических задач.

Свойства наноразмерных материалов во многом зависят от размера создающих их частиц. Поэтому гранулометрический анализ (измерение распределений по размерам частиц в дисперсных средах) является одной из важнейших составляющих современных производств и научных разработок.

На кафедре «Техника и технологии производства нанопродуктов» для измерения весового распределения наноструктур по размерам применяется лазерный анализатор частиц «Микросайзер С». Принцип действия анализатора основан на фокусировке излучения лазера с помощью линзовой системы в плоскости детектора. Сходящийся пучок лучей пропускается через плоскопараллельную кювету с образцом (приготовленная суспензия), расположенную на некотором расстоянии от детектора. При наличии в кювете суспензии наблюдается рассеяние света. Индикатриса рассеяния (угловая зависимость интенсивности рассеянного излучения) определяется размером твердых частиц. Измерение угла рассеяния и последующее решение интегрального уравнения позволяет найти распределение по размерам частиц.

Определяемое в ходе эксперимента значение индикатрисы рассеяния получается в результате усреднения отсчетов, снимаемых каждые 40 мс за время эксперимента (15 – 60 с). Все частицы исследуемой суспензии проходят через световой пучок несколько раз, благодаря чему полученные данные содержат достаточно полную информацию о распределении частиц по размерам.

Результаты анализа, представляющие собой зависимость массовой (весовой) доли частиц  $P_i$  от их диаметра  $D$ , выводятся в форме графика, таблиц или гистограммы (рис. 1).

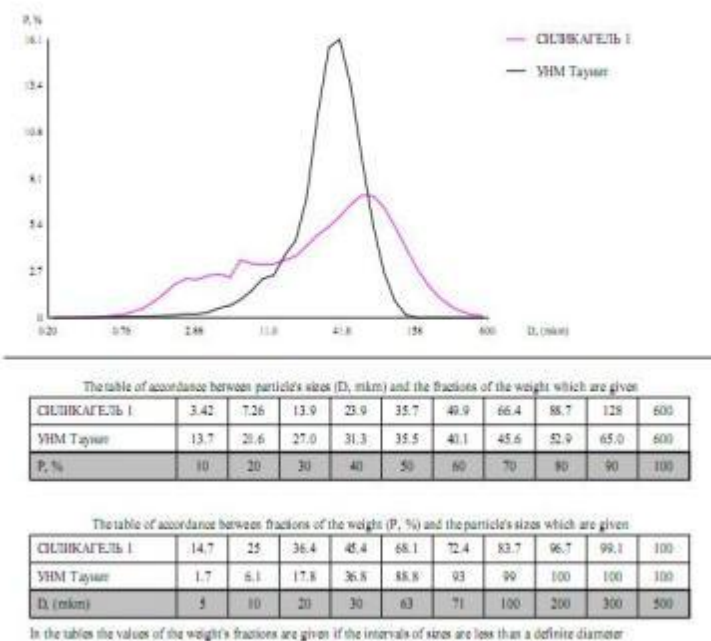


Рисунок 1. Пример вывода результатов анализа образцов в виде графика и таблиц.

Наряду с вышеуказанным способом для анализа структур исследуемого образца также используются методы электронной микроскопии. Электронная микроскопия — совокупность электронно-зондовых методов исследования микроструктуры твердых тел, их локального состава и микрополей (электрических, магнитных и др.) с помощью электронных микроскопов - приборов, в которых для получения увеличения изображений используют электронный пучок. Различают два главных направления электронной микроскопии: трансмиссионную (просвечивающую) и растровую (сканирующую). Они дают качественно различную информацию об объекте исследования и часто применяются совместно. Рассмотрим их применительно к исследованию углеродного наноматериала «Таунит».

*Просвечивающая электронная микроскопия.* Основным инструментом просвечивающей электронной микроскопии является просвечивающий электронный микроскоп. Просвечивающий электронный микроскоп (ПЭМ) — это установка, в которой изображение от ультратонкого объекта формируется в результате взаимодействия пучка электронов с веществом образца с последующим увеличением магнитными линзами и регистрацией на флуоресцентном экране. Для регистрации изображения возможно использование сенсоров, например, ПЗС-матрицы.

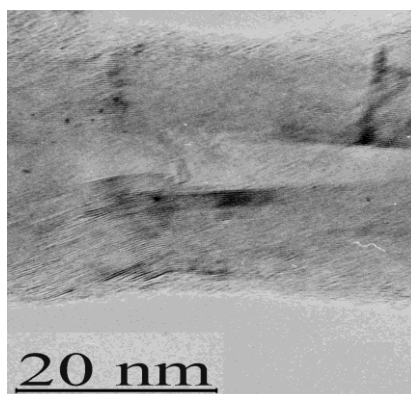


Рисунок 2. Просвечивающая электронная микроскопия. Изображение УНМ «Таунит» получено на просвечивающем электронном микроскопе JEM 200СХ, расположенном в Федеральном государственном учреждении «Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных материалов», г. Троицк.

*Растровая электронная микроскопия (РЭМ).* Этот метод основан на зондировании поверхности изучаемого образца электронным зондом. Основная область применения РЭМа - анализ рельефа поверхности, в особенности изломов (фактография). Преимущества РЭМ по сравнению с другими микроскопами здесь наиболее заметны. В связи с тем, что изображение обычно формируется с помощью вторичных электронов, зона выхода которых ограничена малой областью вокруг места падения зонда, достигается высокая разрешающая способность. Это позволяет исследовать мельчайшие детали рельефа поверхности. РЭМ обеспечивает также большую резкость в сочетании с наглядностью изображения. Это дает возможность исследовать объекты с сильно развитой поверхностью.

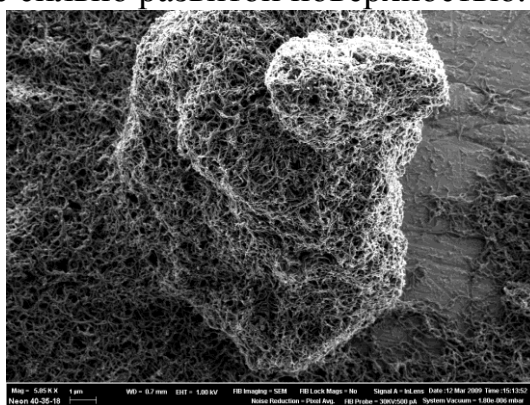


Рисунок 3. Сканирующая электронная микроскопия. Изображение УНМ «Таунит» получено на сканирующем электронном микроскопе Neon 40, расположенном в НОЦ «Нанотехнологии и наноматериалы» ТГУ им. Г.Р. Державина, г. Тамбов.

Применяемые методы диагностики позволяют определить гранулометрический состав и структуру исследуемого материала, что является важнейшим этапом исследований, как характеристики так и последующего использования наноразмерного материала.

# МОДИФИЦИРОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ОРГАНОТИТАТАМИ

*Мележик А.В., Хохлов П.А., Ткачев А.Г.  
Тамбовский государственный технический университет*

При создании композиционных материалов, содержащих углеродные нанотрубки (УНТ), возникает проблема распределения УНТ в различных средах (органических растворителях, полимерах). Для введения УНТ в полярные среды (вода, полярные органические растворители, полярные полимеры) хорошие результаты дает жидкофазное или газофазное окисление нанотрубок различными реагентами [1-4]. Обеспечение совместимости УНТ с неполярными органическими растворителями и неполярными полимерами требует более сложных, зачастую многостадийных методов функционализации. В работе [5] показано, что продукты реакции тетраалкилтитанатов с жирными кислотами являются хорошими диспергаторами для технического углерода (сажи) в керосине. Данные о диспергирующем эффекте различных олигомерных алкилтитанатов, содержащих остатки жирных кислот, для различных видов углеродных материалов (сажа, графит), имеются также в работе [6]. Данных о применении органотитанатов для обработки углеродных нанотрубок в литературе нет.

Целью настоящей работы является изучение возможности модифицирования углеродных нанотрубок органотитанатами, содержащими остаток стеариновой кислоты, путем их прививки к карбоксильным группам окисленных углеродных нанотрубок.

В настоящей работе нами были исследованы два метода модифицирования углеродных нанотрубок (УНТ) Таунит-М и Таунит:

1) стеарат-замещенным бутилтитанатом в толуольном растворе для Таунита-М;

2) осаждение стеарата титана на УНТ Таунит из водного раствора.

Как показали проведенные эксперименты, неокисленные УНТ плохо поддаются модифицированию указанными методами. Поэтому исходные УНТ функционализировали путем окисления персульфатом аммония в водном аммиачном растворе (для УНТ Таунит-М) или водным раствором гипохлорита натрия в присутствии карбоната натрия (для УНТ Таунит). Для получения бутилтитаната, замещенного остатками стеариновой кислоты, к раствору технического тетрабутилтитаната (ТБТ) в толуоле прибавляли стеариновую кислоту из расчета (1 моль/моль титана) и смесь выдерживали сутки при комнатной температуре. Получался стеарин-бутилтитанат (СБТ), который использовали для модифицирования окисленных УНТ Таунит-М без дополнительной очистки. Обработку углеродных нанотрубок раствором СБТ проводили в толуоле одновременно с обработкой ультразвуком, при этом обеспечивали изоляцию реакционной смеси от доступа влаги воздуха. Под

действием ультразвука происходило нагревание реакционной смеси до 60-80°C, что способствовало пришивке молекул СБТ к карбоксильным группам на поверхности нанотрубок.

Для осаждения на поверхность окисленных УНТ Таунитстеарата титана из водного раствора к водной дисперсии окисленных УНТ Таунит добавляли раствор стеарататриэаноламина и водный раствор триэаноламин-титаната. Благодаря наличию сильного основания – триэаноламина – раствор имел щелочную реакцию и осаждения стеарата титана не происходило. Однако, как показали проведенные нами эксперименты, при понижении рН до 5-6 в данной системе происходила коагуляция стеарата титана, который оседал на поверхности окисленных нанотрубок. Далее осадок модифицированных нанотрубок отфильтровывали, промывали водой и высушивали при 100°C.

Полученные УНТ, модифицированные как тем, так и другим методом, хорошо диспергировались в толуоле при действии ультразвука, причем, получались стабильные прозрачные дисперсии, что свидетельствует об отсутствии агломератов. В то же время исходные УНТ, как окисленные, так и не окисленные, плохо диспергируются в толуоле, образуют крупные хлопья и выпадают в осадок. Проведенные эксперименты показали также, что при обработке органотитанатами не окисленных УНТ их диспергируемость в толуоле ухудшается, образуются более крупные агломераты, которые быстрее выпадают в осадок.

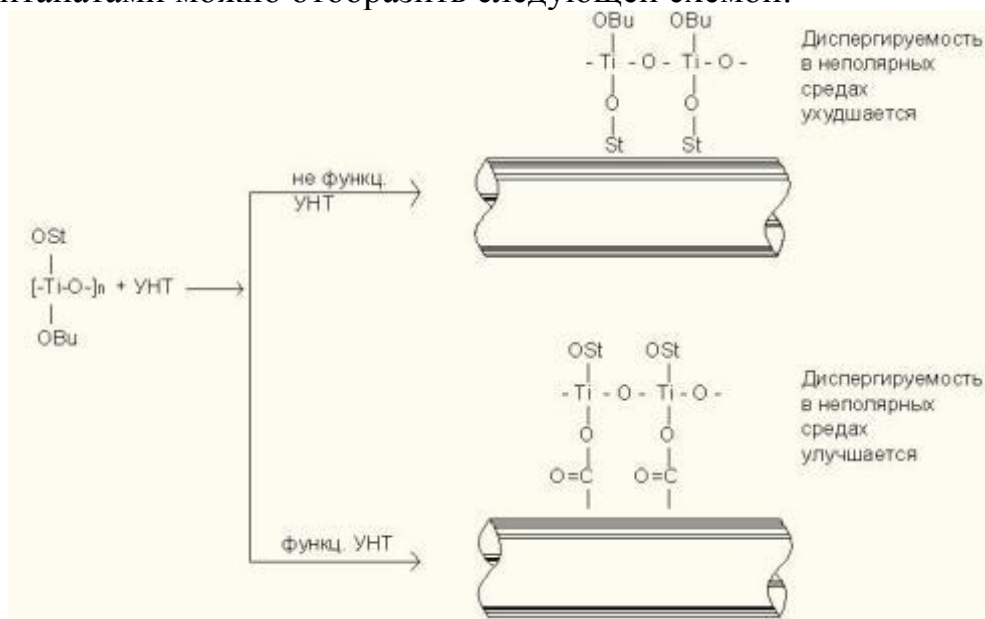
Таблица 1.

Вид УНТ	Среда	К, л/г.см
Таунит-М окисленный и не окисленный	Толуол	Не диспергируются (крупные хлопья)
Таунит-М окисленный модифицированный стеарато-бутил-титанатом в толуоле	Толуол	41,6 стабильный прозрачный раствор
Таунит-М окисленный	ДМАА	53,3 стабильный прозрачный раствор
Таунит окисленный и не окисленный	Толуол	Не диспергируются (крупные хлопья)
Таунитоокисленный модифицированный стеаратом титана из водного раствора	Толуол	32,6 стабильный прозрачный раствор
Таунит окисленный	ДМАА	34,1 стабильный прозрачный раствор

Для количественного контроля диспергируемости УНТ в толуоле применяли фотометрический метод. Навеску концентрированной толуольной дисперсии или сухих модифицированных УНТ разбавляли толуолом (ЧДА) и измеряли оптическую плотность на длине волны 500 нм с помощью

фотоэлектрического колориметра КФК-3. Исходя из оптической плотности растворов нанотрубок и зная их концентрацию в г/л, рассчитывали коэффициенты светопоглощения (K) в л/г.см. Найденные величины K для толуольных дисперсий сравнивали с данными для дисперсий в диметилацетамиде (ДМАА), в котором окисленные нанотрубки диспергируются максимально полно. В таблице приведены величины K при 500 нм для различных систем, рассчитанные на массу чистых нанотрубок.

Модифицирование окисленных углеродных нанотрубок органотитанатами можно отобразить следующей схемой:



#### Список используемых источников

1. Schierz A., Zanker H. Aqueous suspensions of carbon nanotubes: Surface oxidation, colloidal stability and uranium sorption. *Environmental Pollution*, 2009, vol.157 - p.1088-1094.
2. Lee G.-W., Jagannathan S., Chae H.G., Minus M.L., Kumar S. Carbon nanotube dispersion and exfoliation in polypropylene and structure and properties of the resulting composites. *Polymer*, 2008, vol.49 – p.1831-1840.
3. Wang Z., Liu Q., Zhu H., Liu H., Chen Y., Yang M. Dispersing multi-walled carbon nanotubes with water-soluble block copolymers and their use as supports for metal nanoparticles. *Carbon*, 2007, vol.45 – p.285-292.
4. Shieh Y.-T., Liu G.-L., Wu H.-H., Lee C.-C. Effects of polarity and pH on the solubility of acid-treated carbon nanotubes in different media. *Carbon*, 2007, vol.45 – p.1880-1890.
5. United States Patent 2621193, Cl. 260-414. Polymeric titanium compounds/Langkammerer C.M.; assignor E. I. du Pont de Nemours and Company - №170,703; filed June 27, 1950; published December 9, 1952.
6. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology (4<sup>th</sup> Edition); vol. 24, 538 p.



# ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПА6 И ТЕТРАТИТАНАТА КАЛИЯ

*Трофимов М.Ю., Левкина Н.Л., Устинова Т.П., Лурье Е.А.*  
*Энгельсский технологический институт Саратовского государственного*  
*технического университета им. Ю.А. Гагарина*  
*[xt@techn.sstu.ru](mailto:xt@techn.sstu.ru)*

В настоящее время широкое применение в качестве термопластичного связующего для разработки полимерных композиционных материалов технического назначения получили полиамиды, в частности, полиамид 6. Благодаря ценному комплексу потребительских свойств – высокой прочности, эластичности, устойчивости к истиранию. Однако применение полиамидов как конструкционных материалов, например, в узлах трения ограничено из-за их низкой твёрдости, повышенного коэффициента термического расширения, нестабильности размеров. Одним из путей устранения недостатков является наполнение полиамидов. К числу перспективных наполнителей ПКМ относятся субмикроразмерные наполнители - полититанаты калия, обеспечивающие повышение эксплуатационных свойств композитов.

Полититанаты [1,2], с общей химической формулой  $K_2O \cdot nTiO_2$ , полидисперсны и имеют размер частиц от 1 до 500 мкм, по толщине они наноразмерны (до 40 нм). Величина  $n$  определяет эксплуатационные свойства титанатов и направления их применения. Титанаты калия с  $n = 6-8$  имеют туннельную волокнистую структуру и характеризуются высокими прочностными свойствами, химически стойки, хорошие диэлектрики. Титанаты калия с  $n = 2-4$  формируют слоистую структуру и используются в качестве наполнителей, сорбционных материалов, в производстве высокопрочной керамики, антифрикционных материалов.

Наполнение полиамида 6 проводили традиционным способом (путем совмещения гранулята полимера с наполнителем), а также введением тетратитаната калия на стадии синтеза полимерной матрицы (путем совмещения наполнителя с наноразмерным мономером – капролактамом).

Метод полимеризационного наполнения получил весьма широкое распространение при получении дисперсно- и волокнонаполненного поликапроамида. При полимеризационном наполнении синтез соответствующего мономера проводят непосредственно на поверхности наполнителя, активированной комплексным катализатором. Каждая частица наполнителя покрывается пленкой полимера, толщину которой можно регулировать в процессе синтеза. В результате повышается равномерность распределения наполнителя в материале и существенно облегчается процесс совмещения компонентов.

Метод полимеризационного наполнения позволяет значительно сократить стадийность процесса по сравнению с традиционной технологией, уменьшить экологическую напряженность, обеспечивает получение высоконаполненных материалов с повышенным комплексом свойств.

В работе проводили сравнительный анализ эффективности применения ТТК как в виде малых добавок, так и в виде наполнителя при синтезе модифицированного ПА-6 по технологическим и физико-механическим свойствам.

Экспериментальные данные по оценке технологических свойств модифицированного на стадии синтеза ПА-6 представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Технологические свойства модифицированных на стадии синтеза ПА-6

Содержание ТТК, % от массы КЛ	ММ	Кн	$C_{\text{нмс}}, \%$	$T_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$	ПТР, г/10 мин
-	7500	0,15	1,4	215-225	38
0,25	20000	0,22	1,2	221-227	47
0,5	20200	0,25	1,2	220-238	63
10	21300	0,14	1,1	220-230	56
20	18600	0,15	2,7	223-240	29

Из приведенных данных видно, что лучшими технологическими свойствами характеризуется ПА-6, содержащий 0,25% и 10% ТТК. Выбранные составы отличаются наибольшей молекулярной массой (20200 и 21300 соответственно) при повышенной текучести расплава (увеличение ПТР на 66 и 47% соответственно).

Сравнение основных физико-механических показателей модифицированного на стадии синтеза ТТК полиамида 6 (табл. 2) свидетельствует, что модификация и в том и в другом случае, как и следовало ожидать, обеспечивает повышение твердости и теплостойкости материала.

Однако наполнение более эффективно по сравнению с введением модифицирующей добавки, т.к. у ПА-6, содержащего 10% ТТК, твердость увеличивается более, чем на 35% против 20% при содержании ТТК 0,25%, а теплостойкость возрастает на 23<sup>0</sup>С в то время как у полимера, содержащего 0,25% ТТК, увеличение не превышает 8<sup>0</sup>С.

На следующем этапе проводили сравнение свойств полимеризационнонаполненного ПА-6 с ПА-6, наполненным по традиционной технологии.

Сравнительный анализ свойств наполненного различными способами ПА 6 (рис.1) свидетельствует о том, что введение ТТК в обоих случаях обеспечивает повышение основных физико-механических характеристик композита.

Таблица 2

Анализ физико-механических свойств ПА-6,  
модифицированного на стадии синтеза ТТК

Полимер	Плотность Кг/м <sup>3</sup>	Разрушающее напряжение при сжатии, МПа	Δ, %	Твердость по Бринеллю, МПа	Δ, %	Теплостойкость по Вика °С	Δ, %
ПА-6 пром.*	1130	85-100	-	140-150	-	-	-
ПА-6+0,25 ТТК	1044	62	0,015	137	19,8	202	8
ПА-6 лб.**	1073	63		106		194	
ПА-6+10 ТТК	1057	70	11	87	35,9	203	23
ПА-6 лб.**	1092	63		64		180	

\* Справочные данные.

\*\* ПА-6 синтезирован из капролактама разных производителей.

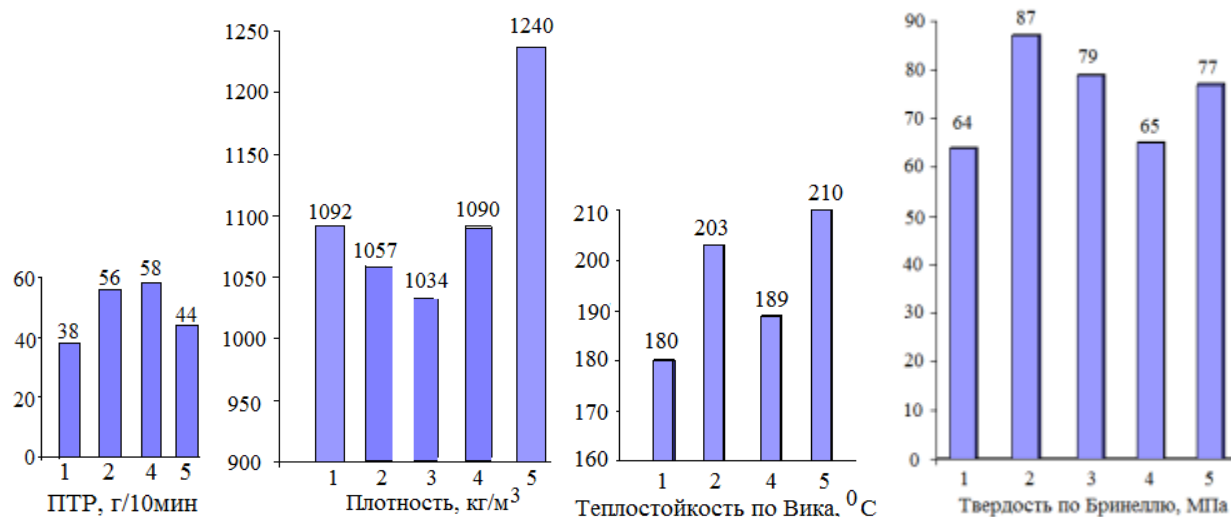


Рисунок 1. Физико-механические свойства наполненного ПА 6: 1 – ПА 6 ненаполненный; 2 – ПА 6 + 10% ТТК (на стадии синтеза); 3 – ПА 6 (гранулят) + 10% ТТК; 4 - ПА 6 + 1% ТТК (на стадии синтеза); 5 - ПА 6 (гранулят) + 1% ТТК

Таким образом, подтверждается перспективность использования в качестве наполнителя полиамида 6 полититанатов калия, представляющих собой субмикроразмерные частицы. Их введение в полимерную матрицу обеспечивает повышение основных физико-механических показателей композиционного материала.

#### Список используемых источников

1. Способы получения кристаллических титанатов калия. Патент № 236609 от 10.09.2009 г. Гороховский А.В., Олифиренко В.Н., Палагин А.И., Панова Л.Г., Бурмистров И.Н.

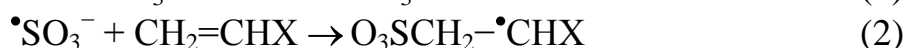
2. Наноразмерные материалы – прекурсоры в синтезекерамических композитов. Гороховский А.В., Фернандез-Фуэнтес А., Панова Л.Г. Сборник тезисов докладов. Т 1., М.: Роснано. 2008. с 717-718.

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОКИСЛЕНИЯ ГИДРОСУЛЬФИТА НАТРИЯ В ПРИСУТСТВИИ ДИОКСИДА МАРГАНЦА И НЕПРЕДЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В БИСЕРНОЙ МЕЛЬНИЦЕ\*

Агеева Е.В., Сотникова Д.А., Трифонова Е.Г.  
Юго-Западный государственный университет, Курск  
[ageeva-ev@yandex.ru](mailto:ageeva-ev@yandex.ru)

Жидкофазное окисление сульфита и гидросульфита натрия используется при получении эмульгирующих и жирующих составов в процессах сопряженного с ним сульфирования непредельных компонентов жиров, растительных масел и их смесей [1-3].

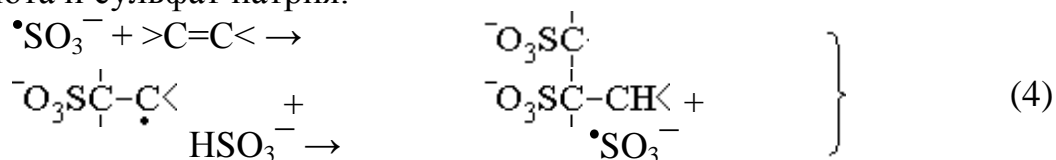
В соответствии со схемой Караша свободнорадикальное присоединение сульфита к непредельным соединениям можно записать так (ОХ - окислитель) [4]



В работе [5] приведены схемы взаимодействия гидросульфита и диоксида марганца, последний при этом выступает в качестве мягкого окислителя гидросульфит-аниона



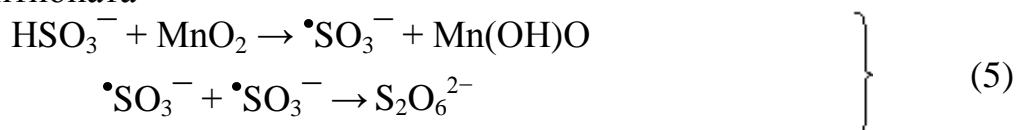
В присутствии непредельных соединений далее может развиваться цепное расхождение  $\text{HSO}_3^-$  (4), основными продуктами которого является сульфокислота и сульфат натрия.



и т.д.

Схема (4), это один из вариантов взаимодействия  $\bullet\text{SO}_3^-$  - радикала, приводящего к образованию алкильного радикала, который по своей реакционной способности гораздо более активный в сравнении с пероксидным радикалом, и способен довольно легко разрывать Н-О – связь в анионе  $\text{HSO}_3^-$ .

Со схемой (4) может конкурировать и радикальный вариант образования дитионата



Следовательно, соотношение в продуктах Na-соли сульфокислоты, сульфата и дитионата натрия может характеризовать конкурирующие

способности (4) и (5) в выбранных условиях проведения процесса. При этом вполне ясно, что протекание процесса по схеме цепного превращения (4) должно существенно увеличить скорость расходования гидросульфита натрия, что хорошо подтверждается на практике (рисунок 1).

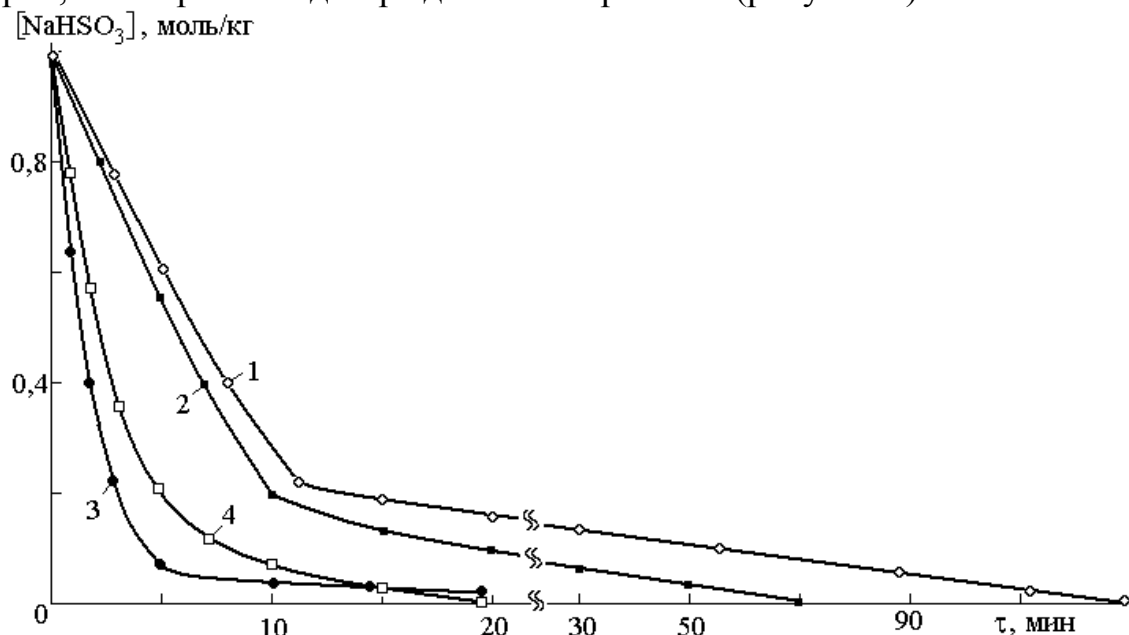
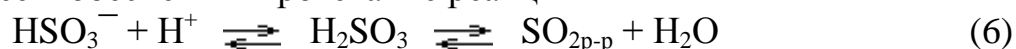
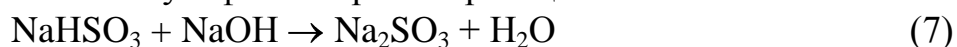


Рисунок 1. Кинетические кривые расходования гидросульфита натрия в присутствии диоксида марганца в количестве 0,4 моль/кг в отсутствие барботажного воздуха (1, 2) и с барботажом воздуха (3, 4) без добавок непредельных соединений (1) и в присутствии 0,5 моль/кг частично нейтрализованной до pH ~ 6 малеиновой кислоты (2,3) и 0,9 моль/кг олеиновой кислоты в виде 50%-ного раствора в изопропиловом спирте (4)

В качестве модели и объекта сравнения на рис. 1 был выбран вариант с довольно большим начальным содержанием  $MnO_2$ , т.е. когда схема (5) реализуется не только в значимой, но и в доминирующей степени. Хорошо видно, что присутствие непредельных соединений способствует существенному ускорению расходования гидросульфита натрия, особенно при использовании барботажного воздуха. При этом определенное значение играет и природа используемого непредельного соединения. Непредельный компонент не должен существенно влиять на pH реакционной смеси в отношении базового процесса, как в сторону увеличения, так и в сторону сильного уменьшения. Малеиновая кислота сильная по первой ступени. Ввод больших количеств ее в реакционную смесь вполне мог снизить pH до  $2^{\text{х}}$  и несколько менее и обеспечить протекание реакции



Полная натриевая соль малеиновой кислоты в результате гидролиза способна увести pH реакционной смеси в щелочную область, и как следствие предопределить появление сульфата натрия по реакции



Поэтому пришлось использовать частично нейтрализованный раствор малеиновой кислоты до pH ~ 6.

Чтобы уйти от солей был использован в качестве непредельного соединения малеиновый ангидрид. В этом случае расходование

гидросульфита натрия протекало чрезвычайно быстро даже в отсутствие добавок диоксида марганца и барботажа воздуха. Дальнейшие исследования показали, что гидросульфит натрия легко (даже в режиме обычного титрования) реагирует с карбонильными группами ангидрида, при этом стехиометрический коэффициент при гидросульфите натрия достигает 4. Замена малеинового ангидрида во взаимодействии с гидросульфитом натрия на янтарный и далее на уксусный привела к аналогичным результатам.

Примерное соотношение дитионата, сульфокислоты и сульфата в конечных реакционных смесях представленных на рис. 1 опытов колебалось от 5:4:1 (вариант 2) до 1:1:1 (вариант 3). Это свидетельствует о том, что схемы (4) и (5) могут быть не только конкурентоспособными, но и приводить к довольно близким вкладам в рассматриваемое расходование гидросульфита натрия.

Из сказанного выше следует, что присутствие непредельных соединений в реакционной смеси способно значимо увеличить скорость цепного расходования гидросульфита натрия, связанного с присоединением  $\cdot\text{SO}_3^-$  - радикала по двойной связи. Вместе с тем, периодический вариант проведения такого процесса оказывается все-таки довольно медленным, требует обязательного использования инициатора, работающего без участия пероксидов, текущие концентрации которых чрезвычайно малы, а также имеет ограниченный диапазон варьирования соотношений  $[\text{HSO}_3^-]_0$  и  $[\text{>C=C<}]_0$ , а именно  $[\text{>C=C<}]_0 / [\text{HSO}_3^-]_0 \leq 1$ .

#### Список используемых источников

1. Иванов, И.А. Реакции сульфита натрия в процессе получения жирующих из оксидатов растительных масел и жиров [Текст]/ И.А. Иванов, О.С. Бобринева, В.М. Жмыхов, А.М. Иванов // Кожевенно-обувная промышленность. – М.: ТОО "Арина". – 2004. – №1. – С. 40-42.
2. Способ получения сульфированных оксидатов растительных масел, жиров и их смесей // А.М. Иванов, В.М. Жмыхов, И.А. Иванов. Пат. РФ №2263665 МКИ7 C07C 309/62, C09F 7/02, C14C 9/02. БИ 2005, № 31.
3. Жмыхов, В.М. Некоторые подходы к управлению взаимодействием непредельных соединений с сульфитом-гидросульфитом натрия в водноорганических средах. Автореф. дис... канд. хим. наук. Курск: Курск. гос. техн. ун-т, 2004.
4. Долгоплоск, Б.А. Окислительно-восстановительные системы как источник свободных радикалов [Текст]/ Б.А. Долгоплоск, Е.И. Тинякова. – М.: Наука. –1972. – 240с.
5. Иванов, А.М. Диоксид марганца как мягкий окислитель и катализатор окисления сульфита и гидросульфита натрия воздухом [Текст]/ А.М. Иванов, С.Д. Пожидаева, Е.В. Агеева, А.Е. Ковалёва // Известия Курск ГТУ. – Курск.–2006. – № 2 (17). – С.72-78.

*\*Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы, государственный контракт № 16.740.11.0603 от 30.05.2011 г.*

# РАЗРАБОТКА ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВОГО ПЛАСТИНЧАТОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА

*Родионов Ю.В., Талыков В.А.*

*Кафедра «Теория машин, механизмов и детали машин», ТГТУ*

Вакуумные насосы, работающие при давлениях всасывания до 0,1 кПа используют в пищевой, фармацевтической, текстильной, металлургической, химической и других отраслях промышленности, а также в сельском хозяйстве.

Наиболее просты в работе жидкостнокольцевые вакуумные насосы (ЖВН), так как они не требуют маслонасосов и специальных систем смазки, все зазоры уплотняются рабочей жидкостью. Однако, их основными недостатками являются низкий вакуум, что существенно снижает область применения, и низкий КПД, который определяется большими затратами мощности и снижением быстроты действия.

Сокращение значения удельной мощности возможно за счет:

- уменьшения мощности сжатия при работе на начальных режимах вакуумирования, когда работа насоса имитирует воздухоудовку, при этом нет необходимости работы второй ступени;
- уменьшения мощности трения жидкости о корпус, устранением градиента скорости по сечению кольца;
- уменьшения общей мощности на вращение жидкостного кольца, сокращением массового расхода рабочей жидкости.

Жидкостнокольцевой пластинчатый вакуум-насос (ЖПВН) представляет собой объединение двух насосов. Первая ступень – жидкостнокольцевой вакуумный насос, в котором жидкость необходима для уплотнения торцевых зазоров и отвода тепла сжатия газовой фазы. Подача рабочей жидкости организована в месте непосредственного уплотнения торцевых зазоров. Вторая ступень представляет собой пластинчатый вакуум-насос, что существенно снижает затраты мощности на вращение жидкостного кольца. Применение такой конструкции обеспечивает улучшение технико-эксплуатационных характеристик по сравнению с классическим жидкостнокольцевым насосом.

На кафедре «ТММ и ДМ» ФГБОУ ВПО ТГТУ разработан жидкостно-пластинчатый вакуумный насос (ЖПВН) (рисунок 1.1) который имеет достоинства ЖВН (изотермичность сжатия, незагрязненность газа смазкой), а также обладает улучшенными характеристиками (глубокий вакуум, меньшие массу и габариты, повышенное значение КПД, меньшие затраты рабочей жидкости).

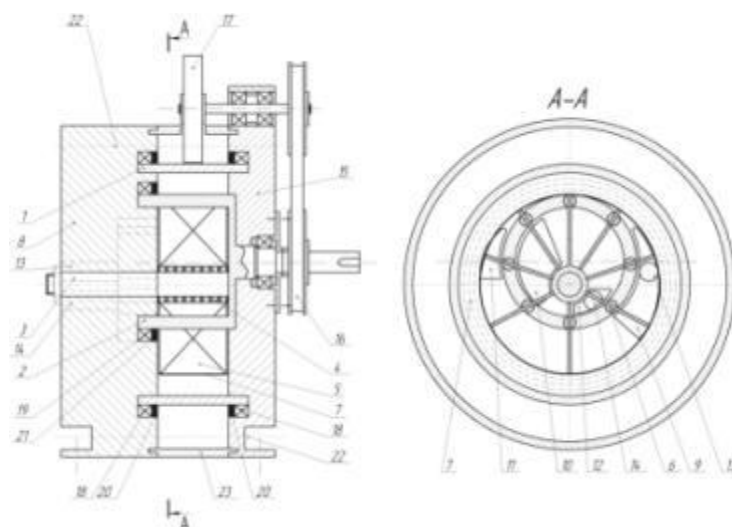


Рисунок 1. Принципиальная схема жидкостно-пластинчатого вакуумного насоса.

1 – корпус первой ступени; 2 – корпус второй ступени; 3 - вал неподвижный; 4, 20, 21 -уплотнители; 5 - лопатки; 6 - уплотнители шарнирные; 7 – оболочка гибкая; 8 - крышка торцовая; 9,10 - окна всасывающие; 11,12 - окна нагнетательные; 13 – патрубок всасывающий; 14 – патрубок нагнетательный; 15 - крышка; 16 - передача клиноременная; 17 - передача фрикционная; 18,19 подшипники; 22 - шпилька; 23 – кожух.

Предложенная конструкция представляет объединение двух насосов на одной длине, т.е. используется объем ступицы рабочего колеса. Первая ступень жидкостнокольцевая, в которой жидкость необходима для уплотнения торцовых зазоров и отвода тепла сжатия газовой фазы, что существенно снижает затраты мощности на вращение жидкостного кольца. Подача рабочей жидкости организована в месте непосредственного уплотнения торцовых зазоров. Вторая ступень представляет пластинчатый вакуум-насос.

Двухступенчатый ЖПВН (см. рис. 1), содержит корпуса 1 - первой и установленный с эксцентриситетом относительно него 2 - второй ступеней, неподвижный вал 3 и рабочее колесо. Рабочее колесо состоит из уплотнителей 4 и подвижно установленных на валу лопаток 5, проходящих с помощью шарнирных уплотнений 6 через корпус второй ступени и снабженных эластичной кольцевой оболочкой 7. Торцовая крышка 8 содержит всасывающие 9, 10 и нагнетательные 11, 12 окна, подающий 13 и выхлопной 14 трубопроводы. Боковая крышка 15 соединена с торцовой крышкой 8 посредством шпилек 22. На приводном валу корпуса второй ступени смонтирована клиноременная передача 16 и фрикционная передача 17. Корпуса первой и второй ступеней установлены в торцовых крышках с помощью подшипников 18, 19 и уплотнений 20, 21, крышки стянуты шпильками 22, пространство между торцовыми крышками закрыто кожухом 23.

Работа насоса организована по последовательной схеме включения с возможностью использования только первой ступени на начальных этапах вакуумирования (рис. 2), что снижает удельную мощность в этом диапазоне, и включением второй ступени для достижения более глубокого вакуума.



Установка гибкой стенки изменяет площадь поверхности испарения, существенно уменьшая количество испарившейся жидкости, что позволяет повысить предельный вакуум, достигаемый данным насосом.

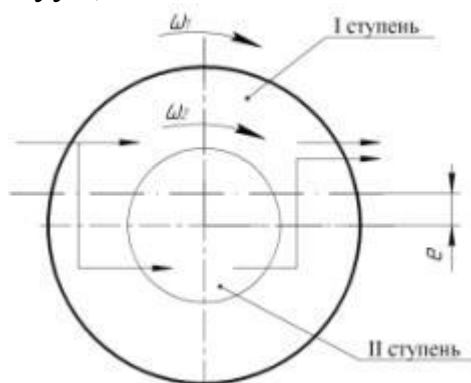


Рисунок 2. Схема организации последовательности процесса вакуумирования.

Ориентировочный расчет уменьшения удельной мощности дает 25% выигрыш практически на всех режимах работы насоса.

Улучшение массогабаритных характеристик в конечном итоге приводит к снижению стоимости насоса и удешевляет процесс вакуумирования.

#### Список используемых источников

1. Родионов, Ю.В. Влияние конфигурации жидкостного кольца на рабочие параметры жидкостнокольцевого вакуумного насоса / Ю.В. Родионов, Ю.В. Воробьев, Д.В. Никитин, И.В. Шлыкова // Вестник ТГТУ. – Тамбов, 2006. Т. 12. №1А. – С.129-136.
2. Родионов, Ю.В. Обзор теоретических и экспериментальных исследований жидкостнокольцевых вакуум-насосов / Ю.В. Родионов, Ю.В. Воробьев // Фундаментальные и прикладные исследования, инновационные технологии профессиональное образование: Сб. науч. статей. – Тамбов, 2006. – С. 71-76.
3. Родионов, Ю.В. Уравнение конфигурации жидкостного кольца для жидкостнокольцевых вакуум-насосов / Ю.В. Родионов, Д.В. Никитин, А.В. Волков // Глобальный научный потенциал: Сб. науч. статей. – Тамбов, 2005. – С. 81-83.
4. Тетерюков, В.И. Ротационные вакуумные насосы и компрессоры с жидкостным поршнем /В.И. Тетерюков. – М.: Машиностроение, 1960. – 251с.
5. Фролов, Е.С. Вакуумная техника / Е.С. Фролов, В.Е. Минайчев, А.Т. Александрова. – М.: Машиностроение, 1985. – 339с.

# СИНТЕЗ ПОЛИСТИРОЛА МЕТОДОМ РАДИКАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ С ОБРАТИМОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ЦЕПИ: МЕХАНИЗМ ПРОЦЕССА, МОЛЕКУЛЯРНО-МАССОВЫЕ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРА

*Ахметчин Э.С., Калинина Д.Ш., Опаркин А.В.,  
Широких Е.Б., Перухин Ю.В., Улитин Н.В.*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования «Казанский  
национальный исследовательский технологический университет»,  
[dina-rik@bk.ru](mailto:dina-rik@bk.ru)*

Полистирол является одним из самых крупнотоннажных полимеров, производимых в мире. Однако, полистирол, получаемый промышленными методами, не всегда удовлетворяет предъявляемым к нему требованиям по молекулярной массе и коэффициенту полидисперсности. Проблема регулирования молекулярно-массовых характеристик (ММХ) и свойств полистирола может быть решена за счет использования для синтеза псевдоживой радикальной полимеризации, протекающей по механизму обратимой передачи цепи в присутствии тритиокарбонатов (ОПЦ-полимеризация, или RAFT – reversible addition-fragmentation chain transfer). Однако, моделирование ОПЦ-полимеризации стирола в рамках системного рассмотрения взаимосвязанных процессов теплообмена и химического превращения осуществлено не было. Поэтому, целью исследования стало математическое моделирование ОПЦ-полимеризации стирола, протекающей в реакторе смешения в присутствии дибензилтритиокарбоната (ДБТК), который был выбран в качестве агента обратимой передачи цепи.

В механизм полимеризации были включены все известные к настоящему времени стадии: вещественное иницирование (инициатор – 2,2'-азо-бис-изобутиронитрил, или АИБН) [1], термическое иницирование [1], рост цепи [1], передача цепи на мономер [1], ОПЦ [2], квадратичный обрыв радикалов [1, 2], перекрестный обрыв радикалов и интермедиатов [2]. Данный механизм был реализован в системе дифференциальных уравнений, описывающей мгновенные скорости изменения концентраций всех компонентов. Из этой системы методом производящих функций была получена система относительно статистических моментов ММР полистирола. Температурные зависимости кинетических констант либо принимались по литературным данным [1-4], либо восстанавливались по эмпирическим данным при изучении кинетики методом микрокалориметрии с привлечением к обработке эксперимента модели скорости ОПЦ-полимеризации [5]. Сопоставлением прогнозируемых и экспериментальных данных показано, что разработанный формализм описывает ММХ полистирола, полученного при различных температурах и конверсиях

мономера, с адекватностью 90%. Исследование влияния управляющих факторов на ММХ полистирола проводили в рамках численного эксперимента в интервале начальных концентраций АИБН 0-0.1 моль/л, стирол 4.35-8.7 моль/л, ДБТК 0.001-0.1 моль/л, температур 60-150°C.

В общем случае при прочих равных условиях с повышением начальной концентрации АИБН среднечисловая молекулярная масса ( $M_n$ ) полистирола уменьшается. При всех используемых начальных концентрациях ДБТК наблюдается линейный или близкий к линейному рост  $M_n$  полистирола с конверсией мономера. При высоких начальных концентрациях ДБТК (0.1 моль/л) изменение начальной концентрации АИБН практически не оказывает никакого влияния на  $M_n$  полистирола. Однако при повышенных температурах ( $>100^\circ\text{C}$ ), в случае если высокая начальная концентрация АИБН (0.1 моль/л) сопоставима с высокой начальной концентрацией ДБТК (0.1 моль/л), то за счет термоинициирования  $M_n$  полистирола будет несколько понижаться.

Т.к. основными продуктами процесса ОПЦ-полимеризации стирола является узкодисперсный высокомолекулярный ОПЦ-агент и широкодисперсный (минимальный коэффициент полидисперсности (PD) – 1.5) полимер, образующийся по реакции квадратичного обрыва радикалов, то общий PD синтезируемого продукта определяется их соотношением. В общем случае с увеличением начальной концентрации АИБН доля широкодисперсного полимера в смеси увеличивается, соответственно, повышается общий PD синтезируемого продукта. Однако при повышенных температурах ( $>100^\circ\text{C}$ ) эта закономерность может нарушаться – при низких начальных концентрациях ДБТК (0.001 моль/л) увеличение начальной концентрации АИБН приводит к понижению PD. Это может быть связано только с тем, что существенную роль при высоких температурах играет термоинициирование.

При повышенных температурах в результате проведения ОПЦ-полимеризации стирола без инициатора образуется более высокомолекулярный и более узкодисперсный полистирол, чем в присутствии инициатора.

При прочих равных условиях уменьшение начальной концентрации стирола понижает  $M_n$ . PD практически не зависит от начальной концентрации мономера. При прочих равных условиях увеличение начальной концентрации ДБТК понижает  $M_n$  и PD полистирола.

В общем случае при прочих равных условиях повышение температуры приводит к понижению  $M_n$  полистирола. При этом PD увеличивается. Если начальная концентрация ДБТК значительно (0.1 моль/л) превышает начальную концентрацию АИБН (0.001 моль/л), то температура практически не оказывает влияния на ММХ полистирола.

Моделирование диэлектрической проницаемости осуществлялось инкрементальным методом [6]. При сопоставлении результатов расчетов различных инкрементальных схем с экспериментальными данными установлено, что свойства такой сложной полимерной системы могут быть

оценены, если ее компоненты считать частями сополимера. Входящие в полученные уравнения зависимости температуры стеклования и коэффициентов теплового расширения полистирола от его ММХ восстанавливались по имеющимся экспериментальным данным на основании формул Флори [7] и Ван Кревелена [8]. В рамках численного эксперимента (варьирование значений управляющих факторов осуществлялось в тех же пределах, что и при изучении ММХ) показано, что при прочих равных условиях повышение концентрации АИБН, уменьшение концентрации мономера, увеличение концентрации ДБТК и повышение температуры полимеризации приводит к уменьшению диэлектрической проницаемости (2.69-2.57).

Таким образом, что разработанное математическое описание может применяться при разработке промышленных способов получения узкодисперсного полистирола RAFT-полимеризацией с использованием тритиокарбонатов. Разработанный формализм может быть использован при подборе полистирольных матриц, обладающих требуемыми значениями ММХ и диэлектрической проницаемости, к промежуточным слоям радиопрозрачных стеклопластиков.

#### Список используемых источников

1. Kuzub, L.I. The kinetics of nonisothermal polymerization of styrene / L.I. Kuzub, N.I. Peregudov, V.I. Irzhak // *Polymer Science*. – 2005. – V. 47(A), No. 10. – P. 1063-1071.
2. Черникова, Е.В. Контролируемая радикальная полимеризация стирола и н-бутилакрилата в присутствии тритиокарбонатов / Е.В. Черникова, П.С. Терпугова, Е.С. Гарина, В.Б. Голубев // *ВМС*. – 2007. – Т. 49(A), № 2. – С. 208-221.
3. Li, D. Penultimate propagation kinetics of butyl methacrylate, butyl acrylate and styrene terpolymerization / D. Li, R.A. Hutchinson // *Macromol. Rapid Commun.* – 2007. – V. 28, No. 11. – P. 1213-1218.
4. Hui, A.W. Thermal polymerization of styrene at high conversions and temperatures. An experimental study / A.W. Hui, A.E. Hamielec // *J. Appl. Polym. Sci.* – 1972. – V. 16. – P. 749-769.
5. Kwak, Y. Rate retardation in reversible addition-fragmentation chain transfer (RAFT) polymerization: further evidence for cross-termination producing 3-arm star chain / Y. Kwak, A. Goto, T. Fukuda // *Macromolecules*. – 2004. – V. 37, No. 4. – P. 1219-1225.
6. Аскадский, А.А. Компьютерное материаловедение полимеров. Т.1. Атомно-молекулярный уровень / А.А. Аскадский, В.И. Кондращенко. – М.: Научный мир, 1999. – 544 с.
7. Fox, T.G. Second-order transition temperatures and related properties of polystyrene. I. Influence of molecular weight / T.G. Fox, P.J. Flory // *J. Appl. Phys.* – 1950. – V. 21, No. 6. – P. 581-592.
8. Van Krevelen, D.W. Properties of polymers / D.W. Van Krevelen. – third edition. – Amsterdam: Elsevier, 1990. – 875 p.

# УДАЛЕНИЕ ВОДОРАСТВОРИМЫХ СОЛЕЙ ИЗ ТОНКОДИСПЕРСТНЫХ СТРУКТУР ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

*Чижигов А. Г. Труфанов Д.Н.*

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»*

В связи с жесткой конкурентной борьбой на мировом рынке производства пигментов и красителей актуальной становится задача получения органических продуктов, обладающих определенным набором характеристик качества, таких как: колористическая концентрация, характеризующая красящую способность пигмента; цвет; интенсивность; укрывистость, то есть способность при окраске изделия закрывать грунт на который наносят краску, так, чтобы грунт не просвечивал сквозь слой краски и т.д.

Производство азокрасителей, обладающих высокими показателями указанных характеристик качества, осуществляется путем двух последовательных химических реакций: диазотирования и азосочетания (сочетания). Однако, необходимо брать во внимание тот факт, что в процессе синтеза азокрасителей образуются различные примеси и побочные продукты, которые влияют на качество азокрасителей. Их можно разделить на примеси, растворимые в жидкой фазе суспензии (водорастворимые примеси – органические и неорганические), и примеси, нерастворимые в жидкой фазе суспензии (твердые примеси – органические и неорганические). Побочными продуктами, как правило, являются соли (сульфат или хлорид натрия) и кислоты (соляная, серная кислота). Так как водорастворимые примеси являются побочными продуктами и негативно влияют на качество пигментов, то они подлежат удалению.

В связи с выше сказанным задачей научно-исследовательской работы является изучение способов удаления водорастворимых солей из тонкодисперстных структур органических веществ. Объектом исследования является процесс удаления примесей из пигмента оранжевого Ж, который выступает в качестве предмета исследования.

Все многообразие методов удаления водорастворимых примесей из паст можно подразделить на следующие группы:

– методы удаления примесей из осадков без разрушения их структуры (путем вымывания примесей промывной жидкостью в слое сформированном на разделительной перегородке);

– методы удаления примесей из осадков с разрушением их структуры (путем смешивания (суспензирования) его с промывной жидкостью).

Перечисленные методы удаления водорастворимых примесей из паст и суспензий органических пигментов, связанные с использованием промывной жидкости, такие как: промывка паст целевого вещества на разделительной перегородке или в специальных противоточных промывных колоннах; репульсионная промывка, осуществляемая в одну или несколько стадий, имеют ряд недостатков:

- значительные объемы промывной жидкости;
- использование специального оборудования и, следовательно, дополнительных производственных площадей, обслуживания и капитальных затрат;
- ограниченные возможности по организации замкнутых циклов по промывной жидкости (воде).

Различные модификации перечисленных методов позволяют частично устранить некоторые недостатки, так: использование подогретой промывной жидкости или пара позволяет эффективнее удалять водорастворимые примеси, но при этом увеличиваются потери целевого вещества; использование противотока при репульпационной промывке увеличивают эффективность отмывки, но требуют больших объемов промывных вод.

Метод промывки осадков азопигментов с использованием металлов и их оксидов в наноструктурированном виде позволяет снизить воздействие негативных факторов и обеспечить получение пигмента оранжевого Ж с требуемыми характеристиками качества и сократить потребление воды и энергоресурсов.

Результаты исследования по отмывке примесей из осадка пигмента оранжевого Ж, показали, что на поверхности частиц органического вещества формируется слой сорбированных ионов хлорида натрия и соляной кислоты. На рисунке 1 видно, что частицы пигмента объединяются в агломераты, т.е. совокупность частиц, прочно удерживаемых между собой. Вокруг агломератов образуется двойной электрический слой, состоящий из органического вещества – иона натрия или водорода. Природа сил сорбции хлорида натрия формирующихся на поверхности частиц органического вещества электрокинетическая.

Согласно теории Штерна, слой расположен на незначительном удалении от поверхности частицы органического вещества [3], при этом связь потенциалопределяющих ионов (адсорбционный слой) с их поверхностью имеет двойственную природу электростатическую и адсорбционную. Для уравнивания отрицательно заряженных ионов вокруг частицы органического вещества располагаются положительно заряженные ионы (слой противоионов) и далее диффузионный слой содержащий как положительные так и отрицательно заряженные ионы.



Рисунок 1. Пигмент оранжевый Ж при 1000-кратном увеличении: 1 – хлорид натрия; 2 – пигмент оранжевый Ж.

По результатам научно-исследовательской работы было выявлено, что с использованием металлов и их оксидов в наноструктурированном виде в промывной жидкости получается более чистый осадок пигмента оранжевого Ж. Это объясняется тем, что образующаяся ионная связь с металлами и их оксидами оказывается выше по значениям чем величина связи ионов натрия и хлора с частицами пигмента.

#### Список используемых источников

1. Повышение эффективности удаления водорастворимых примесей из паст азопигментов / М.А. Колмакова, Н.В. Воякина, А.А. Дегтярев, В.С. Орехов // Труды ТГТУ: сб. науч. ст. молодых ученых и студентов. – 2008. – Вып. 21. – С. 29 – 32.
2. Малиновская Т.А., Каринский И.А., Кирсанов О.С. Разделение суспензий в промышленности органического синтеза.-М.:Химия, 1983. -264с.
3. Захарченко В.Н. Коллоидная химия. – 2-е изд., перераб. - М.: Высшая школа. 1989г. – 237с.

## **РАДИКАЛЬНАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ БУТИЛАКРИЛАТА С ОБРАТИМОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ЦЕПИ ПО МЕХАНИЗМУ ПРИСОЕДИНЕНИЯ-ФРАГМЕНТАЦИИ: ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ СИНТЕЗА**

*Калинина Д.Ш., Улитин Н.В., Самарин Е.В., Дебердеев Т.Р.  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования «Казанский национальный  
исследовательский технологический университет», [dina-rik@bk.ru](mailto:dina-rik@bk.ru)*

Развитие современной синтетической химии полимеров идет по пути разработки новых высокоэффективных способов получения узкодисперсных полимеров с заданными молекулярно-массовыми характеристиками (ММХ). Одним из прикладных примеров при этом является полимерное оптическое волокно (ПОВ), со стремительным ростом потребления которого возрастают и требования к материалу. Задача повышения скорости передачи информации с помощью ПОВ стимулирует исследования в области создания нового поколения узкодисперсных линейно-разветвленных полимеров, способных предельно снизить искажение фазы и амплитуды электромагнитного излучения за счет низкой диэлектрической проницаемости. Поэтому цель работы – моделирование RAFT-полимеризации (от англ. «reversible addition-fragmentation chain transfer») бутилакрилата, протекающей в присутствии дибензилтретиокарбоната (ДБТК), который был выбран в качестве агента обратимой передачи цепи, и приводящей к получению узкодисперсного линейно-разветвленного полимера с регулируемой диэлектрической проницаемостью. Полибутилакрилат как объект исследования был выбран на основании его достаточно частого использования в виде матрицы ПОВ.

Кинетическая модель полимеризации была составлена в виде балансных дифференциальных уравнений по каждому компоненту, а затем приведена к статистическим моментам ММР методом производящих функций. В кинетическую схему включались все известные к настоящему времени стадии: вещественное инициирование (инициатор – 2,2'-азобис(изобутиронитрил), или АИБН), рост цепи, передача цепи на мономер, обратимая передача цепи, квадратичный обрыв радикалов, перекрестный обрыв радикалов и интермедиатов, квадратичный обрыв интермедиатов. Кинетические константы элементарных реакций обратимой передачи цепи были получены за счет теоретического и экспериментального изучения кинетики. Кинетическая модель воспроизводит ММХ ПБа, полученного при различных температурах и при различных конверсиях мономера, с адекватностью 85%.

Исследование влияния управляющих факторов на ММХ полибутилакрилата, синтезируемого методом ОПЦ-полимеризации, проводили в рамках численного эксперимента с использованием разработанного структурно-кинетического модуля в интервале начальных концентраций АИБН 0.001-0.1 моль/л, Ба 3.5-7.0 моль/л, ДБТК 0.001-0.1 моль/л, температур 60-90°C.

В случае низких начальных концентраций ДБТК (0.001 моль/л) при прочих равных условиях с повышением начальной концентрации АИБН  $M_n$  полибутилакрилата уменьшается. Если же начальная концентрация ДБТК значительна (0.01, 0.1 моль/л), то повышение начальной концентрации АИБН не сказывается на  $M_n$  полибутилакрилата.

В случае низких начальных концентраций ДБТК (0.001 моль/л) увеличение начальной концентрации АИБН повышает РД полибутилакрилата – доля широкодисперсного продукта квадратичного обрыва макрорадикалов по отношению к доле высокомолекулярного ОПЦ-агента выше. При высоких начальных концентрациях ДБТК (0.01, 0.1 моль/л) увеличение начальной концентрации АИБН практически не оказывает влияния на величину коэффициента РД полибутилакрилата. В этих случаях доля узкодисперсного высокомолекулярного ОПЦ-агента значительно превышает долю широкодисперсного полимера, образующегося по реакции квадратичного обрыва макрорадикалов, – в конечном итоге общий РД становится равным меньше 1.5.

В случае низких начальных концентраций АИБН и ДБТК (0.001 моль/л) при прочих равных условиях повышение температуры приводит к понижению  $M_n$  и увеличению РД полибутилакрилата. В случае повышенных начальных концентраций ДБТК (0.01, 0.1 моль/л) независимо от начальных концентраций АИБН и Ба температура полимеризации не оказывает влияния на ММХ полибутилакрилата.

Прогностический модуль, описывающий связь структурных параметров полимера с его диэлектрической проницаемостью (и свойствами ее определяющими – температурой стеклования и коэффициентами теплового расширения), создавался на основе двух разных подходов: инкрементального и полуэмпирического. Прогностический модуль, созданный с использованием чисто инкрементального подхода, имеет достаточно большое суммарное расхождение с экспериментальными данными. Это обстоятельство, скорее



всего, обусловлено неполным учетом межмолекулярного взаимодействия. Прогностический модуль, созданный с использованием полуэмпирического подхода, адекватно воспроизводит экспериментальные данные, поэтому количественная оценка влияния начальных концентраций инициатора, мономера, агента обратимой передачи цепи, температуры полимеризации на величину температуры стеклования, коэффициентов теплового расширения и диэлектрической проницаемости полибутилакрилата проводилась в рамках этого прогностического модуля. При прочих равных условиях увеличение начальной концентрации АИБН, уменьшение начальной концентрации бутилакрилата, увеличение начальной концентрации ДБТК приводит к понижению среднечисловой молекулярной массы полибутилакрилата, как следствие, к уменьшению температуры его структурного стеклования, уменьшению молярной поляризации и уменьшению диэлектрической проницаемости (2.70-2.53). Особенностью является то, что диэлектрическая проницаемость бутилакрилата не реагирует на изменение температуры полимеризации. Адекватность модели подтверждена на примере оценки диэлектрической проницаемости при 25°C и составила 84%. В итоге было исследовано влияние тех же управляющих факторов на величину диэлектрической проницаемости при 25°C.

Результатом исследования стала теория управления синтезом, структурой и поляризацией бутилакрилата, синтезируемого радикальной псевдоживой полимеризацией протекающей в присутствии третиокарбонатов по механизму обратимой передачи цепи. Можно полагать, что предложенная модель как программный комплекс, работающий в режиме советчика, составит фундаментальную часть автоматизированной системы управления технологическим процессом производства ПОВ.

## **ВТОРИЧНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ПОЛИОЛЕФИНОВ (ПЭНП, ПЭВП, ПП)**

***Комбарова Н.А., Ряшенцева Ю.И., Макеев П.В.  
ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»***

Рынок промышленных изделий из пластмасс является быстроразвивающимся, среднегодовые темпы роста потребления изделий производственного назначения составляют 12%. Основной объем потребляемых в России изделий производственного назначения приходится на изделия из ПП, ПС, ПВД и ПНД, что обусловлено качественными характеристиками и свойствами этих полимеров. В связи с продолжающимся вытеснением традиционных материалов полимерными и тенденцией значительного увеличения спроса на пластмассовые изделия со стороны различных производств, потребление изделий производственного назначения будет расти, что влечет за собой образование огромного количества отходов. Учитывая специфические свойства полимерных материалов – они не подвергаются разложению, коррозии, проблема их утилизации носит, прежде всего, экологический характер.

Однако в настоящее время проблема переработки отходов полимерных материалов обретает актуальное значение не только с позиций охраны окружающей среды, но и связана с тем, что в условиях дефицита полимерного сырья пластмассовые отходы становятся мощным сырьевым и энергетическим ресурсом.

В настоящее время существуют следующие пути полезного использования вторичного полимерного сырья:

- сжигание с целью получения энергии;
- термическое разложение (пиролиз, деструкция, разложение до исходных мономеров и др.);
- вторичная переработка.

Сжигание отходов в мусоросжигательных печах не является рентабельным способом утилизации. При сжигании происходит безвозвратная потеря ценного химического сырья и загрязнение окружающей среды вредными веществами дымовых газов.

Значительное место в утилизации вторичного полимерного сырья уделяется термическому разложению как способу преобразования ВПС в низкомолекулярные соединения.

Повторное применение предполагает возвращение в производственный цикл использованной упаковки после ее сбора и соответствующей обработки (мойки, сушки и др. операций), а также получения разрешения санитарных органов на ее повторное применение при непосредственном контакте с пищевыми продуктами.

Использование вторичных ресурсов зачастую требует меньших затрат, чем получение и применение кондиционного сырья для аналогичных целей. Определённый интерес представляет использование отходов в сочетании с другими материалами в производстве малоответственных изделий, не требующих высоких физико-механических показателей, но отличающихся достаточной устойчивостью к воздействию внешних факторов. Для эффективной переработки полимеров и придания им необходимых свойств их подвергают модификации. Модификация полимеров представляет собой один из путей физико-химических превращений высокомолекулярных соединений, который наряду с полимеризацией и поликонденсацией используется для получения новых полимеров. Химическая модификация полимеров представляет собой процесс, в котором исходный полимер подвергается физическим или химическим воздействиям, в результате чего он превращается в новый полимер иного химического строения [2].

Учитывая достоинства и недостатки существующих методов на кафедре «ПП и УП» был разработан валково-шнековый агрегат (рис.1), который позволяет модифицировать вторичное сырье с целью получения улучшенных характеристик вторичного сырья для последующего его использования в производстве.

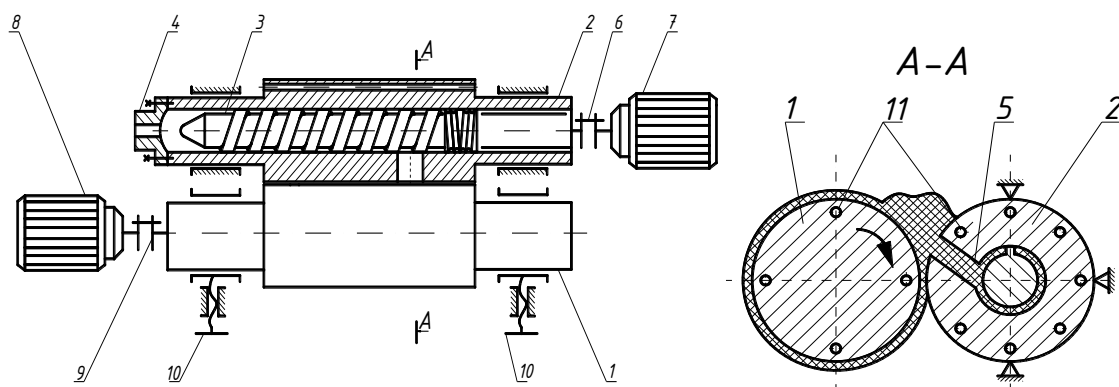


Рисунок 1. Валково-шнековый агрегат: 1-передний валок; 2-задний неподвижный валок; 3-шнек; 4- формирующая головка; 5- загрузочное окно; 6,9- муфта; 7,8-мотор-редуктора; 10 - регулирующее устройство; 11- электронагреватели.

Изменяя конструкцию формирующего элемента, мы можем получать на валково-шнековом агрегате гранулят, а так же различные длинномерные изделия заданного качества. Проведенные экспериментальные исследования показали, что эффективность данного метода переработки осуществляется с минимальными затратами по сравнению с существующими способами.

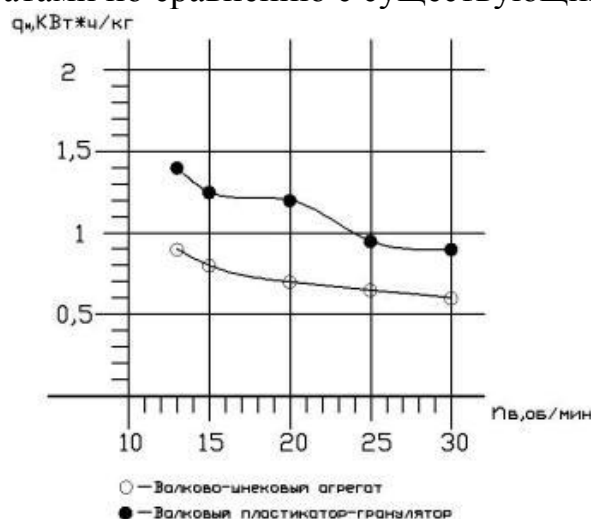


Рисунок 2. Зависимость удельной мощности  $q_n$  затрачиваемой на производство 1 кг продукции от частоты вращения вала  $n_b$

#### Список используемых источников

1. Клинков, А.С. Автоматизированное проектирование валковых машин для переработки полимерных материалов: монография / А.С. Клинков, М.В. Соколов, В.И. Кочетов, П.С. Беляев, В.Г. Однолько. – М. : Машиностроение-1, 2005. – 320 с.
2. М.В. Соколов, А.С. Клинков, П.С. Беляев, В.Г. Однолько. Проектирование экструзионных машин с учетом качества резинотехнических изделий / М. Машиностроение-1, 2007 – 292 с.
3. Пат. РФ 2417881 RU С2 В29В 7/64. Валково-шнековый агрегат / А.С. Клинков, П.В. Макеев, М.В. Соколов, Д.Л. Полушкин, В.Г. Однолько: Тамб. Гос. Техн. Ун-т. - № 2009100295/05; заявл. 11.01.2009; опубл. 20.07.2010, Бюл. № 20.

# СИНТЕЗ УЛЬТРАМИКРОДИСПЕРСНОГО ПОРОШКА ОКСИДА НИКЕЛЯ – ПУТЬ СНИЖЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ПРОИЗВОДСТВА УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ\*

*Никифорова Е.Ю., Образцов Д.В.*

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»,  
[nikif83@mail.ru](mailto:nikif83@mail.ru)*

Необходимость снижения экологической нагрузки химических производств привело к быстрому росту научного, промышленного, а также коммерческого интереса к применению электрохимических технологий синтеза различных органических и неорганических соединений. В настоящее время большой интерес представляет производство ультрамикродисперсных порошков оксида никеля, которые, используются в каталитическом синтезе углеродных наноматериалов в качестве предкурсора никелевого катализатора.

Существующие распространенные способы получения ультрамикродисперсного порошка оксида никеля – золь-гель метод, метод «мокрого» сжигания отличаются применением различных токсичных химических реагентов, а также большим количеством выбросов в атмосферу поллютантов, создающих экологические проблемы при промышленной реализации. Недостатки рассмотренных методов требуют разработки способа синтеза ультрамикродисперсных порошков оксидов металлов с целью организации производства углеродных наноматериалов пиролизом углеводородов с меньшей экологической нагрузкой. Этим требованиям отвечает электрохимический синтез на переменном синусоидальном токе, который осуществляется также без применения дорогостоящего оборудования и реактивов.

Для электрохимического получения ультрамикродисперсного порошка оксида никеля из никелевых электродов в щелочном растворе нами была использована методика, описанная в [1].

Пропускание переменного синусоидального тока через никелевые электроды в щелочном растворе, приводит к их интенсивному разрушению и образованию ультрамикродисперсного порошка оксида никеля.

Электронно-микроскопические исследования показали, что частицы прекурсора никелевого катализатора представляют собой относительно плоские образования с размерами частиц и агломератов от 10 до 500 нм.

Рентгенофазовый анализ порошков оксида никеля, высушенных при температуре 373 К показал, что порошок оксида никеля рентгеноаморфный. Результаты РФА анализа позволяют констатировать, что при 573 К наблюдается начало кристаллизации рентгеноаморфных образцов. На рентгенограммах обнаружены рефлексы соответствующие межплоскостным расстояниям 0,242; 0,207; 0,1474; 0,1259 нм, по совокупности которых

прокалённые образцы можно идентифицировать как оксид никеля (II). При повышении температуры обработки до 873 К частицы приобретают более правильные формы, происходит кристаллизация порошков. Рассчитанный по формуле Селякова-Шеррера средний размер частиц для порошков оксида никеля, прокалённых при температуре 573 и 873 К, составляет 6 и 37 нм соответственно.

Нами были проведены эксперименты по пиролитическому синтезу углеродных наноструктур с использованием ультрамикродисперсного порошка оксида никеля полученного электролизом. Полученный углеродный наноматериал представляет собой конгломераты из нанотрубок диаметром от 10 до 80 нм.

Установленные нами эффективные условия проведения препаративного электрохимического синтеза с учётом данных электронной микроскопии, рентгеноструктурных исследований легли в основу технологической схемы производства ультрамикродисперсного порошка оксида никеля. Следует отметить, что стадия отмывки целевого продукта является наиболее трудоемкой операцией в схеме получения порошка оксида никеля. При традиционном способе отмывки от электролита необходимо на 1 дм<sup>3</sup> геля 100 дм<sup>3</sup> воды. Для снижения этого показателя были проведены исследования, в результате которых было установлено, что нейтрализация щелочи на первом этапе промывки раствором уксусной кислоты ведет к образованию крупных хлопьев ацетата натрия и уменьшению количества воды для отмывки оксида никеля от раствора электролита. Сначала полученная суспензия отстаивалась в течении суток, затем разделялась методом декантации. Щёлочь, после контроля её концентрации использовалась в рецикле в качестве электролита. Захваченный осадком оксида никеля раствор щёлочи нейтрализуется 80 %-ной уксусной кислотой. Образовавшийся в результате реакции раствор ацетата натрия отфильтровывается легче, чем раствор концентрированной щелочи и время отмывки снижается на 50 % по сравнению с используемой в настоящее время технологией. При этом на отмывку 1 дм<sup>3</sup> геля расходуется до 50 дм<sup>3</sup> воды, что в целом уменьшает объём промывной воды на 50 %. Такой метод отделения порошка оксида никеля от реакционного раствора не приводит к изменению физико-химических характеристик целевого продукта. Полученный в результате нейтрализации раствор ацетата натрия направляется на электродиализ. Таким образом, в технологической схеме синтеза ультрамикродисперсного порошка оксида никеля практически исключены отходы производства.

В таблице приведены сравнительные данные о расходе реагентов и образующихся отходах в методах электрохимического синтеза и «мокрого сжигания».

Экономическая эффективность разработанного процесса обеспечивается уменьшением себестоимости продукта на 30 %, что составляет 195,2 тыс. руб. в год (в ценах 2010 года) по сравнению с существующим традиционным способом, получения катализатора методом

«мокрого» сжигания и значительным снижением затрат на утилизацию отходов производства.

Таблица 1.

Расход реагентов и количество отходов на получение 1 кг предкурсора никелевого катализатора

Наименование сырья (электрохимический синтез)	Норма расхода кг	Наименование сырья (метод «мокрого сжигания»)	Норма расхода, кг	Способ	
				электрохимический синтез	метод «мокрого сжигания»
Гидроксид натрия NaOH*	2	Глицин NH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH	2,40	нет	360 дм <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>
Никель Ni	0,59	Нитрат магния Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O	0,48		1672 дм <sup>3</sup> CO <sub>2</sub>
Уксусная кислота CH <sub>3</sub> COOH*	0,1	Нитрат никеля Ni(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O	3,60		

\*Гидроксид натрия и уксусная кислота используются в рецикле

**Выводы:** Таким образом, разработанный нами способ и технологическая схема синтеза ультрамикродисперсного порошка оксида никеля на переменном синусоидальном токе позволяет снизить экологическую нагрузку производства углеродных наноматериалов каталитическим пиролизом углеводородов, за счёт исключения выброса в атмосферу лютоантов и уменьшения себестоимости целевого продукта на 30 %, по сравнению с существующим традиционным способом получения катализатора методом «мокрого» сжигания и значительным снижением затрат на утилизацию отходов производства.

#### Список используемых источников

1. Килимник, А.Б. Влияние частоты переменного синусоидального тока на скорость разрушения никелевого электрода // А.Б. Килимник, Е.Ю. Никифорова // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2011. – № 5. – С. 109 – 113.

*\*Работа проведена в рамках реализации аналитической ведомственной целевой программы ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы (ГК № П 1146, ГК № 14.740.11.0376) и при финансовой поддержке гранта РФФИ № 12-08-90818-мол\_рф\_нр.*

# СОВРЕМЕННЫЕ ДОБАВКИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПОЛИМЕРОВ

*Шишкина М.Ю., Забавников М.В.*

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский Государственный Технический Университет»,  
Тамбов, [shera373@rambler.ru](mailto:shera373@rambler.ru)*

Проблема придания синтетическим полимерным материалам, широко используемых в промышленности, свойства биоразлагаемости в последние десятилетия приобрела наибольшую актуальность.

В результате анализа способов придания биоразлагаемости синтетическим полимерам было выделено три направления:

1) введение в макромолекулы синтетических полимеров функциональных групп, способствующие ускоренному разложению полимера;

2) получение композиций полимеров с биоразлагаемыми природными добавками методом физического совмещения (смешения), способными в определенной степени инициировать распад матрицы синтетического полимера;

3) направленный синтез биоразлагаемых пластических масс на основе промышленно освоенных синтетических продуктов (полиэфиров, полиэфирамидов) [1].

Материалами для получения продуктов первого типа могут быть полиэтилен, полипропилен, полистирол.

Добавки для первого направления делятся на:

- фотосенсибилизаторы (хиноны, амино- и окси-группы), концентрация которых в полимере составляет от 0,01% до 10%, чаще около 1%;

- добавки, препятствующие сшиванию макромолекул (парафин, олеиновая кислота и др.);

- катализаторы окисления полимера (соединения переходных металлов (например, нафтенат железа), металлы в свободном состоянии);

- комплексные соединения металлов (являются фотосенсибилизаторами, но в процессе переработки или фотохимической деструкции они превращаются в катализаторы окисления) – это диалкилдитиокарбаматы металлов, из них наиболее эффективны соединения железа [2].

Фотоинициаторами разложения базового полимера полиэтилена или полистирола являются винилкетонные мономеры. При введении их в количестве 2-5% в качестве сополимера к этилену или стиролу получают пластики со свойствами, близкими к полиэтилену или полистиролу, но способные к фотодеструкции при действии ультрафиолетового излучения в пределах 290-320 нм [1].

При введении в композицию таких светочувствительных добавок, как дитиокарбамат железа и никеля или соответствующие пероксиды, получают пленки для мульчирования [1].

В пленки из полипропилена, полиэтилена и полиэтилентерефталата вводят пульпу целлюлозы, алкилкетоны, а также фрагменты, содержащие карбонильные группы, с целью ускорения фото- и биоразложения пленок. Их используют для сельского хозяйства. В течение 8-12 недель эти пленки сохраняются в окружающей среде, после чего начинают фото- и биоразлагаться. Их остатки полностью исчезают при бороновании и запахивании, становясь разрыхлителями почвы [1].

Во втором направлении в качестве добавок используются крахмал, натуральное волокно в качестве арматуры (лён), полигидроксиэфиры, поликапролактон, целлюлозное волокно, хрупкая зерновая лузга [2].

В третьем направлении склонность полиэфира к биоразложению зависит от количества терефталевой кислоты по отношению к алифатической кислоте (30-55 мольных %) [1].

В последнее время приобретает популярность добавка на основе солей переходных металлов (железа, меди), которая превращает обычные полиолефины (полиэтилен, полипропилен) в биоразлагаемые. Её добавляют в сырьё в процессе производства материалов как обычный мастербатч (гранулы высоконаполненного низкомолекулярного полимерного материала одного химического состава с модифицируемой матрицей полимера, позволяющие достичь равномерного распределения материала по всему объёму матрицы полимера), который вводится в количестве 1% к 99% основного сырья [3].

Добавка является катализатором реакции разрушения и окисления углеродных связей в молекулах полимера через «запрограммированный» рецептурой период времени (от нескольких месяцев до нескольких лет). Первичное разложение материала происходит при любых условиях. Управление скоростью разложения осуществляется с помощью антиоксидантов и прооксидантов. Антиоксиданты определяют индукционный период до распада макромолекул в процессе перокисления, прооксиданты определяют скорость биоразложения путем абиотического окисления. Прооксиданты являются катализаторами процесса окисления и биоразложения полимера. Типичными нетоксичными прооксидантами для полиолефинов являются ионы переходных металлов в небольшой концентрации. Они содержатся во многих природных субстанциях, например, в пище и воде.

Разложение запускается в процессе производства материала (например, экструзии), но на начальной стадии распад происходит очень медленно и никак не сказывается на свойствах получаемого материала.

Кроме того, исследования показали, что почвы, на которых ежегодно «перегнивает» такая пленка, являются более плодородными, что увеличивает урожай в  $\text{кг/м}^2$  на 15—20%, т. к. результатом работы микроорганизмов, кроме  $\text{CO}_2$  и воды, является образование гумуса [3].



Вторичная переработка для полимеров с такой добавкой не является проблемой: при вторичной переработке не меняется ни ПТР (показатель текучести расплава), ни показатель относительного удлинения при разрыве. Существует лишь один минус: в процессе вторичной переработки вследствие действия высоких температур растрачиваются как катализаторы, так и стабилизаторы разложения, отчего добавка прекращает свое действие.

Добавка безопасна для контакта с пищевыми продуктами, что подтверждают соответствующие сертификаты испытаний. Свойства материала и конечного изделия (окрашиваемость, водонепроницаемость и т.д.) сохраняются, стоимость биоразлагаемого изделия повышается на 5-6%. Продукты биоразложения безопасны для окружающей среды и человека. Эта добавка на данный момент успешно используется в 60 странах мира [4].

Однако существуют и недостатки: полученные оксибиоразлагаемые полимеры разлагаются медленнее, чем, например, гидробиоразлагаемые (полилактид, сополиэфир), а также они не соответствуют стандартам компостирования [5].

Полистирольная упаковка в общем объеме упаковки составляет порядка 15-21%. В связи с этим вызывает интерес исследование процесса придания полистирольным материалам свойства биodeградируемости.

Большую массу полистирола получают суспензионным способом, в связи с этим с помощью лабораторной установки реализуется процесс синтеза полистирола в суспензии (рисунок 1).

Биodeградация полистирола возможна за счет запуска процессов фотоокисления массы полимера после выхода его из сферы потребления человеком. Добавки, способствующие фотоокислению матрицы полимера вводятся на стадии полимеризации стирола сразу в жидкий мономер – стирол.

Рецептура смеси является следующей:

Вода : стирол – 70% : 30%

Стабилизатор – 10% от водной фазы

Инициатор – 15% от углеродной фазы

Фотосенсибилизирующая добавка вводится в размере от 4 до 10 % в углеродную фазу на стадии её приготовления.

Для проведения полимеризации в суспензии в реактор заливается вода и рассчитанное количество стабилизатора. В отдельной колбе готовится углеводородная фаза, содержащая рассчитанное количество инициатора (перекиси бензоила). Она перемешивается до полного растворения твердого инициатора и при работающей мешалке заливается в реактор. После достижения температуры, задаваемой контактным термометром ультратермостата и фиксируемой посредством термометра, периодически опускаемого в реактор, устанавливается время выдержки системы (около 30 минут). Готовность полимера фиксируется из анализа проб, отбираемых из реактора спустя 40 минут после выхода на заданный температурный режим и через каждые 5 минут. После появления твердых гранул температура в

реакторе повышается примерно на 10°C и процесс продолжается еще 20 минут.

Готовая суспензия сливается из аппарата и промывается на фильтрующей ткани под струей водопроводной воды. Гранулы полимера высушиваются в термошкафу при температуре 70-80°C.

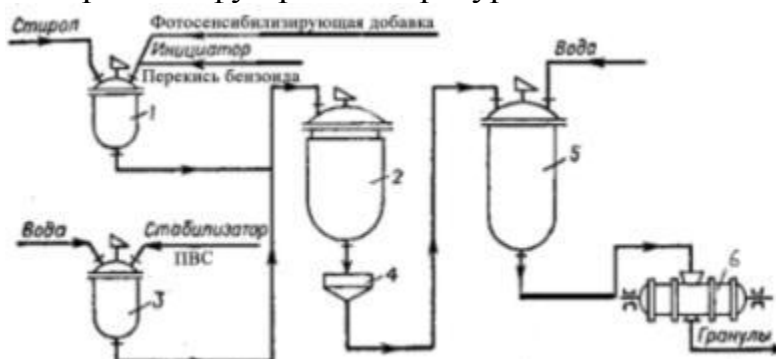


Рисунок 1. Схема получения суспензионного полистирола: 1 - аппарат для приготовления мономерной фазы, 2 - реактор, 3 - аппарат для приготовления водной фазы, 4 - сито, 5 - промежуточный сборник, 6 - сушилка.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что направление по приданию биоразлагаемости синтетическим полимерам находится в активном развитии. Уже достигнуты определенные результаты – это универсальная добавка для полиолефинов на основе антиоксидантов и прооксидантов. Однако биоразлагаемыми из синтетических полимеров легче всего становятся полиэтилен и полипропилен, тогда как другие многотоннажные полимеры (полистирол, полиэтилентерефталат) остаются пока загрязняющими природу материалами. Направление придания биоразлагаемости методом введения фотоактивных добавок в этом случае наиболее эффективно, так как в процессе синтеза таких полимеров тратится меньше энергии на распределение фотоактивных компонентов в жидкой фазе мономера, достигается достаточно равномерное их распределение.

#### Список используемых источников

1. Пластические массы [Текст]: научно-техн. журн. / ЗАО НП «Пластические массы». – М., Красная звезда, 2001 ISSN 0544-2901 2001, №2 – 600 экз.
2. Легонькова, О.А., Тысяча и один полимер от биостойких до биоразлагаемых [Текст]/ О.А. Легонькова, Л.А. Сухарева - М.: РадиоСофт, 2004 – 272 с.; - Библиогр.: с. 229-233 – 500 экз. - ISBN 5-93274-008-6.
3. «d2w: Механика разложения»
4. Научно-производственное предприятие
5. Технология ОВР-TDPA

# КУЛЬТИВИРОВАНИЕ МИКРОВОДОРОСЛИ ХЛОРЕЛЛА С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

*Мещерякова Ю.В., Назорнов С.А.*

*ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии, г.Тамбов, [yulya-belova@yandex.ru](mailto:yulya-belova@yandex.ru)*

Получение биотоплива в последние десятилетия привлекает все больший интерес. В качестве растительного сырья используют различные культуры, такие, как например: подсолнечник, рыжик, стебли сахарного тростника или семян рапса, кукурузы. В настоящее время внимание привлечено к использованию биотоплива третьего поколения, это биотопливо полученное на основе микроводорослей.

От других источников энергии они отличаются рядом преимуществ[1]:

1. Для производства топлива из микроводорослей не используется пищевое сырье.
2. Растут в 20-30 раз быстрее наземных растений.
3. Производят в 15-100 раз больше масла с гектара, чем альтернативные рапс, пальмовое масло, сало и др.
4. Отсутствие твердой оболочки и, практически лигнина, делает их переработку в жидкие топлива более простой и эффективной.
5. Производство и использование биотоплива не требует изменения российского законодательства, как в случае с этанолом.
6. Растут в пресной, соленой воде или в промышленных стоках, где используется для их очистки.
7. Можно выращивать промышленно в биореакторах или фотореакторах с искусственным освещением, либо в открытых резервуарах на некультивируемых почвах, включая пустыни.
8. Фотореакторы встраиваются в технологические линии уже существующих промышленных предприятий.
9. Уменьшают эмиссию углекислого газа (поглощают до 90% CO<sub>2</sub> с выделением кислорода).
10. Являются источниками масел, протеинов, углеводов.

Объектом нашего исследования была выбрана микроводоросль хлорелла. Она относится к роду *chlorella*, который объединяет группу автотрофных протококковых водорослей. Хлорелла имеет широкое распространение в природе, ее можно обнаружить на поверхности почвы, в водоемах, на коре деревьев. Эта водоросль, обладающая большим запасом хлорофилла и комплексом редчайших питательных веществ, участвует в процессе фотосинтеза, поглощая углекислый газ, насыщая воздух кислородом. [2] Распространенной из хлорелл является *chlorella vulgaris*.

Для получения биомассы нами используются штаммы микроводоросли *chlorella vulgaris* ИФР № С-111 и *chlorella vulgaris* BIN. Штаммы не требовательны к питательной среде, углекислому газу, механическому перемешиванию и обладают высокой продуктивностью.

Для культивирования штаммов сконструирована установка объемом 20 литров. Штамм снабжается постоянной подачей воздуха и постоянным освещением люминесцентными лампами. В качестве питательной среды использовали стандартную среду Тамия.

Температура культивирования водорослей 28-30 °С. А в летнее время температура культивирования составляла 30-32 °С и более под солнечным освещением. При таком способе культивирования наблюдался ускоренный прирост биомассы. Цвет суспензии микроводоросли становился насыщенно зеленым.

Для определения общего количества микроорганизмов в суспензии выбран метод прямого подсчета клеток в камерах Горяева. Численность водорослей при температуре культивирования 28-30 °С составила 100 млн. кл./мл, а при 31-33 °С 120 млн. кл./мл. Культивирование при температуре свыше 33 °С плотность суспензии составила 85 млн. кл./мл.

На первой стадии проводили фильтрацию суспензии хлореллы объемом 1 л. Полученную биомассу водорослей высушивали до остаточной влажности в сушильном шкафу.

Таблица 1.

Данные материального баланса сушки биомассы.

№ опыта	Сырая биомасса, л	Биомасса после фильтрации, г		Биомасса после сушки до постоянного веса, г	
		При выращивании на стандартной среде Тамия	При выращивании на среде с увеличенным содержанием азотных компонентов в 2 раза	При выращивании на стандартной среде Тамия	При выращивании на среде с увеличением концентрации азотных компонентов в 2 раза
1	1	1,55	2,15	0,364	0,63
2	1	0,15	0,45	0,061	0,088
3	1	1,164	2,01	0,155	1,004

Различные значения биомассы в опытах после фильтрации объясняется отбором пробы суспензии через разный промежуток времени из фотобиореактора. Интервал отбора проб между 1-ым и 2-ым опытом составил один день. А между 2-ым и 3-им четыре дня.

При увеличении содержания азотных компонентов в 2 раза в среде наблюдается прирост биомассы в среднем на 45 % .

Для производства биодизельного топлива ценность представляют растительные масла микроводорослей. Основной компонент растительных масел – это сложные эфиры трёхатомного спирта глицерина и высших непредельных алифатических кислот (триацилглицерины) [3].

Полученная биомасса подвергалась экстракции (экстрагент – хлороформ) и анализировалась на наличие липидной фракции физико-химическими методами. Изучали физико-химические свойства липидов (определяли число омыления, кислотное число, эфирное число). [4]

Числом омыления (ЧО) - количество мг калия, необходимое для нейтрализации всех как свободных, так и входящих в состав триацилглицеролов жирных кислот, содержащихся в 1 г водорослей (ЧО 154).

Кислотным числом (КЧ) - количество миллиграмм калия, необходимое для нейтрализации свободных жирных кислот, содержащихся в 1 г водорослей (КЧ 46).

Эфирное число (ЭЧ) - число миллиграммов калия, необходимое для нейтрализации всех жирных кислот, образующихся при омылении триацилглицеролов, содержащихся в 1г водорослей (ЭЧ 108).

При изменении условий культивирования можно вырастить хлореллу с различным соотношением питательных веществ.

Так при выращивании на среде с увеличенным содержанием азотных компонентов по сравнению со стандартной средой наблюдается прирост биомассы в среднем на 45 %. Однако, эфирное число при этом уменьшается. Таким образом, необходимо так оптимизировать условия культивирования микроводоросли, что бы был максимальный прирост биомассы, но при этом эфирное число не уменьшалось.

#### Список используемых источников

1. Моисеев, И. Эволюция биоэнергетики. Время водорослей / И. Моисеев, В. Тарасов, Л. Трусков // The Chemical Journal. – 2009. – декабрь. – С. 24–29.
2. Beijerinck M.W. Cultuurversuche mit Zoochlorella, Lichenengonidien und anderen niederen Algen // Bot. Zeit., 48, 47, Idem in: Verzamelde Geschriften van M.W. Beijerinck, 1921, № 2.
3. Митусова Т.Н., Калинина М.В. Перспективы использования биодизельного топлива // Мир нефтепродуктов. – 2005. – № 5. – С. 20-23
4. Кучеренко Н.Е., Бабенюк Ю.Д., Васильев А.Н., Виноградова Р.В., Войцицкий В.М., Курский М.Д., Летвиненко А.Р., Цудзевич Б.А. Биохимия: Практикум. Киев. Из-во при Киев. ун-те, 1988.-128с.

# ОКИСЛЕНИЕ, КАК МЕТОД ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД, СОДЕРЖАЩИХ ОКСИБЕНЗОЛ\*

*Пудовкина А.Ю.*

*кафедра «Химия наноматериалов» ФГБОУ ВПО «ТГТУ»*

Фенол в кислой среде легко окисляется  $\text{ClO}_2$ , водные растворы которого при  $\text{pH} \approx 7$  довольно устойчивы. С ростом температуры и кислотности среды [1] скорость разложения диоксида хлора возрастает. В кислой среде он гидролизуется с образованием хлоритов и хлоратов. Основным продуктом окисления фенола – *p*-бензохинон. Расход  $\text{ClO}_2$  на окисление 1 мг  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$  до *p*-бензохинона – 1,0...1,2 мг. В щелочной среде основные продукты окисления – малеиновая и щавелевая кислоты, продолжительность процесса до перехода  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$  в  $\text{R}-(\text{COOH})_2$  – 15...20 минут. В целом, обработка сточных вод, загрязненных фенолами, посредством  $\text{ClO}_2$  ведет к образованию хиноидных соединений (кислые среды) или к разрыву бензольного кольца с образованием органических кислот.

Фенолы сточных вод легко окисляются растворенным  $\text{O}_2$ , претерпевая при этом глубокие структурные изменения: гидроксилируются, образуют хиноны, оксихиноны, карбоновые и гуминовые кислоты, пироксидные соединения [1]. Дальнейшее окисление ведет к получению оптимальных продуктов превращения –  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . Глубина окисления зависит от параметров процесса. Многоатомные фенолы разрушаются легче одноатомных, особенно в области  $\text{pH} \approx 7$ . Метод реализуют за счет воздействия атмосферного кислорода в окислительных башнях.

Пероксид водорода окисляет фенол на 95 % за 7 – 9 минут (катализатор – ионы металлов переменной валентности – Fe, Cu, Mn, Cr).

В качестве окислителя можно использовать и пиролюзит, в частности, в производстве фенолформальдегидных смол и дифенилпропана. Подробности процесса и экономичности метода в [1].

Электрохимическое окисление фенола ведет к образованию малеиновой кислоты. При малой концентрации  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$  процесс протекает медленно [2] и связан с большим расходом электроэнергии, который можно снизить минерализацией сточных вод хлоридом натрия (2...3 г/л).

## Список используемых источников

1. Проскуряков В.А., Шмидт Л.И. Очистка сточных вод в химической промышленности. Л.: Химия. 1977. 464 с.
2. Вигдорович В.И. Теоретические основы, техника и технология обезвреживания, переработки и утилизации отходов. / Вигдорович В.И., Шель Н.В., Зарапина И.В. // М.: КАРТЭК. 2008. 215 с.

---

\* Научный руководитель д.х.н. Вигдорович В.И. (ТГТУ)

# ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ВЫДЕЛЕНИЯ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕЛОФОРА ОБ-ЖИДКОГО

*Орлова Н.В.*

*ФГБОУ ВПО «ТГТУ», г.Тамбов, Россия, [ynvpri@mail.ru](mailto:ynvpri@mail.ru)*

В производстве белогофора ОБ-жидкого (выпускная форма – 20 %-й водный раствор, что обусловлено последующей технологией отбеливания) качество готового продукта во многом определяется стадией выделения (выкисления), на которой в аппарате одновременно с химической реакцией идёт процесс кристаллизации. Именно этими процессами определяются гранулометрический состав целевого продукта, концентрация основного вещества и примесей, характеризующие качественные показатели продукта. Существующее производство белогофора ОБ имеет ряд недостатков, в число которых входит мелкодисперсность получаемых при выделении кристаллов, а как следствие, также увеличенные потери целевого продукта на стадии фильтрации и высокая концентрация неорганических примесей. Научно обоснованный подход к расчёту и выбору оптимальных технологических параметров процесса кристаллизации позволит получить продукт с более высокими качественными характеристиками (концентрация целевого продукта, дисперсный состав твёрдой фазы, концентрация примесей). Поэтому исследование и моделирование кинетики совмещенных процессов выделения является актуальной научной и практической задачей для процессов получения белогофоров и других продуктов тонкого органического синтеза.

Исследования проводились на лабораторной установке, представляющей собой модель реактора-выделителя. В результате экспериментальных исследований были получены кинетические зависимости изменения концентрации белогофора во времени (рис. 1) при определенном составе выкисляющего агента, а также оценено влияние вышеперечисленных параметров на размер образующихся кристаллов (рис. 2). Аналогичные данные для других выкисляющих агентов приведены в диссертации.

В результате анализа полученных экспериментальных данных сделан вывод о том, что максимальная концентрация целевого вещества ( $44,5 \text{ г/дм}^3$ ) и кристаллы наибольшего размера (20...35 мкм) формируются при выкислении смесью соляной и уксусной кислот в соотношении по концентрациям 1:3 (рис. 1, 2), что обеспечивается присутствием уксусной кислоты. При дальнейшей выдержке кристаллы еще могут укрупняться до 40...45 мкм.

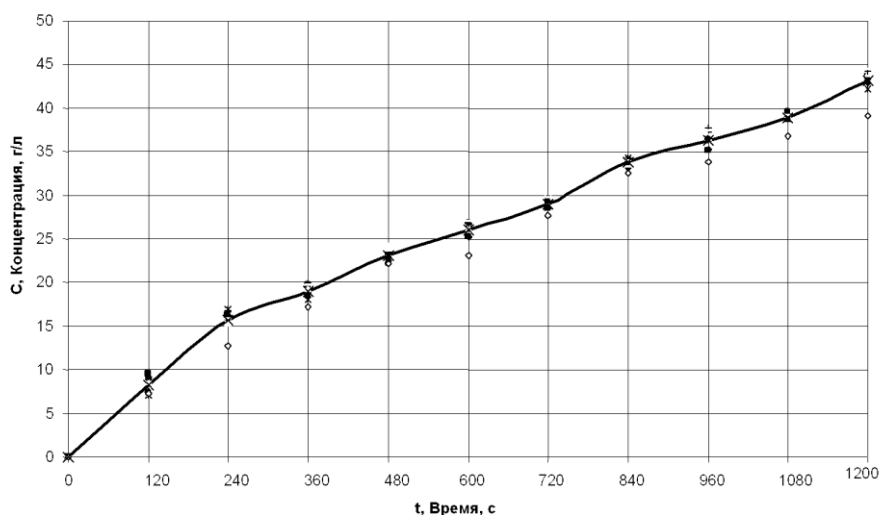


Рисунок 1. Изменение концентрации белюфора ОБ (выкисляющий агент— смесь соляной и уксусной кислот соотношение 1:3)

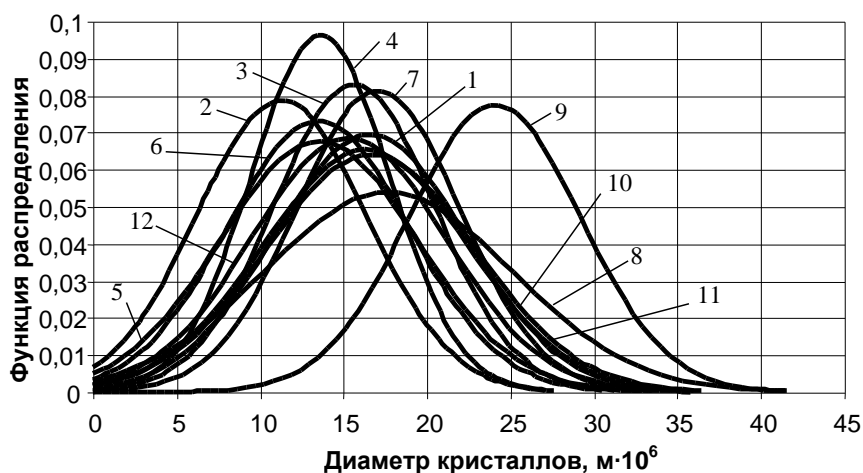


Рисунок 2. Распределение кристаллов белюфора ОБ по размеру в зависимости от состава выкисляющего агента: 1— соляная кислота; 2—серная кислота; 3—уксусная кислота; 4— смесь соляной и серной кислот, соотношение по концентрациям 1:1; 5— смесь соляной и серной кислот, соотношение по концентрациям 1:2; 6— смесь соляной и серной кислот, соотношение по концентрациям 1:3; 7— смесь соляной и уксусной кислот, соотношение по концентрациям 1:1; 8— смесь соляной и уксусной кислот, соотношение по концентрациям 1:2; 9— смесь соляной и уксусной кислот, соотношение по концентрациям 1:3; 10— смесь серной и уксусной кислот, соотношение по концентрациям 1:1; 11— смесь серной и уксусной кислот, соотношение по концентрациям 1:2; 12— смесь серной и уксусной кислот, соотношение по концентрациям 1:3.

Исследования влияния температуры на концентрацию и гранулометрический состав белюфора ОБ проводились в диапазоне температур от 30 до 90°C с шагом 10 °С.

В результате экспериментальных исследований были получены зависимости концентрации кислой формы белюфора от времени при определённой температуре, а также оценено влияние вышеперечисленных параметров на размер образующихся кристаллов и концентрацию хлоридов в целевом продукте.



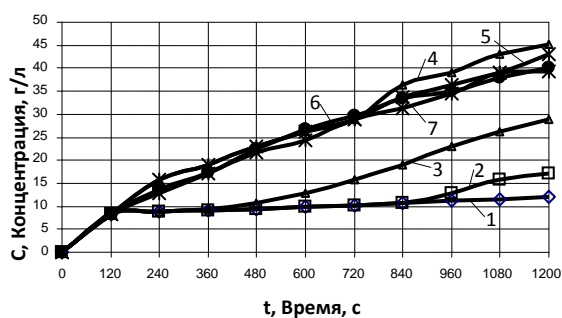


Рисунок 3. Изменение концентрации кислой формы белюфора ОБ при температуре: 1 - 30°C; 2 - 40°C; 3 - 50°C; 4 - 60°C; 5 - 70°C; 6 - 80°C; 7 - 90°C.

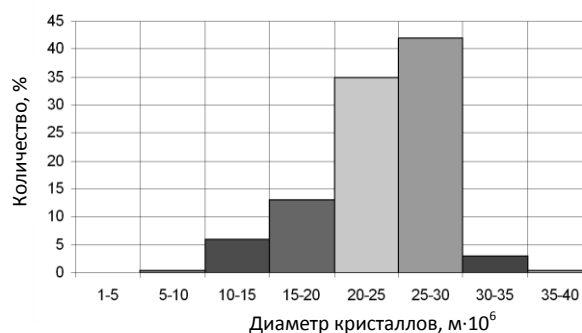


Рисунок 4. Гистограмма распределения кристаллов белюфора ОБ по размерам при температуре 60°C

Анализ экспериментальных данных показал, что максимальная концентрация кислой формы белюфора ( $45 \text{ г/дм}^3$ ) (рис. 3) и максимальный размер кристаллов получен при температуре процесса  $60^\circ\text{C}$  (рис. 4, табл. 1).

Из данных табл. 1 видно, что при температурах  $60^\circ\text{C}$  и выше достигается минимальное значение концентрации неорганических примесей (хлоридов)  $0,8 \dots 0,9 \%$  при минимальном времени фильтрования ( $5 \dots 8$  мин) с наименьшими потерями целевого вещества ( $0,5 \dots 1,1 \%$ ).

Таблица 1.

Результаты экспериментальных исследований влияния температуры на качественные характеристики белюфора ОБ

Выкисляющий агент	Температура процесса, °C	Концентрация целевого вещества в фильтрате, %	Содержание хлоридов в пасте, %	Время фильтрования, мин
Смесь соляной и уксусной кислот (1:3)	30	12	2,9	35
	40	6	2,5	25
	50	3	1,5	12
	60	0,5	0,8	5
	70	1,2	0,9	7
	80	1,2	0,9	7
	90	1,1	0,9	8

Из анализа данных, представленных в табл. 1 и на рис. 3...4, следует, что для проведения процесса кристаллизации белюфора ОБ целесообразно использовать температуру  $60^\circ\text{C}$ .

В результате предложены следующие рекомендации для промышленного получения белюфора ОБ с размером кристаллов до  $40 \dots 45$  мкм:

– в качестве выкисляющего агента использовать смесь соляной и уксусной кислот в соотношении 1 : 3;

– режим процесса: температура выделения белофора ОБ – 60 °С, при скорости перемешивания 80 об/мин; выдержка при постоянной температуре в течение 30 минут, при скорости перемешивания 40 об/мин.

Оценка качества получаемого продукта показала, что содержание хлоридов при предложенном режиме уменьшается до 1...0,8 %, а потери целевого продукта сокращаются до 0,5 %.

#### Список используемых источников

1. Хамский, Е.В. Кристаллизация в химической промышленности./ Е.В. Хамский – М.: Химия, 1979, –344 с.
2. Нывлт, Я. Кристаллизация из растворов./ Я. Нывлт.–М.: Химия, 1974. –152с.
3. Астарита, Дж. Массопередача с химической реакцией/Дж. Астарита – М.: Химия, 1971. – 224с.
4. Кафаров, В.В. Системный анализ процессов химической технологии. Процессы массовой кристаллизации из растворов и газовой фазы/В.В. Кафаров, И.Н. Дорохов, Э.М. Кольцова – М.:Наука, 1983. – 368 с.
5. Воякина Н.В., Коновалов В.И. Исследование кинетики кристаллизации белофора ОБ, осложнённой химической реакцией.// Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2008. Т. 14, № 3. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. тех. ун-та, 2008. – С. 513 – 516.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ЖВН С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ ВКЛЮЧЕНИЕМ СТУПЕНЕЙ

*Небасов А.В., Зорин А.С., Никитин Д.В.*

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет*

В настоящее время трудно назвать отрасль промышленности, науки и техники, на развитие которой не оказало прогрессивного влияния использования вакуума, поэтому среди многочисленных отраслей машиностроения важное место занимает насосо- и компрессоростроение. Ряд процессов в химической, газовой, нефтяной, кожевенной, микробиологической, целлюлозно – бумажной, пищевой промышленности требуют создания вакуума от 15 до 2 кПа.

Все существующие конструкции одно и двухступенчатых жидкостно-кольцевых вакуумных насосов (ЖВН) имеют следующие недостатки:

- низкий изотермический КПД;
- утечки откачиваемого газа и рабочей жидкости, снижающие быстроту действия насоса;
- большой расход энергии на вращении жидкостного кольца;
- сложность точной сборки;
- невозможность использования на максимальную быстроту действия

насоса при применении различных рабочих жидкостей.

В результате теоретических исследований на кафедре ТММ и ДМ разработаны, испытаны и модернизированы двухступенчатые жидкостнокольцевые вакуум-насосы быстротой действия  $180 \text{ м}^3/\text{ч}$  и  $300 \text{ м}^3/\text{ч}$ , предельным вакуумом  $98 \text{ кПа}$ .

Вакуум-насос состоит из двух чугунных корпусов 6,7 (рисунок.1), являющимися модулями первой и второй ступеней. Отличительная особенность корпуса второй ступени заключается в том, что он является и правой торцовой крышкой для первой ступени. В нем выполнена дополнительная камера *A* для стабилизации газового потока и размещены дополнительные впускное *B* и нагнетательное *C* отверстия. Соотношения ширины модуля первой и второй ступеней  $3,125:1$ , что примерно соответствует степени сжатия в первой ступени  $\tau_1 = 3$

Внутри корпусов эксцентрично установлены два сборных рабочих колеса, лопатки которых с торцов имеют подпружиненные пластины и кольцевой вкладыш, выполненные из сверхмолекулярного полимерного материала методом холодного формования. Применение данной конструкции рабочего колеса увеличивает быстроту действия, предельный вакуум, изотермический КПД насоса за счет уменьшения перетечек газовой среды в торцовых зазорах, стабилизации формы водного кольца, а также позволяет с меньшими затратами перейти на работу с оптимальными параметрами при использовании других неагрессивных или слабоагрессивных рабочих жидкостей (отличающимися от воды вязкостью). Вал 12 установлен в двух шариковых подшипниках, которые размещены в своих корпусах 14, 15, прикрепленных к торцовым крышкам 10, 11, в них выполнены входы впускного *L* и выпускного *M* патрубков, а также впускное отверстие *K* первой ступени и нагнетательное отверстие *N* второй ступени. На валу установлены уплотнения, которые вынесены из рабочей зоны насоса, что также предотвращает утечку газа из насоса во время работы. Уплотнения выполнены также из материала СВМПЭ и подпружиниваются в осевом направлении, что позволяет свободно производить регулировку вала. Подшипниковые узлы охлаждаются подачей рабочей жидкости, если это вода, или дополнительной подачей воды. Так как существенное значение на работу вакуум-насоса оказывает способ подачи воды, то в конструкции предусмотрены несколько вариантов: сверху и с торцов; снизу со всасывающей стороны и наиболее часто используемый и рациональный способ - для пополнения жидкостного кольца со стороны нагнетания в точке *K*, которая находится на радиусе, проведенном через высшую точку нагнетательного отверстия.

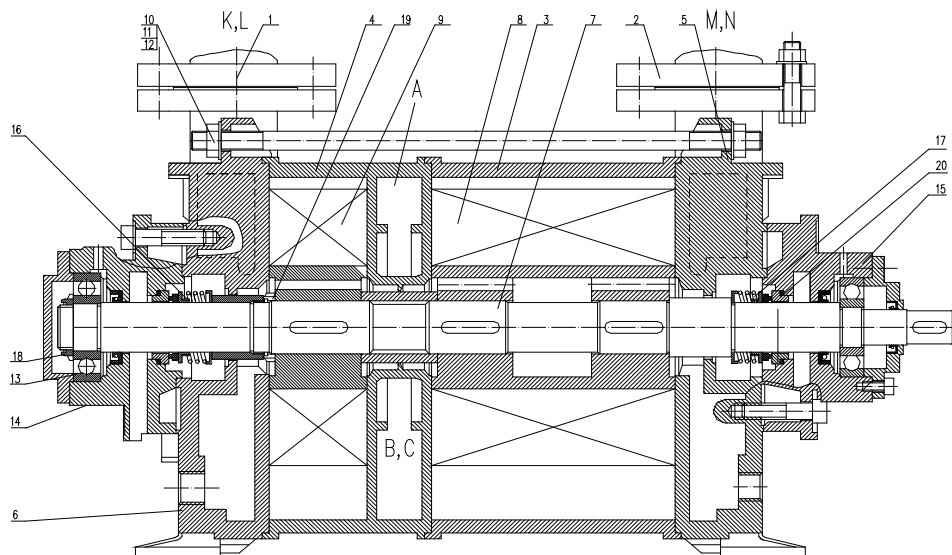


Рисунок 1. Конструкция двухступенчатого жидкостнокольцевого вакуум-насоса ЖВН ДМ 180: 1 – впускной патрубок; 2 – выпускной патрубок; 3 – корпус первой ступени; 4 – корпус второй ступени; 5 – торцовая крышка правая; 6 – торцовая крышка левая; 7 – вал; 8 – ротор первой ступени в сборе; 9 – ротор второй ступени в сборе; 10, 11, 12 – стяжки; 13 – шарикоподшипник; 14, 15 – корпус подшипника в сборе; 16, 17 – уплотнение осевое в сборе; 18, 19, 20 – стопорные и регулировочные гайки.

Вакуум-насосы с новыми конструктивными изменениями увеличили быстроту действия на 10–12%, а затраты мощности снизились на 8–10% на всем диапазоне изменений по сравнению с насосом без этих конструктивных изменений.

Техническая характеристика ЖВН ДМ 180

- предельный вакуум – 98%;
- максимальная потребляемая мощность на валу насоса 4,7 кВт;
- частота вращения – 1450 об/мин;
- быстрота действия  $1 \div 4 \text{ м}^3/\text{мин}$

Предлагаемой конструкции ЖВН достигнуто снижение энергозатрат на 5% при достижении одинаковой глубины вакуумирования в сравнении с типовым двухступенчатым ЖВН постоянного включения ступеней.

#### Список используемых источников

1. Родионов, Ю.В. Двухступенчатый вакуум-насос с последовательным включением ступеней / Ю.В. Родионов, В.А. Максимов, С.Б. Захаржевский, П.И. Селиванова // Сб. мат. межд. научно-прак. конф. / Изд. ТГТУ. – 2005. – С.145-147. – Библиогр.: с. 260-267.

2. Родионов, Ю.В. Повышение эффективности и эксплуатационных характеристик двухступенчатых жидкостнокольцевых вакуум-насосов: Дис.... канд. техн. наук; 05.04.09; – Защищена 14.06.00; Утв. 10.11.00. – Тамбов; ТГТУ, 2000. – 135с.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕРЫ В МЕТАЛЛАХ И СПЛАВАХ С ПОМОЩЬЮ ИЗЛУЧЕНИЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН

*Проценко И.Г., Брусенцов Ю.А., Филатов И.С.  
Тамбовский государственный технический университет, кафедра  
«Материалы и технология», Тамбов, [mit@mail.nnn.tstu.ru](mailto:mit@mail.nnn.tstu.ru)*

Как известно, основной продукцией металлургической промышленности являются стали, около 90 % - углеродистые, и 10% - легированные. Помимо основы – железа, в их состав входят различные примеси, причем наличие последних, не всегда оказывает положительное влияние на свойства.

Наибольшее негативное влияние оказывает сера. Нерастворимая в железе в любых количествах, она образует сернистые соединения – сульфиды железа, которые входят в состав эвтектики, образующейся при 988°C. Она располагается, как правило, по границам зерен, и делает стали не поддающимися горячей обработке давлением при температуре прокатки [1].

Существующие методы определения данного параметра [2] и [3] широко известны, находят применение в лабораторных условиях, однако существенным их недостатком является то, что они не позволяют проводить экспресс анализ непосредственно на производстве.

Целью работы является определение содержания серы непосредственно над расплавом стали, по изменению длины волны ультрафиолетового излучения.

Для реализации данной методики определения вредных примесей в лабораторных условиях, используется экспериментальная измерительная установка, позволяющая, при прохождении светового луча непосредственно через пары над расплавом анализируемого материала, определять наличие вредных примесей за счет смещения спектра регистрируемого излучения [4].

Наблюдаемое, в ходе ряда экспериментов, изменение длины волны излучения на величину порядка 50-60 нм можно объяснить или рассеиванием светового потока или с помощью люминесценции паров анализируемого материала.

С классической точки зрения процесс рассеивания заключается в том, что световой поток, проходящий через вещество, вызывает колебание электронов в атоме. Он, дифрагируя на неоднородностях среды, дает дифракционную картину, характеризующуюся довольно равномерными распределениями интенсивности по всем направлениям. Причиной появления оптических неоднородностей является флуктуационная плотность, то есть наблюдаемая в пределах малого объема отклонение плотности от его среднего значения. Эти флуктуации вызваны беспорядочным движением молекул вещества, следовательно, вызванное ими рассеивание удобнее называть молекулярным. Именно оно определяет изменение цвета излучения,

вследствие неупорядоченного перемещения частиц анализируемого вещества, образования областей сгущения или разрежения пространства [5].

Используя теоретические положения и закон Рэлея можно попытаться объяснить изменение длины волны излучения, посредством которого регистрируется наличие серы в парах над расплавом. Однако, полученные в ходе дополнительных экспериментов результаты, опровергают данное предположение. В частности, согласно теоретическим положениям, при изменении угла отклонения приемника излучения от главной оптической оси интенсивность рассеянного излучения должна изменяться плавно, тогда как на практике данный эффект не наблюдается. Таким образом, использование закона Рэлея для описания процесса свечения паров серы, находящихся в газообразном состоянии над расплавом, не представляется возможным.

Рассмотрим изменение длины волны излучения с точки зрения люминесценции, флуоресценции паров анализируемого материала.

При данном процессе система излучает энергию, и для ее возбуждения необходимо подводить энергию извне, например, с помощью лазерного излучения. Для возбуждения люминесценции обычно используется спектральная область, соответствующая диапазону длин волн. Поглощение молекулой кванта света в этой области спектра приводит к переходу электрона на более высокий энергетический уровень, происходит за  $10^{-15}$  с, это время соответствует периоду колебания световой волны. За время поглощения света молекулой заметно не изменяется ни положение, ни импульс ядер атомов молекулы.

Молекула в основном состоянии может поглотить свет с частотой  $\nu$ , если существует некоторое состояние имеющее большую энергию, нежели первоначальное состояние.

$$E_n - E_0 = h\nu.$$

При поглощении света молекула переходит на один из колебательных подуровней возбужденного электронного состояния. Для излучательного перехода между двумя состояниями одинаковой мультиплексности характерно явление флуоресценции. При комнатной температуре практически все молекулы находятся на нулевом колебательном подуровне основного состояния, поэтому поглощение происходит с этого уровня. Испускание флуоресценции происходит с нулевого колебательного подуровня первого возбужденного состояния. Поэтому общим переходом в поглощении и испускании является переход между нулевыми колебательными подуровнями основного и возбужденного состояний.

Частоту перехода несложно определить при пересечении спектров поглощения и испускания, что соответствует правилу Стокса. Согласно ему свет испускания характеризуется большей длиной волны, чем поглощенный телом, вызывающий флуоресценцию. Таким образом, правило Стокса позволяет утверждать, что максимум полосы поглощения смещен в сторону коротких волн относительно полос флуоресценции. Иными словами, это подтверждает что длина волны флуоресценции смещена в сторону

инфракрасного диапазона длин волн [6], что подтверждается экспериментально.

С целью проверки полученных в лабораторных условиях результатов, и подтверждения люминесценции, флуоресценции паров анализируемого материала, на спектральном приборе УМ- 9, был проведен ряд экспериментов, результат которых подтвердили, что максимум флуоресцентного излучения, приходится на спектральную область между синим и зеленым диапазоном длин волн.

Таким образом, наблюдаемое, в ходе ряда экспериментов, изменение длины волны излучения на величину порядка 50-60 нм, объясняется люминесценцией паров вредной примеси в стали.

#### Список используемых источников

1. Гуляев, А.П. *Металловедение* / А.П. Гуляев – М.: *Металлургия*, 1989. – 482 с.
2. ГОСТ 12345-2001. *Стали легированные и высоколегированные. Методы определения серы.*
3. ГОСТ 53203-2008. *Определение серы методом рентгенофлуоресцентной спектрометрии по длине волны.*
4. Проценко, И.Г. *Определение вредных примесей в расплавах с помощью ультрафиолетового облучения* / И.Г. Проценко, Ю.А. Брусенцов, И.С. Филатов // *Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент. III Всероссийская научно-инновационная молодежная конференция, 31 октября- 2 ноября 2011 г. – 2011.- с. 291-293.*
5. Савельев, И.В. *Курс общей физики: учеб. пособие для студентов вузов. Т. 2: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика* / И.В. Савельев. – 4 – е изд., стер. – СПб.: *Лань*, 2005. – 496 с.
6. *Экспериментальные методы химической кинетики: учеб./ под ред. Н.М. Эмануэля, М.Г. Кузьмина.* – М.: *МГУ*, 1985. – 384 с.

## МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ ПОРИСТОСТИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

*Медведева А.В., Мордасов Д.М.*

*Тамбовский государственный технический университет*

Обеспечение высокого качества высокотехнологичных изделий невозможно без применения эффективных современных методов контроля на всех стадиях производственного цикла, таких как проектирование, изготовление, эксплуатация. В современном промышленном производстве, сельском хозяйстве и биотехнологиях широко применяются вещества в сыпучем состоянии, представляющие собой совокупность твердых частиц, пространство между которыми заполнено газом. Пористость  $\Pi$ , определяемая как отношение объема пустот в материале  $V_n$  к его полному объему  $V$ , является одной из важнейших физических характеристик сыпучих материалов (СМ). Структура порового пространства катализаторов непосредственно влияет на скорость химических процессов и выход готового продукта. Пористость является основным показателем качества при производстве фильтров с использованием активированных углей.

При измерении параметров пористости необходим тщательный выбор соответствующего метода с учетом его достоинств и недостатков. Основные недостатки методов связаны со сложностью аппаратной реализации и длительностью эксперимента. Методы, основанные на использовании газа, обладают высокой точностью за счет того, что газы лучше проникают в поровое пространство, и могут быть легко автоматизированы.

Аэродинамический метод измерения пористости, основан на непрерывном воздействии газа на СМ с получением псевдооживленного слоя. Физическая сущность процессов, происходящих при реализации метода, заключается в том, что, если через слой твердых частиц проходит поток газа, то состояние слоя материала оказывается различным в зависимости от скорости газа.

Методика измерения пористости СМ состоит в следующем:

- заполняют измерительную емкость контролируемым порошковым материалом до уровня  $h_0$  (м), значение которого измеряется и фиксируется;
- подают на вход измерительной емкости газ с расходом  $Q$  (м<sup>3</sup>/с) меньше предельного, при котором наступает псевдооживление, и фиксируют перепад давления  $\Delta P_1$  (Па);
- увеличивают расход газа на входе измерительной емкости до значения, при котором начинается процесс псевдооживления, измеряют перепад давления  $\Delta P_2$  (Па) на псевдооживленном слое;



- на основании найденных значений и величин, принимаемых в качестве постоянных, определяют пористость частиц СМ по формуле

$$P = \left[ 1 - \Delta P_2 \left( 1 + \frac{208,44}{d_v^2} \frac{Q}{\Delta P_1} \frac{h_0 \mu}{S} \right) \right] / \rho_n g h_0 \left( 0,741 + \frac{50,76}{d_v^2} \frac{Q}{\Delta P_1} \frac{h_0 \mu}{S} \right) \cdot 100\% ,$$

где  $d_v$  – средний диаметр частиц СМ, м;  $\mu$  - динамическая вязкость газа, Па·с;  $S$  – площадь поперечного сечения емкости с контролируемым материалом, м<sup>2</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\rho_n$  – истинная плотность частиц СМ, кг/м<sup>3</sup>.

Повышение точности измерений является важнейшей экономической и прикладной задачей. Любая ошибка имеет в своей основе некоторую физическую причину, учет которой может эту ошибку исключить. Однако далеко не всегда удастся выявить причину появления ошибок, а при выявлении причин не всегда есть возможность создать соответствующие условия ее учета: это может оказаться чрезмерно сложным или дорогим. Приходится на чем-то останавливаться, и это и есть причина деления всех погрешностей на систематические, которые можно учесть при обработке результатов измерений, и случайные, которые учесть нельзя.

Методические источники погрешности классифицированы по характеру их проявления (рис. 1).

Необходимость подобной классификации связана с тем, что учет происхождения и особенностей погрешностей позволяет принимать необходимые решения как по предъявляемым к ним требованиям, так и по реализации этих требований.

Ошибка в определении момента начала псевдооживления приводит к погрешности измерения расхода, поэтому фиксировать перепад давления  $\Delta P_2$  и расход  $Q$  предполагается не только по изменению уровня слоя СМ, но и по изменению знака приращения перепада давления.

Для того, чтобы компенсировать влияние погрешности, вызванной неравномерным распределением газа по сечению измерительной емкости, газ следует подавать через канал, имеющий конусное сечение. Во избежание проскальзывания газа по стенкам емкости в нее вводится кольцо, ширина которого соизмерима с размерами частиц СМ.

Само наличие пор в СМ сказывается на результате измерения пористости этого СМ. Частицы, обладая свойством адсорбции, поглощают проходящий между ними газ. Поскольку данный метод контроля пористости отличается сравнительной быстротой, то влиянием адсорбции можно пренебречь.



Рисунок 1. Классификация методических погрешностей аэродинамического метода контроля пористости СМ.

Исходя из результатов оценки погрешности косвенных измерений рассматриваемым методом, можно сделать вывод, что наибольший вклад в эту погрешность вносят неточности определения перепадов давления, истинной плотности СМ, а также среднего диаметра частиц. Погрешность может быть снижена за счет использования емкостных преобразователей давления.

Во избежание пыления и уноса из емкости более мелких частиц в конструкции измерительного устройства было предложено использовать пылеосадительную камеру с перегородками, расчет геометрических параметров которой осуществляется с учетом гранулометрического состава измеряемого СМ и режимных параметров (давление, расход) измерительного устройства.

Основной закон, описывающий движение газа через пористую среду является следствием предположения о безынерционности движения жидкости в пористой среде. Таким образом, фильтрационное течение, подчиняющееся дифференциальному закону, - частный случай так называемого ползущего течения, для которого характерно преобладание вязких сил над инерционными. Числа Рейнольдса течения, подчиняющегося дифференциальному закону, очень малы ( $Re \ll 1$ ). Поэтому попытки вывода дифференциального закона путем осреднения уравнений гидродинамики обычно сводятся к вычислению осредненной скорости потока в порах заданной формы и размера. Уравнение Дарси применимо только к ламинарному течению газа, т.к. при малых размерах пор и скоростях течения числа Рейнольдса невелики. Чтобы оценить влияние свойств пористого слоя на скорость фильтрования, все параметры, характеризующие пористую среду, в конечном счете приходится объединять в один, находимый экспериментально параметр (проницаемость).

Величину сопротивления фильтровальной перегородки в процессе фильтрования в первом приближении можно считать постоянной, пренебрегая некоторым возможным ее увеличением вследствие проникновения в поры новых твердых частиц.

Методические систематические погрешности при необходимости могут быть полностью или частично скомпенсированы, поскольку функциональные зависимости между искомой величиной и непосредственно измеряемыми параметрами известны. Но способ компенсации существенным образом зависит от цели измерений. Влияние же источников случайных погрешностей можно снизить либо при обработке результатов измерений, либо путем ввода в измерительный тракт соответствующих компенсаторов физических или математических.

# ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

*Алтунин К.А., Шаикова Е.В.*

*Тамбовский государственный технический университет,  
Тамбов, [tmmsii@tmmsii.jesby.tstu.ru](mailto:tmmsii@tmmsii.jesby.tstu.ru)*

Определение оптимальных режимов резания представляет одну из частых задач в процессе проектирования технологических процессов в машиностроении.

Режимы резания служат в большинстве случаев основой для разработки кинематики станка – чисел оборотов, чисел ходов, величины подачи; динамики станка – мощности электромотора, усилий, возникающих при резании, величин крутящих моментов на шпинделях и валах станка, прочности и жесткости отдельных деталей и узлов станка и т. д.

На основе выбранных режимов резания устанавливается периодичность и порядок смены режущих инструментов, расход инструментов, определяется число работающих, фонды зарплаты, число станков, необходимых для выполнения заданной программы, площади цехов и участков, необходимые капиталовложения и многие другие элементы организации и экономики производства.

Поэтому особо важное значение приобретает правильный выбор действительно оптимальных режимов резания, обеспечивающих наибольший экономический эффект с учетом, по возможности, всех факторов, влияющих на производительность, технические качества и экономику производства [1].

Под оптимальным режимом резания понимается такие значения оптимизируемых параметров (скорости резания и подачи), при которых выполняются все технологические ограничения, накладываемые на процесс обработки, достигается максимальная производительность операции. При этом себестоимость обработки и недоиспользование ресурса режущего инструмента должно быть минимальным.

В связи с этим возникает потребность в разработке программы для расчета оптимальных режимов резания. Рассмотрим процесс ее создания на примере токарной обработки.

Оптимальные значения подачи и частоты вращения шпинделя должны выбираться по ограничениям, учитывающим технические характеристики станка, прочность инструмента и заданную шероховатость обрабатываемой поверхности.

Нами были рассмотрены наиболее важные технические ограничения на токарную обработку, взятые из работы [1]. Все ограничения приводятся к неравенствам, в левой части которых зафиксированы параметры режима резания, а в правой – параметры, характеризующие элементы системы СПИД. Их можно представить в виде системы неравенств.

Режимы обработки какой-либо поверхности детали выбираются таким образом, чтобы они удовлетворяли этим техническим ограничениям. В рамках этих ограничений необходимо найти оптимальные режимы резания,

т.е. такие режимы, при которых принятый критерий оптимизации достигал бы минимума (максимума). В качестве такого критерия выбрана производительность на данной технологической операции.

Критерий оптимизации: время обработки 1 мм поверхность резания, принимает, когда произведение  $n \cdot s$  оказывается наибольшим. Задача сводится к тому, что необходимо найти такую частоту вращения шпинделя  $n$  и подачу  $s$ , которые отвечали бы всем без исключения неравенствам технических ограничений и произведение которых было бы максимальным.

Данный способ оптимизации был положен в основу программы.

Форма приложения представлена на рисунке 1.

Диаметр детали, мм	Ширина резца, мм	Наибольшая подача, мм/об	Наибольшая частота вращения шпинделя, об/мин
96	16	2.8	1600
Глубина резания, мм	Высота резца, мм	Наименьшая подача, мм/об	Наименьшая частота вращения шпинделя, об/мин
2	25	0.05	12.5
Длина вылета резца на резцедержателе, мм	Предел прочности державки резца при изгибе, Н/мм <sup>2</sup>	Мощность станка, кВт	
50	800	10	
Коэффициент запаса прочности для резцедержки	Шероховатость поверхности R <sub>a</sub> , мкм	КПД станка	
1.5	80	0.75	

C1=-2.99573227355399  
C2=1.02961941718116  
C3=2.52572864430826  
C4=7.3775890822787  
C5=5.5475015476871  
C6=5.46933506035329  
C7=1.01955688652546  
C8=-0.82376028808925  
C9=3.33925105344317  
C10=-0.468246719595837

Расчет и формулы

Оптимизация

Оптимальная частота вращения шпинделя, об/мин: 316.781598118251

Оптимальная подача, мм/об: 0.62609903369941

Рисунок 1. Главная форма приложения.

На начальном этапе пользователь должен ввести основные параметры процесса резания, которые понадобятся программе для расчета ограничений и оптимизации.

При нажатии на кнопку «Расчет и формулы» открывается форма (рис. 2) показывающая уравнения по которым производится оптимизация.

Сама оптимизация запускается после нажатия кнопки «Оптимизация». В результате работы модуля задаются оптимальные значения подачи и частоты вращения шпинделя, выбранные с учетом технических характеристик станка, прочности инструмента и заданной шероховатости обрабатываемой поверхности.

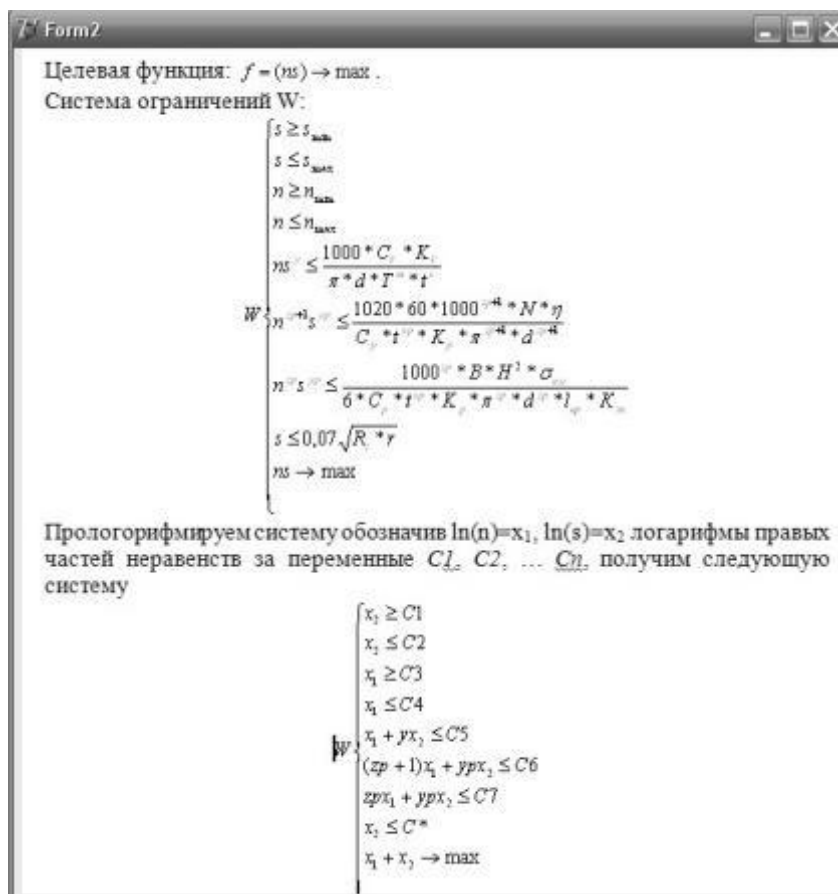


Рисунок 2. Вспомогательная форма приложения.

Разработанная программа может быть использована в качестве модуля системы автоматизированного проектирования (САПР) процессов резания, осуществляющего оптимизацию режимов резания, как это показано в работе [2]. При этом пользователь освобождается от обязанности вводить исходные данные, так как они автоматически загружаются в приложение из базы данных САПР и из ее модуля задания начальных параметров.

#### Список используемых источников

1. Горанский, Г.К. Расчет режимов резания при помощи электронно-вычислительных машин / Г.К. Горанский – Минск: Государственное издательство БССР, 1963. – 192 с.
2. Концепция создания системы автоматизированного проектирования процессов резания в технологии машиностроения / С.И. Пестрецов, К.А. Алтунин, М.В. Соколов, В. Г. Однолько. – М.: Издательский дом «Спектр», 2012. – 221 с.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РОСТА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ РАСПЫЛЕНИЕМ ПРИ ФАЗОВОМ РАВНОВЕСИИ

*Борисюк В.Н., Грицына Е.С.*

*Сумский государственный университет, 40007 Сумы, Украина*

*[vad2@ukr.net](mailto:vad2@ukr.net)*

Изучение процесса конденсации вещества в ионно-плазменных распылителях представляет большой практический интерес, поскольку данная технология позволяет получать наносистемы различной структуры, обладающих заданным набором свойств. В реальных условиях эксперимента рост зародышей конденсата начинается с образования центров агрегации в виде моноизгибов на ступеньках поверхности роста, неоднородностей атомно-шероховатой поверхности, мест срачивания кристаллитов и т.п. В данной работе рассматривается моделирование процесса роста конденсатов меди в условиях, близких к фазовому равновесию [1] и проводится количественный анализ полученных результатов.

Как указывалось выше, процесс роста конденсатов обеспечивается агрегацией распыленного вещества на активных центрах. Данная ситуация может быть качественно представлена моделью агрегационного роста, ограниченного диффузией (diffusion limited aggregation (DLA) model) [2]. В рамках указанной модели, частицы вещества, совершающие хаотическое, подобное Броуновскому, движение, оседают на образовавшиеся на подложке агрегационные островки, чем обеспечивают их дальнейший рост. Постоянно увеличивающийся в размере агрегационный кластер притягивает все большее количество диффундирующих частиц, образуя сложную самоподобную структуру. При этом некоторые области, свободные от конденсата, могут оказаться недоступными для диффундирующих частиц, и уже не принимать участие в дальнейшей агрегации вещества, образуя нано- и микропоры.

В рамках DLA-алгоритма было проведено моделирование процесса двумерного роста конденсата на поверхности подложки. Предполагалось, что диффундирующая частица может попасть на подложку в любой ее точке, после чего, в результате хаотического движения, либо агрегироваться на активных центрах роста, ибо выйти за границы области формирования конденсата. Активные центры задавались равномерным распределением по поверхности подложки в концентрации  $n_{ic} \sim 10^{-3} n_{dp}$ , где  $n_{ic}$  и  $n_{dp}$  - концентрации центров роста и диффундирующих частиц соответственно. В результате моделирования была получена структура, фрагмент которой приведен на рис. 1а, в сравнении с изображением конденсата меди, полученным с помощью электронной микроскопии. Размер фрагмента подобран в соответствии с приблизительным количеством составных частиц в кластере меди на электронно-микроскопическом изображении (рис. 1б).

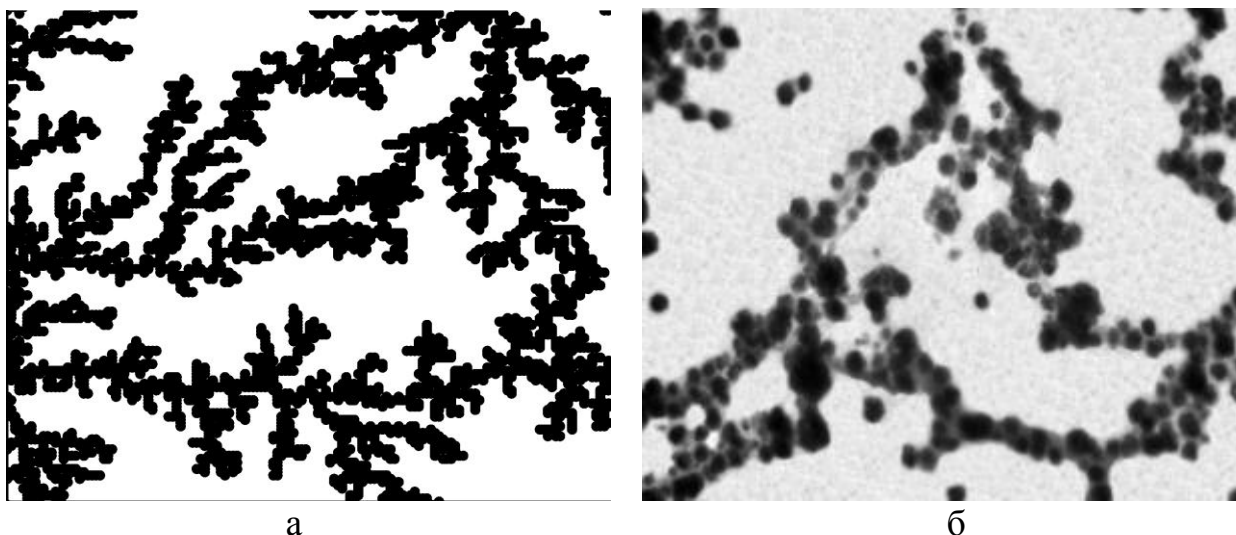


Рисунок 1. Структура, полученная моделированием с помощью DLA алгоритма (а), в сравнении с изображением конденсата меди, полученным в квазиравновесной распылительной системе [1] (б).

Характерной особенностью агрегационных кластеров, как известно, является сложная самоподобная структура, и, как следствие, дробная (фрактальная) размерность.

В общем случае размерность самоподобного объекта  $D$  может быть рассчитана в рамках метода покрытий (box counting method) [3], из уравнения

$$N(l) = l^{-D}, \quad (1)$$

где  $N(l)$  - количество ячеек размера  $l$ , необходимое, что бы покрыть весь объект. Для самоподобных объектов, зависимость (1) должна иметь линейный вид в двойных логарифмических координатах, наклон аппроксимирующей прямой которой и будет давать искомое значение  $D$ .

Для количественной характеристики результатов моделирования были рассчитаны фрактальные размерности модельной и реальной структуры конденсата. Типичный вид зависимости (1) для структуры, изображенной на рис. 1а, приведен на рисунке 2.

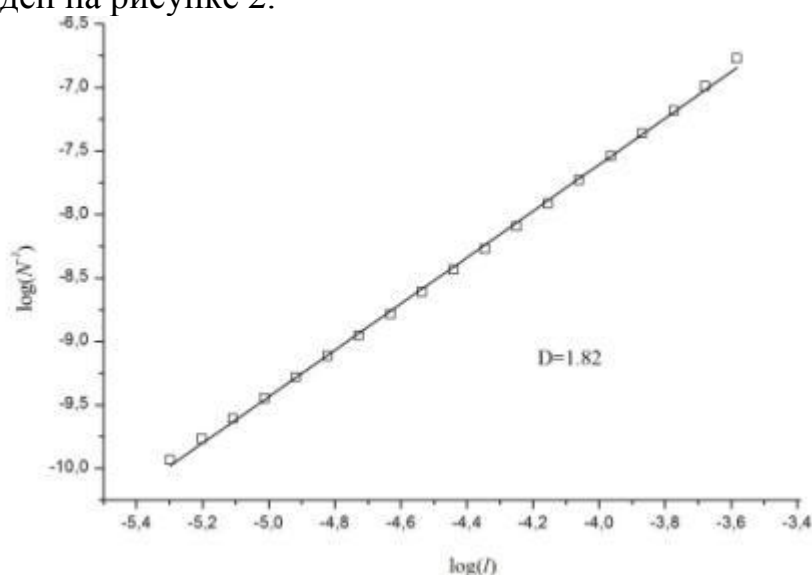


Рисунок 2. зависимость (1) в двойных логарифмических координатах для модельной структуры конденсата.

В результате, были получены значения  $D \approx 1.82$  и  $D \approx 1.86$  для модельной и реальной структуры соответственно. Таким образом, представление осаждения конденсатов моделью агрегационного роста, ограниченного диффузией, позволяет достаточно точно воспроизвести их структуру.

#### Список используемых источников

1. Olemskoi, A.I. Hierarchical condensation near phase equilibrium / A.I. Olemskoi, O.V. Yushchenko, V.N. Borisyuk, T.I. Zhilenko, Yu.O. Kosminska, V.I. Perekrestov // Physica A. – 2012 (**391**), 3277.
2. Witten, T.A. Diffusion-limited aggregation / T.A. Witten, L.M. Sander // Phys. Rev. B. – 1983 (**27**), 5686.
3. Feder J. Fractals, New York: Plenum Publishers, 1988

## ВЫБОР ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СПЛАВА МЕДИ ДЛЯ ПРОЦЕССА ПРОПИТКИ

*Власов С.Э., Гулевский В.А.*

*Волгоградский государственный технический университет  
[vlasov1s@ya.ru](mailto:vlasov1s@ya.ru).*

В данной работе благодаря использованию математического аппарата была выявлена зависимость химического состава сплава Cu-P-Cu(00), а так же свойств и требований, необходимых для процесса пропитки. По данным исследования проведена оптимизация химического состава по свойствам и найдено оптимальное содержание в процентном соотношении Cu-P-Cu(00). На основе этих данных был получен сплав Cu-P-Cu(00), экспериментальные исследования подтвердили зависимость процентного соотношения сплава Cu-P-Cu(00) и его свойств.

В настоящее время проводятся разнообразные исследования взаимодействия металлических расплавов с твердыми каркасами. Результаты подобных работ показывают, что в большинстве случаев существует оптимальный состав жидкой фазы [1]. Но трудность заключается в выборе большого количества вариантов сплавов, которые еще необходимо экспериментально проверить.

В технологических процессах получения композиционных материалов методом пропитки важнейшую роль играют явления смачивания твердых тел жидкостью и растекания жидкостей по поверхности твердых тел [2]. Для разработки оптимального состава сплава меди, и его дальнейшего использования в качестве расплава матричного сплава в процессах пропитки, есть ряд необходимых требований. Например: краевой угол смачивания должен быть меньше  $90^\circ$ , глубина затекания в поры каркаса и



заполняемость пор - максимальная, усадка сплава близкая к нулю, при этом хорошая жидкотекучесть, , кроме того , высокая коррозионная стойкость, минимальное электрическое сопротивление, твёрдость и т.д. Требуемые свойства напрямую зависят от химического состава сплава. В теории физико-химического анализа, Н.С. Курнаковым и его учениками были исследованы и составлены диаграммы состояние-свойство, в которых по двойным диаграммам состояния прогнозировались свойства сплавов, такие как температура плавления, твёрдость, электрическое сопротивление [3].

В данной работе благодаря использованию математического аппарата была выявлена зависимость химического состава сплава Cu-P-Cu(00), а так же свойств и требований, необходимых для процесса пропитки. Пример расчёта, на котором есть массив данных, из которого составлены уравнения регрессии:

$$8b_0+66b_1+68,5b_2+665,5b_3-9,04;$$

$$66b_0+610,5b_1+450,5b_2+5539b_3-67,79;$$

$$68,5b_0+450,5b_1+792,75b_2+5606,75b_3-89,385;$$

$$665,5b_0+450,5b_1+5606,75b_2+55404,25b_3-746,825,$$

коэффициенты  $b_0, b_1, b_2, b_3$ - коэффициенты регрессии.

Основу и базовые свойства сплава формирует Cu (МЗ), на конечные свойства сплава существенное влияние оказывают процентное содержание фосфора и меди(00), так процентное увеличение содержания P в заданном интервале увеличивает твёрдость сплава и снижает поверхностное натяжение, а процентное увеличение содержания Cu(00) снижает твёрдость и увеличивает поверхностное натяжение. Найденные зависимости представлены в виде графиков состояние-свойство, таких как глубина затекания в поры, поверхностное натяжение, твёрдость, и удельная электрическая проводимость.

По данным исследования проведена оптимизация химического состава по свойствам и найдено оптимальное содержание в процентном соотношении Cu-P-Cu(00). На основе этих данных был получен сплав Cu-P-Cu(00), экспериментальные исследования подтвердили зависимость процентного соотношения сплава Cu-P-Cu(00) и его свойств.

#### Список используемых источников

1. Тучинский Л.И. Композиционные материалы получаемые методом пропитки. М.: Металлургия. 1986. 208 с.
2. Найдич Ю. В. Смачиваемость и поверхностные свойства расплавов и твердых тел/Ю.В. Найдич.-Киев: Наукова думка.-1972.-с.61-63.
3. Курнаков Н.С. Введение в физико-химический анализ/В.А. Немиллов.-Москва: Издательство академии наук СССР.-1940.-с.481-501.

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПУШКИ

*Чулков И.С., Гончаров А.Л.*

*Национальный Исследовательский Университет «МЭИ»*

Объектом исследования являлась сварочная электронная пушка, используемая в технологической сварочной установке Languerin. Пушка обеспечивает генерацию электронного пучка мощностью до 45 кВт при ускоряющем напряжении до 50 кВ.

Конструкция пушки выполнена по трёх электродной схеме в качестве эмиттера электронов используется ленточный прямонакальный танталовый катод. Формирование пучка электронов и управление током пучка осуществляется с помощью сферического управляющего электрода, к которому прикладывается отрицательный потенциал большего значения, чем потенциал катода. Изменение данного потенциала осуществляет регулировку тока пучка. Эмитированные с катода электроны ускоряются в промежутке между катодом и анодом т.к. между катодом и анодом приложена разность потенциалов в 50 кВ.

Задачами работы являлись построение математической 3D модели электронной пушки и исследование влияния тока пучка и тока фокусировки на: геометрические параметры электронного луча, фокусное расстояние, размер изображения кроссовера.

Для моделирования использовалась твердотельная 3D конструкция пушки. Для математического моделирования работы электронной пушки использовался расчет конфигурации статического и магнитного полей, создаваемого электродами пушки, а так же траектории движения электронов пучка в этих полях. Расчет проводится методом конечных элементов с использованием пакета CST Particle Studio, покрывая все элементы трёхмерной сеткой, опираясь на кривизну объектов. Для моделирования использовались только основные элементы: катод, управляющий электрод, анод и фокусирующая катушка. При расчетах использовалась модель идеального вакуума, т.е. остаточное давление в камере  $p_{ост} = 0$ . Материал катода, управляющего электрода и анода являются идеальным электрическим проводником.

Расчёта траекторий движения электронов в электронной пушке проходил в три этапа. На первом этапе производилось решение электростатической задачи, в которой вычислялись напряженности электрических полей в моделируемом объёме с учётом геометрических параметров деталей электронной пушки и её электрических потенциалов. На втором этапе решалась магнитная задача, вычислялись линии магнитной индукции в заданном объеме, источником которой являлась магнитная катушка и электронный луч. На третьем этапе рассчитывались траектории

движения электронов пучка с учётом ранее рассчитанных электрических и магнитных полей.

Расчёт множества траекторий электронов, эмитируемых с поверхности катода, дает возможность получить представление о форме электронного пучка в целом, а так же определить его геометрические и энергетические характеристики в любом сечении, в том числе и на поверхности изделия. В работе определялись диаметр луча, форма в заданном сечении и угол сходимости, а также мощность луча, ток луча, энергия электронов в заданном сечении.

При моделировании использовались следующие допущения, среда, в которой располагается электронная пушка, имеет форму параллелепипеда. В исследовании использовались в виде объемных твердых тел катод, анод и управляющий электрод, формы и размеры, которых соответствуют реальным электродам пушки. Расстояния между электродами так же соответствуют реальным. Граничным условием среды, в которой производилось исследование, было выбрано равенство нулю напряженностей электрических полей ( $E = 0$ ) на каждой грани параллелепипеда, т.к. это соответствует заземлению корпуса ЭЛУ.

Для исследования влияния геометрии управляющего электрода на параметры электронного луча в области сварки, расчеты проводились для двух моделей управляющих электродов, представленных на рисунке 1. Наиболее важными геометрическими параметрами луча являются его диаметр в области изображения кроссовера, угол его сходимости (угловая апертура) и фокусное расстояние. Диаметр луча определяет значение плотности мощности в пятне нагрева. Минимальные значения диаметра луча в пятне нагрева соответствуют максимальным плотностям мощности в пятне нагрева, а значит и большей эффективности процесса сварки. Поэтому целью является нахождение зависимостей угла сходимости и фокусного расстояния (от среза пушки) от тока фокусировки.

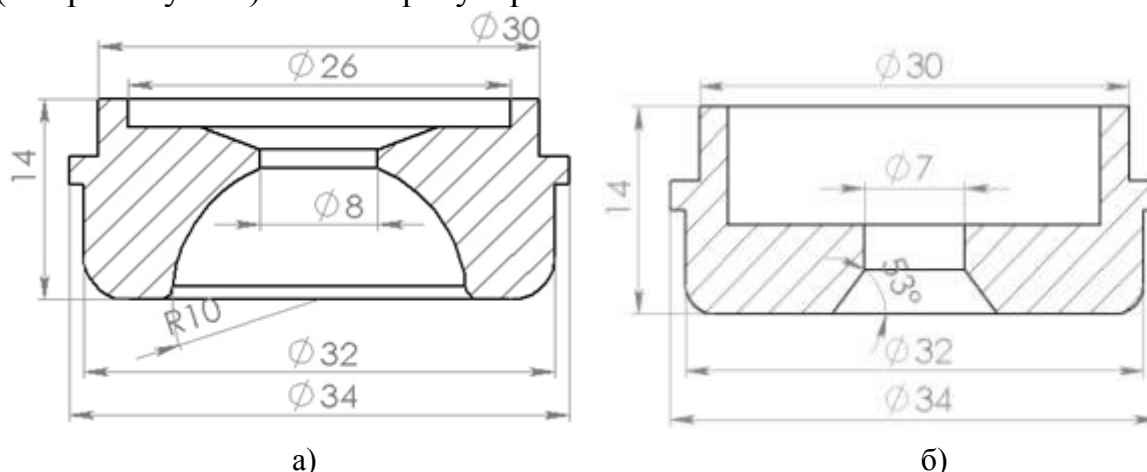


Рисунок 1. а - управляющий электрод со сферической поверхностью; б - управляющий электрод с конической поверхностью

Для двух конструкций управляющих электродов моделирование проводилось с постоянным шагом тока фокусировки, 0.05 А. Вся

исследуемая область была разбита с постоянным шагом в 5 мм при помощи мониторов (виртуальных датчиков) расставленных ортогонально оси пушки. Для определения диаметра пучка в плоскости изображения кроссовера и его координата относительно среза пушки были использованы мониторы.

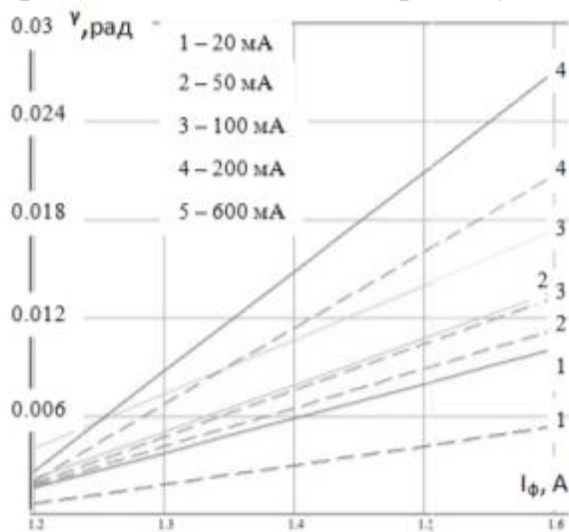


Рисунок 2. Зависимости фокусного расстояния от тока фокусировки при различных конструкциях управляющего электрода:

- а) ----- Кривые для исходной конструкции.  
 б) - - - - - Кривые для новой конструкции

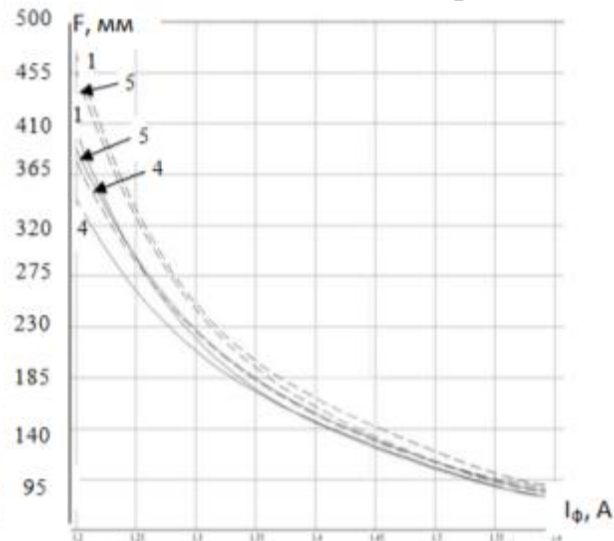


Рисунок 3. Зависимости сходимости электронного луча от тока фокусировки при различных конструкциях управляющего электрода:

- а) ----- Кривые для исходной конструкции;  
 б) - - - - - Кривые для новой конструкции

По результатам (рис. 2-3) видно, что при одинаковом токе электронного пучка сходимость ( $\gamma$ ) от тока фокусировки, имеет меньшие значения при использовании управляющего электрода новой конструкции, что положительно влияет на параметры сварного шва при сварке больших толщин и обеспечивает более узкий канал проплавления. Диаметры изображения кроссовера при малых тока пучка практически идентичны, но с ростом тока диаметр изображения кроссовера в конструкции с новым управляющим электродом увеличивается быстрее, что может отрицательно сказаться на геометрических параметрах сварного шва. При одном и том же токе электронного пучка фокусное расстояние при использовании новой конструкции управляющего электрода больше, что расширяет технологические возможности ЭЛУ.

В представленной работе рассмотрена электронно-лучевая пушка и предложена новая конструкция управляющего электрода. Так же проведенные расчеты имеют прикладное применение для операторов данной технологической сварочной установки Languerin, т.к. используя полученные зависимости можно сократить число натуральных экспериментов. Отработана методика моделирования электронно-лучевой пушки, соответственно в дальнейшем можно использовать полученный опыт для исследования других характеристик и прогнозировать изменения параметров при разработке новой конструкции электронно-лучевой пушки.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФРАКТАЛЬНОГО И ИНКРЕМЕНТАЛЬНОГО ПОДХОДОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЯРИЗАЦИИ ГУСТОСЕТЧАТЫХ ЭПОКСИАМИННЫХ ПОЛИМЕРОВ

*Улитин Н.В., Насыров И.И., Набиев Р.Р., Сидельникова В.А.,  
Дебердеев Т.Р., Нуриев Н.К., Дебердеев Р.Я.*  
ФГБОУ «Казанский национальный исследовательский технологический  
университет», г. Казань, [rafa2kazan812@rambler.ru](mailto:rafa2kazan812@rambler.ru)

Актуальной задачей, возникающей при применении радиопрозрачных стеклопластиков, является снижение деформационного двойного лучепреломления (ДДЛ). Известно, что наиболее оптимальными матрицами в аспекте сочетания хороших прочностных и диэлектрических свойств являются густосетчатые эпоксиаминные полимеры (ГЭП). Поэтому целью работы является создание математической модели, позволяющей оценивать ДДЛ, исходя из модельных представлений об архитектуре полимера. Экспериментальными объектами были выбраны полимеры с различной плотностью сшивки на основе диглицидилового эфира бисфенола А, отверждаемого смесями гексилamina и гексаметилендиамина. Модель разработана на основе наследственной теории при условии, что архитектура сетки пространственно однородна и не происходит разрушения ее связей. Предполагалось, что нормированное на единицу распределение времен крупномасштабной релаксации для сдвиговой податливости и электромагнитной восприимчивости одно и то же и задавалось распределением Работнова [1]. Теоретические закономерности ДДЛ густосетчатых полимеров могут быть полностью описаны следующей совокупностью уравнений:

$$\Delta n = C \Delta \tau,$$

$$C = 0,5 \xi J,$$

$$J = \frac{A_{\infty}}{T} (w_{J,\beta} + (1 - w_{J,\beta}) J_{N,\alpha})$$

$$J_{N,\alpha} = \int_{-\infty}^{\infty} L_{J,\alpha}(\theta) [1 - \exp(-t/\theta)] d \ln \theta$$

$$L_{J,\alpha}(\theta) = \sin[\pi(1 - \Xi_{J,\alpha})] / [2\pi \{ \text{ch}[(1 - \Xi_{J,\alpha}) \ln(\theta / \Theta_{J,\alpha})] + \cos[\pi(1 - \Xi_{J,\alpha})] \}]$$

$$\xi = \xi_{\infty} (w_{\xi,\beta} + (1 - w_{\xi,\beta}) G_{N,\alpha}),$$

$$C = 0,5 \frac{A_{\infty}}{T} (w_{C,\beta} + (1 - w_{C,\beta}) J_{N,\alpha}),$$

$$\lg(\Theta_{J,\alpha}(T) / \Theta_{J,\alpha}(T_g)) = 40((f_g / (f_g + \alpha(1 - f_g)(T - T_g))) - 1),$$

где  $\Delta n$  – ДДЛ,  $\Delta \tau$  – разность главных сдвиговых напряжений в данной точке,  $C$  – релаксационный оператор (РО) электромагнитной восприимчивости,  $J$  – РО сдвиговой податливости,  $J_{N,\alpha}$  – дробно-

экспоненциальный оператор,  $\xi$  – упругий коэффициент электромагнитной восприимчивости,  $\mathbf{J}_N$  – нормированный оператор Вольтерра,  $\xi_\infty$  – равновесный упругий коэффициент электромагнитной восприимчивости;  $w_{\xi,\beta}$ ,  $w_{J,\beta}$  – весовые коэффициенты, которые представляют вклад  $\beta$ -переходов в  $\xi_\infty$  и в  $J_\infty$ ,  $\Theta_{J,\alpha}$  – среднее время  $\alpha$ -релаксации;  $\Xi_{J,\alpha}$  – ширина распределения ( $0 \leq \Xi_{J,\alpha} \leq 1$ ),  $\mathbf{G}_{N,\alpha}$  – дробно-экспоненциальный оператор,  $T$  – текущее значение температуры,  $A_\infty$  – константа высокоэластического состояния,  $T_g$  – температура стеклования полимера,  $\alpha_g$ ,  $\alpha_\infty$  – коэффициенты теплового расширения в стеклообразном и высокоэластическом состоянии соответственно,  $f_g$  – доля флуктуационного свободного объема,  $\theta$  – время релаксации,  $t$  – текущее время.

Параметры модели – температура стеклования, коэффициенты теплового расширения, константа высокоэластического состояния, равновесный упругий коэффициент электромагнитной восприимчивости, весовые коэффициенты – имеют ясный физический смысл и поэтому могут быть найдены как аналитически, так и эмпирически.

Для решения задачи расчета параметров модели, необходимо знать значение фрактальной размерности архитектуры сетчатого полимера, среднечисловую степень полимеризации межузловой цепи и среднее количество эластически эффективных узлов. Для определения первой характеристики, с использованием библиотеки физического моделирования Bullet Physics Library проведено компьютерное моделирование архитектуры экспериментальных объектов. Для определения двух других характеристик, архитектура моделировалась с использованием теории графов. В итоге был разработан фрактально-инкрементальный подход для теоретической оценки параметров модели. Экспериментально параметры модели определялись на поляризационном приборе, описанном в работе [2]. Параметры релаксационного спектра – среднее время крупномасштабной релаксации и ширина моды – найдены из кривых ползучести и фотоползучести, снятых в переходной зоне для серии температур, в рамках решения обратной задачи. Как и постулировалось, релаксационный спектр для сдвиговой податливости и электромагнитной восприимчивости одинаков. Зависимость средних времен крупномасштабной релаксации от температуры и выше, и ниже температуры стеклования полностью подчиняется предложенному в рамках модели уравнению.

Адекватность теории экспериментально доказана за счет сопоставления прогнозируемого и реального хода термополяризационных кривых. Расчет воспроизводил эксперимент, который на практике осуществлялся в режимах нагревания и охлаждения при воздействии постоянной нагрузки. Среднее расхождение между теоретически и экспериментально найденными параметрами модели составило 18%. Таким образом, разработанная модель

может применяться для прогнозирования ДДЛ, оптических, равновесных механических и электромагнитных характеристик не только эпоксиаминных, но и других густосетчатых полимеров, исходя из модельных представлений об их архитектуре.

#### Список используемых источников

1. Работнов Ю.Н. Элементы наследственной механики твердых тел. М.: Наука, 1977. – 384 с.
2. Зуев Б.М. [и др.]. ВМС. 1993. Т. 35(А), № 6. С. 669-674.

## МЕТОД НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СТРУКТУРНЫХ ПЕРЕХОДОВ В ПОЛИМЕРАХ

*Бородавкин Д.Г., Каратеев А.А., Рогов И.В., Майникова Н.Ф.*  
*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»*  
*[teplotehnika@nnn.tstu.ru](mailto:teplotehnika@nnn.tstu.ru)*

В данной работе рассматривается метод неразрушающего контроля (НК) температурных характеристик структурных переходов в полимерных материалах (ПМ), включающий калибровку измерительной системы (ИС) на материалах с известными теплофизическими свойствами (ТФС), отличающийся тем, что осуществляют тепловое воздействие постоянной мощности от линейного источника тепла, обрабатывают с заданным шагом дискретизации регистрируемые термограммы нагрева в точках, расположенных на линии источника тепла и на заданных расстояниях от линии нагревателя по модели распространения тепла в цилиндрическом полупространстве при регуляризации тепловых потоков, определяют температуру структурного перехода:

– по аномалиям на температурных зависимостях ТФС в зоне структурного перехода (сопровождающегося тепловым эффектом) по выявленным отклонениям от аналитической модели;

– по изменениям параметров модели и их дисперсий в температурном интервале структурного перехода без проведения калибровки ИС;

– по изменениям скоростей нагрева объекта (за счет теплового эффекта структурного превращения) в контролируемых точках.

Согласно измерительной схеме системы: изделие – зонд, тепловое воздействие на исследуемое полимерное тело, имеющее равномерное начальное температурное распределение, осуществляется с помощью линейного нагревателя постоянной мощности, встроенного в подложку измерительного зонда (ИЗ). Начальное температурное распределение контролируется термоэлектрическими преобразователями (ТП), расположенными на поверхности подложки ИЗ. ТП в ходе эксперимента

фиксируются термограммы – зависимости избыточной температуры  $T$ , (или температуры изделия  $T^*$ ) от времени [1].

Решение задачи, описывающее процесс распространения тепла в исследуемом полуограниченном теле в предположении отсутствия структурного перехода, известно и имеет вид для рабочего участка термограммы:

$$T \tau \approx \frac{q_0}{2\pi\lambda_1} \left\{ \ln \left[ \frac{4a_1\tau}{r^2} \right] - \gamma \right\} = \frac{q_0}{2\pi\lambda_1} \ln x_1 + \ln x_2 - \ln x_3 - \gamma, \quad (1)$$

где  $T$  – избыточная температура,  $q_0$  – минимальная мощность источника тепла,  $x_1, x_2, x_3$  – численные значения времени  $\tau$ , температуропроводности  $a_1$  и величины  $r^2/4$  на рабочем участке термограммы;  $\gamma \approx 0,5772$  – число Эйлера.

Показано, что температурное поле в исследуемой системе, полученное численным моделированием температурных полей методом конечных элементов с помощью пакета Matlab, близко аналитической модели (1) в температурно-временном интервале рабочего участка.

Для получения расчетных зависимостей представим уравнение (1) в виде:

$$T z = b_0 + b_1 z, \quad (2)$$

где  $b_0 = \frac{\alpha}{\lambda} \ln[a] - \beta$ ,  $b_1 = \frac{\alpha}{\lambda}$  – коэффициенты математической модели,

описывающей термограмму на рабочем участке;  $\alpha = q/2\pi$ ,  $\beta = \ln[r^2/4] + \gamma$  – постоянные ИЗ, определяемые конструктивными и режимными особенностями применяемого устройства;  $z = \ln[\tau]$ .

Выражения для расчета ТФС и постоянных ИЗ имеют вид:

$$\alpha = \lambda_0 b_{10}; \quad \beta = \ln a_0 - \frac{b_{00}}{b_{10}}; \quad (3, 4)$$

$$\lambda = \frac{\alpha}{b_1}; \quad a = \exp \left[ \frac{b_0}{b_1} + \beta \right]. \quad (5, 6)$$

Здесь  $\lambda$ ,  $a$ ,  $\lambda_0$ ,  $a_0$  – значения теплопроводности и температуропроводности материалов исследуемого изделия и образцовой меры, соответственно;  $b_0, b_1, b_{00}, b_{10}$  – коэффициенты модели, определяемые из термограмм, зафиксированных на материалах изделия и образцовой меры.

Для расчета текущих значений  $a_i^*$ ,  $b_{1i}$  и  $b_{0i}$  экспериментальную термограмму разобьем на интервалы с номерами точек  $1 \dots k$ ;  $2 \dots k + 1$ ;  $n - k + 1 \dots n$ , где  $k$  – количество точек в интервале, целое нечетное положительное число ( $k \geq 3$ );  $n$  – количество точек в термограмме;  $i$  – номер интервала, целое число,  $i = 1 \dots n - k$ .

Текущие значения  $a_i^*$  по каждому интервалу:



$$a_i^* = \exp \left[ \frac{b_{0i}}{b_{1i}} + \beta \right], \quad (7)$$

где

$$b_{1i} = \left[ \sum_{j=i}^{i+k-1} T_j (z_j - \bar{z}_i) \right] \left[ \sum_{j=i}^{i+k-1} (z_j - \bar{z}_i)^2 \right]^{-1}, \quad \bar{z}_i = \frac{1}{k} \sum_{j=i}^{i+k-1} z_j, \quad (8, 9)$$

$b_{1i}$  – текущие значения коэффициента  $b_1$ .

Значения коэффициента  $b_{0i}$ :

$$b_{0i} = T_s - b_{1i} \bar{z}_i, \quad T_s = \frac{1}{k} \sum_{j=i}^{i+k-1} T_j, \quad (10, 11)$$

где  $T_s$  – среднее значение температуры из  $k$  измерений в каждом интервале;  $T_j$  – температура на  $j$  шаге измерения,  $z_j = \ln[\tau_j]$ .

Модель (2) на рабочем участке термограммы – описывает случайный стационарный процесс (протекающий во времени однородно, частная реализация которого с постоянной амплитудой колеблется вокруг средней функции). Оценки дисперсий текущих коэффициентов  $b_{1i}$  и  $b_{0i}$  на этом участке, в случае отсутствия структурного превращения, можно считать постоянными. Их рассчитывают по формулам:

$$S_{b_{1i}}^2 = \frac{S_{T_i}^2}{\sum_{j=i}^{i+k-1} z_j - \bar{z}_i^2}, \quad S_{b_{0i}}^2 = S_{T_i}^2 \left\{ \frac{1}{k} + \frac{\bar{z}_i^2}{\sum_{j=i}^{i+k-1} z_j - \bar{z}_i^2} \right\}, \quad (12, 13)$$

где

$$S_{T_i}^2 = \frac{1}{k-2} \left\{ \sum_{j=i}^{i+k-1} T_j - \bar{T}_i^2 - \frac{\left[ \sum_{j=i}^{i+k-1} T_j (z_j - \bar{z}_i) \right]^2}{\sum_{j=i}^{i+k-1} z_j - \bar{z}_i^2} \right\},$$

$S_{T_i}^2$  – оценка дисперсии значений температуры.

Если в исследуемом изделии из ПМ происходит структурное превращение, которое сопровождается тепловым эффектом, то значения текущих коэффициентов  $b_{1i}$  и  $b_{0i}$  существенно изменяются в узких временном и температурном интервалах. Построив зависимости текущих коэффициентов  $b_{1i}$ ,  $b_{0i}$  (или их дисперсий  $S_{b_{1i}}^2$ ,  $S_{b_{0i}}^2$ ) от температуры изделия ( $T_s$ ), по характерным аномалиям определяют температурные интервалы структурных превращений в ПМ без проведения калибровки ИС.

#### Список используемых источников

1. Многомодельные методы в микропроцессорных системах неразрушающего контроля теплофизических характеристик материалов / С.В. Мищенко, Ю.Л. Муромцев, Н.П. Жуков, Н.Ф. Майникова, И.В. Рогов; под ред. С.В. Мищенко. – Тамбов: ТГТУ, 2001. – 112 с.

# КОМПЛЕКСНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ\*

Чернышов<sup>1</sup> В.Н., Ковылин<sup>2</sup> А.В.

<sup>1</sup> - ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов;

<sup>2</sup> - ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет», Волгоград, [Kovylin.andrei@mail.ru](mailto:Kovylin.andrei@mail.ru).

При возведении объектов различного назначения, в ходе строительства, необходимо знание ТФС строительных материалов, а в процессе эксплуатации здания необходимо проводить мониторинг ТФС ограждения. Информация о свойствах новых, разрабатываемых и используемых материалах позволяет корректно проводить тепловые расчеты систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, выбирать оптимальные варианты эксплуатации и контролировать энергосбережение в зданиях. Актуальной является и задача снижения уровня эксплуатационного энергопотребления при определении ТФС.

Сущность работы заключается в следующем. В естественных условиях в разные периоды года происходит нагрев или охлаждение ограждающей конструкции здания. Также в течение суток за счет солнечного излучения температура ограждающей конструкции здания меняется. В результате этого через ограждающую конструкцию здания проходят тепловые потоки, которые меняются в течении суток (а также в течении года): зимой тепловой поток направлен от внутренней стенки к наружной, а в летний период — наоборот. В результате, в ограждающей конструкции возникают температурные волны. В этом случае для определения комплекса теплофизических характеристик (коэффициентов теплопроводности, объемной теплоемкости и температуропроводности) достаточно естественных условий: охлаждение наружной ограждающей конструкции в холодный период года или нагрев наружной стенки в теплый период года.

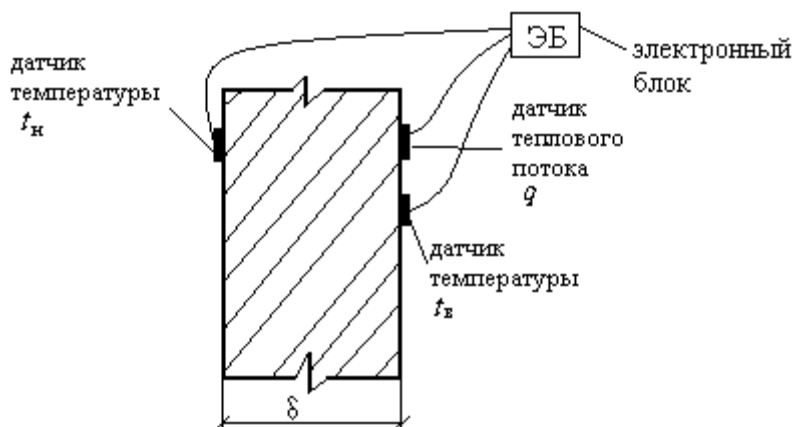


Рисунок 1. Схема установки датчиков температур и теплового потока на поверхностях ограждения здания.

Для того чтобы определить комплекс нужно знать температуру на наружной и внутренней поверхности ограждения, а также тепловой поток проходящий через неё. Поэтому на исследуемую поверхность ограждающей конструкции здания устанавливают датчики измерения температуры и теплового потока. Схема установки приведена на рис. 1.

На рис. 2 приведены экспериментальные распределения по часам в течение суток с интервалом в один час: температур внутренней  $T_{\text{вн}}$ , °С и наружной поверхности ограждения здания  $T_{\text{нар}}$ , °С, температуры внутреннего  $T_{\text{вн.в}}$ , °С и наружного воздуха  $T_{\text{нар.в}}$ , °С теплового потока на наружной поверхности стены ограждения здания  $q_{\text{нар}}$ , Вт/м<sup>2</sup>.

Толщина однородной стены ограждения здания из красного кирпича составляет  $\delta = 0,6$  м.

Максимальная плотность теплового потока наблюдалась в ночные часы и составила  $q_{\text{п}}^{\text{max}} = 26$  Вт/м<sup>2</sup>. Минимальная плотность теплового потока наблюдалась в дневные часы и составила  $q_{\text{п}}^{\text{min}} = 1,1$  Вт/м<sup>2</sup>.

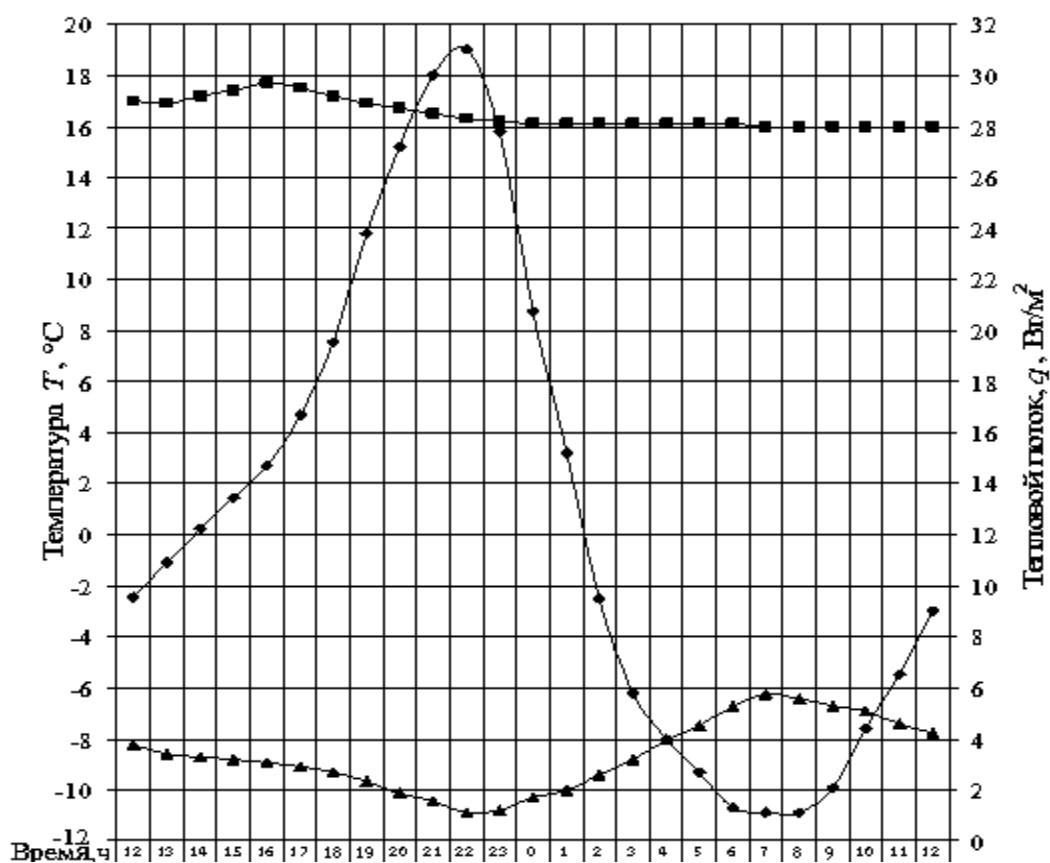


Рисунок 2. Экспериментальные распределения температур и теплового потока ограждения здания из красного кирпича: ■ — температура поверхности внутренней стены ограждения здания, °С; ▲ — температура поверхности наружной стены ограждения здания, °С; ◆ — плотность теплового потока на наружного ограждения здания, Вт/м<sup>2</sup>.

При максимальной плотности теплового потока  $q_{\text{п}}^{\text{max}} = 26$  Вт/м<sup>2</sup>, температура наружной поверхности стены составляла  $t_{\text{нар}} = -13,1$  °С, температура внутренней поверхности стены  $t_{\text{вн}} = +16,3$  °С.

Коэффициент теплопроводности  $\lambda$  определяется по формуле:

$$\lambda = (q_{\text{п}}^{\text{max}} \delta) / (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}) = (26 \cdot 0,6) / 29,4 = 0,53 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}.$$

Максимальная амплитуда колебаний температурной волны  $\vartheta_{\Pi}^{\max}$  на наружной поверхности ограждения здания в течение суток составила

$$\vartheta_{\Pi}^{\max} = 0,5(T_{\Pi}^{\max} - T_{\Pi}^{\min}) = 0,5(-6,3 - (-13,1)) = 3,4 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

где  $T_{\Pi}^{\max} = -6,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$  — максимальная температура на наружной поверхности ограждения здания в 22 час;  $T_{\Pi}^{\min} = -13,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$  — минимальная температура на наружной поверхности ограждения здания в 7 часов.

Коэффициент теплоусвоения ограждения определяется по формуле:

$$B = q_{\Pi}^{\max} / \vartheta_{\Pi}^{\max} = 26 / 3,4 = 7,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Объемная теплоемкость ограждения определяется по формуле:

$$(c\rho) = (B^2 z) / (\lambda \cdot 2\pi) = (57,8 \cdot 86400) / (0,53 \cdot 2 \cdot 3,14) = 1500 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}),$$

где  $z = 86400$  — полный период колебаний температуры на наружной поверхности ограждения здания, с.

Коэффициент температуропроводности ограждения здания составляет:

$$a = \lambda / (c\rho) = 0,53 / 1500000 = 0,35 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Термическое сопротивление теплопроводности ограждения здания определяется из выражения

$$R = \delta / \lambda = 0,6 / 0,53 = 1,132 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}.$$

Тепловая инерция ограждения здания рассчитывается по формуле:

$$b = \lambda \cdot (c\rho) = 0,53 \cdot 1500000 = 0,795 \cdot 10^6, \text{ Дж}^2/(\text{с} \cdot \text{м}^4 \cdot \text{К}^2) = 0,795 \cdot 10^3, \text{ кДж}^2/(\text{с} \cdot \text{м}^4 \cdot \text{К}^2).$$

Выводы: в результате проведенных работ была разработана методика комплексного определения коэффициентов теплопроводности, температуропроводности, объемной теплоемкости, термического сопротивления, теплоусвоения и тепловой инерции ограждений зданий, строительных и теплоизоляционных материалов по тепловым и температурным измерениям на поверхности ограждения здания в течение одного опыта методом неразрушающего контроля.

#### Список используемых источников

1. Фокин В.М., Ковылин А.В. Теоретические основы определения теплопроводности, объемной теплоемкости и температуропроводности материалов по тепловым измерениям на поверхности методом неразрушающего контроля // Вестник ВолгГАСУ. Серия: Строительство и архитектура. Волгоград, 2009. №14(33). С.123–127.

2. Чернышов В.Н., Чернышов А.В., Голиков Д.О. Метод и система оперативного контроля теплофизических характеристик строительных материалов // Контроль. Диагностика. 2010. № 11. С. 34–41.

*\*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта 12-08-90816-мол\_рф\_нр.*

# НЕЗАТУХАЮЩИЙ РЕЖИМ ПРЕРЫВИСТОГО ДВИЖЕНИЯ ПРИ ГРАНИЧНОМ ТРЕНИИ

*Манько Н.Н., Ляшенко Я.А.*

*Сумский государственный университет, 40007 Сумы, Украина  
[mtashan@rambler.ru](mailto:mtashan@rambler.ru)*

Исследование процессов граничного трения, происходящих в наноразмерных трибологических системах, на сегодняшний день привлекает повышенный интерес многих исследователей. Одним из развивающихся направлений является изучение трения атомарно-гладких твердых поверхностей при наличии ультратонкого слоя однородного смазочного материала между ними. Поэтому последнее время стало появляться большое количество феноменологических моделей, одна из которых получила свое развитие в работах [1-2]. В общем случае синергетическое представление процессов граничного трения [1-2] позволяет описать нетривиальное поведение ультратонкой пленки смазочного материала, зажатой между двумя твердыми телами, при их взаимном перемещении. Однако до настоящего времени этот момент упускался. В настоящей работе рассмотрен вопрос о возникновении в системе колебаний в режиме детерминистического хаоса, который может наблюдаться в рамках синергетической модели [1-2].

Модель, описывающая плавление ультратонкого слоя смазки между твердыми телами, базируется на системе безразмерных уравнений типа Лоренца [1-2]:

$$\dot{\sigma} = -\sigma + g\varepsilon, \quad (1)$$

$$\tau\dot{\varepsilon} = -\varepsilon + (T-1)\sigma, \quad (2)$$

$$\delta\dot{T} = (T_e - T) - \sigma\varepsilon + \sigma^2. \quad (3)$$

где  $\sigma$  – сдвиговая компонента напряжений, возникающих в смазке;  $\varepsilon$  – сдвиговая компонента относительных деформаций;  $T$  – температура смазки. Здесь также введены константа  $g < 1$ , численно равная отношению модуля сдвига смазки  $G$  к его характерному значению  $G_0$ , температура поверхностей трения  $T_e$  и параметры  $\tau = \tau_\varepsilon/\tau_\sigma$  и  $\delta = \tau_T/\tau_\sigma$ , где  $\tau_\sigma$  и  $\tau_\varepsilon$  – времена релаксации напряжений  $\sigma$  и деформации  $\varepsilon$  соответственно, а  $\tau_T$  – время теплопроводности [1-2].

В общем случае, когда все времена релаксации в системе (1)-(3) имеют отличные от нуля значения, она сводится к дифференциальному уравнению третьего порядка в виде

$$\ddot{\sigma} = \ddot{\sigma} \left( \frac{\dot{\sigma}}{\sigma} - \frac{1}{\tau} - \frac{\delta+1}{\delta} \right) + \frac{\dot{\sigma}}{\tau} \left( \frac{\dot{\sigma}(\tau+1)}{\sigma} - \frac{\sigma^2+1+\tau}{\delta} \right) + \frac{\sigma(g(T_e + \sigma^2 - 1) - \sigma^2 - 1)}{\delta\tau}. \quad (4)$$

Поскольку поведение системы, описываемое уравнением (4), критическим образом зависит от начальных условий, численное решение целесообразно представить в виде фазовых портретов. На рис. 1 приведены соответствующие фазовые портреты при различных температурах

поверхностей трения  $T_e$ . Для всех фазовых портретов начальное значение второй производной от напряжений по времени  $\ddot{\sigma} = 0$ . Начальные значения  $\dot{\sigma}$  и  $\sigma$  видны непосредственно на фазовых плоскостях, и соответствуют началу фазовых траекторий.

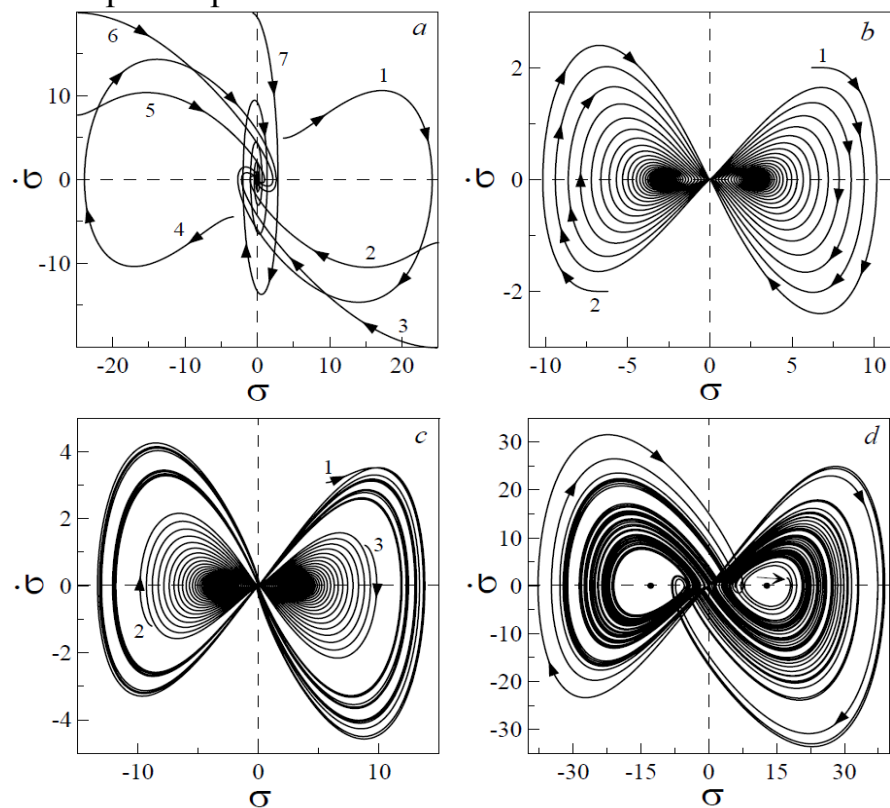


Рисунок 1. Фазовые портреты системы, полученные при численном решении уравнения (13) при параметрах  $g = 0.25$ ,  $\tau = 3$ ,  $\delta = 95$ . Рисунки  $a-d$  отвечают температурам  $T_e = 1, 30, 38, 500$ .

Рассмотрим более подробно рис. 1а. Фазовый портрет характеризуется единственной особой точкой в начале координат при  $\sigma = \dot{\sigma} = 0$ , которая в зависимости от начальных условий может представлять как устойчивый узел, так и устойчивый фокус. В частности, при начальном условии  $\sigma_0 \sim 0$  реализуется устойчивый фокус (траектория 7). Для траекторий 2, 3, 5 и 6 реализуется аperiодический режим, траектории 1, 4, и 7 представляют режим затухающих колебаний. Причем для параметров траектории 7 затухание выражено слабее, поскольку при релаксации видны несколько колебаний возле устойчивого значения  $\sigma = 0$ .

На рис. 1b показан фазовый портрет, на котором с течением времени устанавливается ненулевое значение напряжений  $\sigma_0$ . На фазовом портрете реализуются две симметричные, относительно начала координат, особые точки с координатами  $(\sigma_0, 0)$  и  $(-\sigma_0, 0)$ . Обе точки эквивалентны и представляют устойчивые фокусы, вокруг которых при установлении движения с постоянной скоростью реализуются продолжительные колебания.

При повышении температуры  $T_e$  реализуется ситуация, показанная фазовым портретом на рис. 1c. В этом случае на поведение системы

критическим образом влияет набор начальных значений  $\sigma_0$ ,  $\dot{\sigma}_0$  и  $\ddot{\sigma}_0$ . Видно, что при малых абсолютных значениях напряжений  $\sigma_0$  и скорости их изменения  $\dot{\sigma}_0$  на фазовом портрете реализуются те же особые точки, что и на рис. 1b (траектории 2 и 3 на рис. 1c). Однако, если в начале движения напряжения  $\sigma_0$  либо  $\dot{\sigma}_0$  превышают некоторые критические значения, устанавливается хаотический режим изменения напряжений, когда стационарное состояние со временем не устанавливается, а происходят постоянные фазовые переходы между твердоподобным и жидкоподобным состояниями смазки (траектория 1). На рис. 1c видно, что такой режим не периодичен во времени, а представляет странный аттрактор, т.е. реализацию детерминистического хаотичного режима в системе.

Рисунок 1d построен при достаточно большом значении температуры  $T_e$ , где стрелкой на правой части рисунка показана точка, которой соответствуют начало траектории (начальные условия при решении уравнения (13)). На рассматриваемом рисунке реализуются две симметричные особые точки (показаны точками на оси абсцисс), представляющие неустойчивые фокусы, в отличие от рис. 1c, где фокусы устойчивые. Поэтому при любых начальных условиях на рис. 1d устанавливается режим трения, которому соответствует реализация странного аттрактора на фазовой плоскости. Отметим, что фазовая траектория имеет вид странного аттрактора Лоренца [3], и режим, устанавливающийся здесь, обладает более выраженным стохастическим поведением, чем на рис. 1c.

В предлагаемой работе проводится дальнейшее развитие синергетической модели, описывающей состояние ультратонкого слоя смазочного материала, зажато между двумя атомарно-гладкими твердыми поверхностями, в процессе граничного трения. Описан режим прерывистого движения, часто наблюдаемый в экспериментах. Показано, что с ростом температуры поверхностей трения в системе усиливается стохастичность, а при превышении температурой критического значения система выходит на режим, описываемый аттрактором Лоренца. Полученные результаты качественно совпадают с известными экспериментальными данными.

#### Список используемых источников

1. Хоменко, О.В. Фазова динаміка тонкої плівки мастила між твердими поверхнями при деформаційному дефекті модуля зсуву / О.В. Хоменко, Я.О. Ляшенко // Журнал фізичних досліджень. – 2007. – №11. – С. 268-278.
2. Хоменко, А.В. Стохастическая модель прерывистого режима граничного трения с учетом деформационного дефекта модуля сдвига смазочного материала / А.В. Хоменко, Я.А. Ляшенко // Трение и износ. – 2010. – №31. – С. 412-422.
3. Lorenz, E. Deterministic nonperiodic flow / E. Lorenz // Journal of the Atmospheric Sciences. – 1999. – №1. – P. 1-6.

# РЕОКИНЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОТВЕРЖДАЮЩИХСЯ ЭПОКСИАМИННЫХ СИСТЕМ. МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФОРМАЛИЗМ ОПИСАНИЯ ПОЛИКОНДЕНСАЦИОННОГО ПРОЦЕССА

*Улитин Н.В., Дебердеев Р.Я., Терещенко К.А.  
Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
г. Казань, [nucleurmind@yandex.ru](mailto:nucleurmind@yandex.ru)*

Современные области применения композиционных материалов (КМ) требуют разнообразия эпоксиаминных матриц с широким спектром свойств, что, наряду с ограниченностью сырьевой базы, ставит задачу создания новых теоретических подходов к оценке свойств композиций. Здесь одним из важнейших направлений исследований является создание математических моделей кинетики процессов отверждения для теоретического определения времени гелеобразования, от которого зависит допустимое время формования КМ. Главная проблема при разработке таких моделей заключается в необходимости учета большого количества влияющих факторов: состав смеси, смена реакционной способности функциональных групп в ходе процесса отверждения вследствие роста вязкости композиции, температура, образование ассоциатов и др. Существующие в настоящее время модели основаны на множестве допущений, что снижает их практическую ценность.

Целью данной работы являлись разработка математической модели, описывающей кинетику химических процессов при отверждении эпоксиаминных систем, молекулярно-массовое распределение (ММР), реологические свойства смеси. Эксперименты по отверждению эпоксидных смол марок ЭД-16, ЭД-20, DER-330 и их смесей триэтилентетраамином показали высокое влияние на кинетику процесса надмолекулярной структуры смеси, а именно доли ассоциатов. Этот факт был учтен при создании математической модели, в основу которой была положена концепция блоков связи, дополненная алгоритмом расчета равновесной доли ассоциатов. Константы реакций отверждения в неупорядоченной и упорядоченной области (ассоциатах) были найдены сравнением реокинетических кривых, рассчитанных аналитически по модели и полученных методом ротационной вискозиметрии.

Расчет по данной модели осуществляется в три этапа:

1. Расчет концентрации непрореагировавших эпоксидных групп и концентраций узлов различной функциональности (фрагментов триэтилентетраамина в макромолекулах) ведется путем численного решения системы уравнений вида для различных времен с шагом  $\Delta t$ :

$$\frac{dA(i, j)}{dt} = (i + 2)k_1BA(i + 2, j - 1) + (j + 1)k_2A(i, j + 1)B - (ik_1 + jk_2)A(i, j)B,$$



где  $A(m,n)$  – доля молекул триэтилентетрамина или узлов сетки, имеющих  $m$  первичных и  $n$  вторичных реакционноспособных атомов водорода,  $m$  может принимать значения 4, 2, 0, а  $n$  изменяться от 4 до 0 с шагом 1 для данного типа отвердителя;  $B$  – доля непрореагировавших эпоксидных групп. Вычисляется как:

$$B = B_0 - \sum (3 - 0.5i - 0.5j)A(i, j),$$

где варьируются  $i \in \{4, 2, 0\}$ ,  $j \in \{4, 3, 2, 1, 0\}$  с учетом всех возможных их сочетаний. Формула действительна для стехиометрического соотношения смолы и отвердителя.

$k_1$  и  $k_2$  – эффективные константы скорости реакции эпоксидных групп с первичным и вторичным водородом амина соответственно. Принимаются равными:

$$k_1 = k_{1H}(1 - \phi_a) + \phi_a k_{1a},$$

где  $k_{1H}$  – константа скорости в неупорядоченной области,  $k_{1a}$  – константа скорости в ассоциатах,  $\phi_a$  – равновесная доля ассоциатов для данной смеси.

Применительно к двухфункциональной молекуле эпоксидного олигомера и шестифункциональному отвердителю (Система: ЭД-20 триэтилентетрамин) система кинетических уравнений выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} \frac{dA(42)}{dt} &= -(4k_1 + 2k_2)BA(42) \\ \frac{dA(41)}{dt} &= 2k_2BA(42) - (4k_1 + k_2)A(41)B \\ \frac{dA(40)}{dt} &= k_2BA(41) - 4k_1A(40)B \\ \frac{dA(23)}{dt} &= 4k_1BA(42) - (2k_1 + 3k_2)A(23)B \\ \frac{dA(22)}{dt} &= 4k_1BA(41) + 3k_2A(23)B - 2(k_1 + k_2)A(22)B \\ \frac{dA(21)}{dt} &= 2k_2BA(22) + 4k_1A(40)B - 2(k_1 + k_2)A(21)B \\ \frac{dA(20)}{dt} &= k_2BA(21) - 2k_1A(20)B \\ \frac{dA(04)}{dt} &= 2k_1BA(23) - 4k_2A(04)B \\ \frac{dA(03)}{dt} &= 4k_2BA(04) + 2k_1A(22)B - 3k_2A(02)B \\ \frac{dA(02)}{dt} &= 3k_2BA(03) + 2k_1A(21)B - 2k_2A(02)B \\ \frac{dA(01)}{dt} &= 2k_2BA(02) + 2k_1A(20)B - k_2A(01)B \\ \frac{dA(00)}{dt} &= k_2A(01)B \\ B &= B_0 - 0 \cdot A(42) - 0.5A(41) - A(40) - 0.5A(23) - A(22) - 1.5A(21) - 2A(20) \\ &\quad - A(04) - 1.5A(03) - 2A(02) - 2.5A(01) - 3A(00) \end{aligned}$$

Начальные условия  $B_0 = 0,75$ ;  $A(m,n) = 0$  за исключением  $A(4,2) = 0,25$ .

2. Расчет ММР смеси на основе данных о концентрациях узлов сетки различной функциональности  $A(m,n)$ .

Согласно концепции блоков связи концентрацию макромолекул или их фрагментов определенного типа можно рассчитать, зная концентрацию более мелких фрагментов цепи, входящих в их состав. При этом процесс сборки макромолекулы из элементарных фрагментов можно представить как ветвящийся процесс. Формализуя его для расчета на ЭВМ вводится оператор ветвления предусматривающий разветвление основной цепи максимум до 5 ветвей (минимальная же величина 0, остановка роста цепи) с вероятностями пропорциональными их концентрациям. Расчет ММР ведется последовательным итерационным применением данного оператора к матрице вероятностей существования фрагментов молекул  $V(r,n)$ , где  $r$  – количество еще растущих ответвлений,  $n$  – размер макромолекулы (число молекул эпоксидной смолы в ее составе). Очевидно, когда все строки, кроме первой, при  $r = 0$  станут нулевыми, первая строка и будет являться ММР.

3. Расчет вязкости смеси с известным ММР.

Вязкость композиций рассчитывалась, исходя из логарифмического правила смеси и зависимости вязкости олигомеров от молекулярной массы:

$$Lg\eta = \sum_i \phi_i Lg\eta_i$$

$$\eta_i \sim M_i,$$

где  $\eta$  – вязкость всей смеси,  $\eta_i$  – вязкость компоненты смеси, а именно молекул, содержащих  $i$  эпоксидиановых звеньев,  $M_i$  – молекулярные массы компонент,  $\phi_i$  – массовая доля компонент.

Разработанная и экспериментально апробированная модель отверждения триэтилентетраамином эпоксидов ЭД-16, ЭД-20, DER-330 позволяет адекватно оценивать реологическое поведение и время гелеобразования данных композиций, что значительно облегчает проектирование КМ из них. Продемонстрированные с использованием концепций блоков связей и концепции ассоциатов принципы учета смены реакционной способности функциональных групп и формирования надмолекулярных образований в ходе процесса отверждения без существенных изменений могут быть распространены на другой тип связующего и отвердителя.

# АНАЛИЗ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПРЕСС-ФОРМЫ ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА ТВЕРДОСПЛАВНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ ФОРМОВАНИЯ\*

*Поляков Б.Б., Кунина Е.Ю., Комбаров Д.О.  
ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, [boris\\_poly@mail.ru](mailto:boris_poly@mail.ru).*

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) тугоплавких неорганических соединений – технологический процесс получения материалов, основанный на химическом взаимодействии исходных реагентов в твёрдой фазе в форме горения. Горение здесь является экзотермической реакцией взаимодействия порошкообразных реагентов между собой или порошкообразных реагентов с жидкими или газообразными реагентами с образованием твердых химических соединений. Чаще всего, это тугоплавкие неорганические соединения (карбиды, нитриды, бориды и т.п.), не разлагающиеся при горении, и материалы на их основе [1].

В [2] предложена методика теплового и прочностного расчёта пресс-формы для СВС твердосплавных материалов и их формования, учитывающая существенный градиент температур по стенке и нестационарность процесса СВС. Работоспособность пресс-формы оценивалась по величине эквивалентных напряжений, зависящих от температурного перепада  $\Delta T$ , давления  $P$  и толщины стенки  $\delta$ . К недостаткам данной методики можно отнести следующее [3]:

1) эквивалентные напряжения рассчитаны для постоянного градиента температур по высоте и стенке пресс-формы, тогда как в реальности  $\partial T/\partial z \neq const$  и  $\partial T/\partial r \neq const$ ;

2) при анализе прочности конструкции пресс-формы нет возможности установить участки растяжения и участки сжатия по сечению пресс-формы;

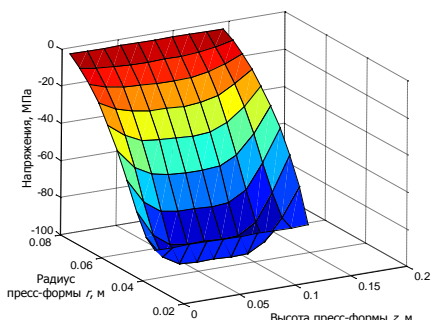
3) не учитывается влияние касательных напряжений и не оценивается прочность конструкции на сдвиг.

Поэтому для всестороннего анализа прочности рассчитанной по предложенной методике был проведён анализ напряжённно-деформированного состояния элементов пресс-формы, заключающийся в определении величины и характера действия (растяжение-сжатие) термоупругих напряжений в стенке пресс-формы.

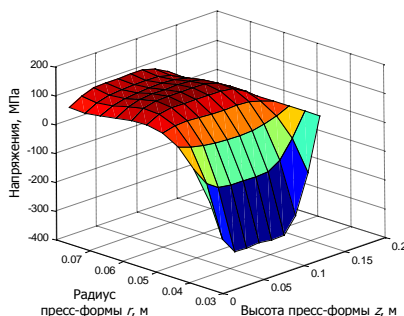
В [4] получено решение модели напряжённно-деформированного состояния цилиндрического упругого тела в условиях двумерного поля температур  $T = T(r, z)$ . С использованием полученного решения были определены компоненты нормальных ( $\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_z$ ) и касательных  $\tau_{rz}$  напряжений (рис. 2) при граничных условиях (боковые поверхности пресс-формы свободны от нагрузок и не закреплены):  $\sigma_r(r=a) = Pk$ ,  $\sigma_r(r=b) = 0$ ,  $w(z=0) = 0$ ,  $\tau_{rz}(r=b) = 0$ , где  $r, z$  – радиальная и вертикальная координаты;  $a, b$

– внутренний и внешний радиусы пресс-формы;  $w$  – перемещение в вертикальном направлении [3].

а)



б)



в)

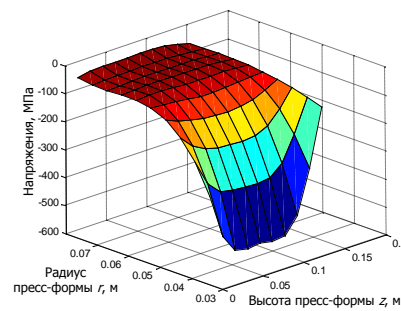


Рисунок 1. Распределение нормальных напряжений по высоте  $z$  и радиусу  $r$  пресс-формы:

а) радиальная компонента  $\sigma_r$ ; б) тангенциальная компонента  $\sigma_\theta$ ; в) осевая компонента  $\sigma_z$ .

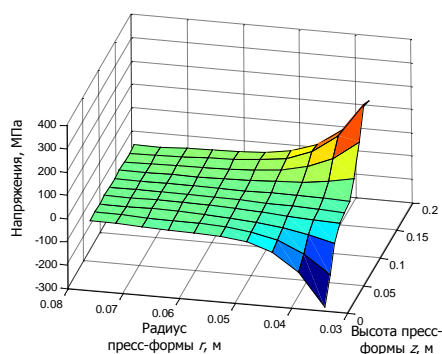


Рисунок 2. Распределение касательных напряжений  $\tau_{rz}$  по высоте  $z$  и радиусу  $r$  пресс-формы

Расчёт напряжений осуществлён для момента времени  $t = t_3$ . Как видно из (рис. 1), наибольшие значения нормальных напряжений  $\sigma$  сосредоточены в средней части пресс-формы по высоте и внутренней поверхности по радиусу, т.е., в зонах наибольших значений  $\Delta T$  и  $\partial T/\partial r$ . Наибольшие значения касательных напряжений (рис. 2) возникают в торцах цилиндрической пресс-формы, тогда как в средней части  $\tau_{rz} = 0$ .

Таблица 1.

Напряжения в стенке пресс-формы  $\delta=42$  мм и допускаемые значения.

Напряжения в стенке	Наибольшие значения напряжений, МПа		Допускаемые значения напряжений, МПа	
	растяжение	сжатие	растяжение	сжатие
$\sigma_r$	0	202	270	270
$\sigma_\theta$	19	260		
$\sigma_z$	0	252		
$\tau_{rz}$	105		240	

Формование горячих продуктов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза представляет собой новый эффективный подход к получению тугоплавких неорганических соединений. В его основу положен принцип использования внутреннего тепловыделения в химических

реакциях с твёрдыми продуктами. Для данного подхода характерно наличие высоких силовых и температурных нагрузок в стенках корпусов пресс-форм, накладывающихся в разные временные интервалы. В связи с этим требуется детальное изучение нестационарности, неизотермичности, качественно различного уровня температурной градиентности в стенках пресс-форм.

В данной работе рассмотрены расчёт толщины стенки пресс-формы для СВС твердосплавных материалов на основе математического моделирования температурных полей и анализа напряжённо-деформированного состояния стенки пресс-формы. В результате прочностного расчёта получено значение толщины стенки пресс-формы  $\delta = 42$  мм, высота пресс-формы  $H = 134$  мм.

#### Список используемых источников

1. Амосов А.П., Боровинская И.П., Мержанов А.Г. Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов: Учеб. пособие. / Под научной редакцией В.Н. Анциферова. – М.: Машиностроение–1, 2007. – 471 с.
2. Стельмах Л.С., Столин А.М., Дворецкий Д.С. Неизотермический метод расчета пресс\_оснастки установки компактирования горячих продуктов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза // Теорет. основы хим. технологии. 2010. Т. 44. № 1. С. 1–9.
3. Дворецкий, Д.С. Новый подход к получению тугоплавких неорганических соединений на основе самораспространяющегося высокотемпературного синтеза / Д.С. Дворецкий С.И. Дворецкий, Б.Б. Поляков, Л.С. Стельмах, А.М.Столин // Вопросы современной науки и практики. Университет имени В.И.Вернадского.– 2012.– № 1(39).– С. 166–178.
4. Столин А.М., Стельмах Л.С., Жилева Н.Н. Аналитическая модель напряжённо-деформированного состояния осесимметричного упругого тела в условиях двумерного поля температур // Инж.-физ. ж. 1989. Т. 56. №4. С. 650–657.

*\*Исследование выполнено в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (Государственное соглашение № 14.А18.21.0102 по обобщенной теме «Выполнение научных исследований молодыми учеными и преподавателями в интересах развития высокотехнологичных секторов экономики в области судостроения») в научно-образовательном «Центре наноматериалов и нанотехнологий» на оборудовании ЦКП «Материаловедение и металлургия» НИТУ «МИСиС».*

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА НА ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩЕГО НАГРЕВАТЕЛЯ

*Щегольков А.В., Щегольков А.В., Юдин А.С., Милюков А.Г., Гриднев П.Г.  
Тамбовский государственный технический университет  
(ФГБОУ ВПО «ТГТУ»)*

Исходя из электрофизических аспектов взаимодействия УНМ «Таунит» и диэлектриков, можно прийти к выводу, что электростатическое поле, которое возникает между электродами, определяет важнейшие энергетические и габаритные параметры электрического теплоаккумулирующего нагревателя (ЭТН).

Так как ЭТН состоит из УНМ «Таунит», распределённого в диэлектрическом материале (парафине), то ему присущи свойства веществ, из которых он составлен. В этой связи следует провести математическое моделирование распределения электростатического поля на поверхности ЭТН. Учтём то, что количество диэлектрика в массе ЭТН составляет более 90 %. Поэтому должна остаться способность к накоплению электрического заряда в ЭТН.

Предположим, что среднее значение температуры ЭТН находится в функциональной связи с электрическим потенциалом:

$$T_{cp} = f(\varphi_{cp}). \quad (1)$$

Таким образом, для нахождения качественного распределения температурного поля необходимо найти распределение электрического потенциала. Количественно распределение температурного поля зависит от условий теплообмена со внешней средой.

На первой стадии математического описания производится численное решение (в программе Comsol Multiphysics демо версия 3.5) двумерного уравнения Пуассона в частных производных, включающего в себя вторые производные функции по двум пространственным переменным:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = -\rho / \varepsilon \varepsilon_0, \quad (2)$$

где  $x$  и  $y$  – пространственные переменные, м;  $\varphi$  – потенциал электростатического поля, В;  $\rho$  – заряд электростатического поля, Кл;  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость материала, Ф/м;  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость вакуума  $8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м.

Величина потенциалов на границах будет задаваться, что является следствием наличия питающих электродов, в пространстве которых сосредоточен ЭТН. Сделаем допущение – идеальный электрический контакт плоских электродов в ЭТН.

Граничные условия Дирихле для уравнения (2) задаются в виде напряжения на питающих электродах:

$$U|_{\partial\Omega} = \varphi. \quad (3)$$

Граничные условия: левая торцевая сторона, определенная координатами  $(0,0) - (0,L_y)$ , и правая торцевая сторона, определенная координатами  $(L_x,L_y) - (L_x,0)$ , задан потенциал  $\varphi$ . На двух других границах будем считать потенциалы равными нулю.

На рисунке 1 приведена схема нагревательной секции ЭТН.

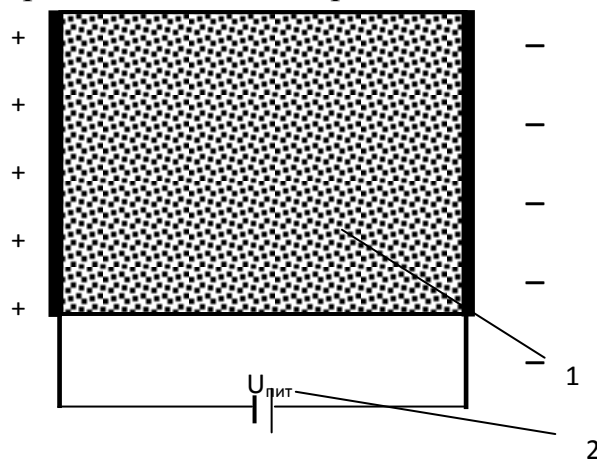


Рисунок 1. Схема нагревательной секции ЭТН: 1 – ЭТН; 2 – источник постоянного напряжения.

На второй стадии производится получение аппроксимирующих зависимостей распределения электрического потенциала от расположения питающих электродов. При расстоянии между компланарными электродами, равном  $G_{эл}$ , распределение потенциала в сечении максимального значения на поверхности ЭТН соответствует аппроксимирующей зависимости (коэффициент корреляции 0,99) вида:

$$\varphi(x) = a + bx + cx^2 + dx^3, \quad (4)$$

где  $a, b, c, d$  – коэффициенты уравнения;  $x$  – координата, в направлении которой меняется распределение потенциала  $\varphi$ , В.

По данным о распределении потенциалов на поверхности ЭТН проводится исследование эффективного, с точки зрения равномерности, расположения электродов. При этом расположение электродов, а также значение напряжения на них влияет на распределение потенциалов на поверхности, в свою очередь, распределение электростатического поля оказывает влияние на генерирование тепловой энергии. Из этого следует, что с помощью варьирования значением напряжения на электродах, а также их расположением в пространстве ЭТН, можно осуществить регулирование тепловой мощностью.

Таким образом, математическое описание распределения электрического потенциала на поверхности электрического теплоаккумулирующего нагревателя позволяет оценить параметры электростатического поля в структуре ЭТН, в зависимости от расположения питающих электродов.

# МОДЕЛЬ НАРУШИТЕЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

*Нурутдинов Г.Н., Желонкин Н.В.*

*Тамбовский государственный технический университет*

Современные информационные системы (ИС), представляющие интерес для конкурентов, достаточно часто подвергаются различным нападениям извне. Для надежной защиты от несанкционированного доступа, необходимо создать систему защиты информации. Главный вопрос заключается в следующем: «Как защищать и от чего?». Для ответа на этот вопрос необходимо построить модель злоумышленника, которая сможет описать его облик, вероятный алгоритм действий и возможности.

Допустим, в некоторой ИС существует элементарная система защиты. Модель нарушителя тоже можно назвать системой, которая воздействует на испытываемую систему защиты, имея определенные алгоритмы. Возьмем пример: защита от *внешнего* или *внутреннего* нарушителя. Если мы защищаемся от внешнего нарушителя, то у него существуют свои методы и алгоритмы обхода системы защиты. Соответственно, для него необходимы определенные методы защиты в отличие от внутреннего нарушителя. Поэтому целесообразно нарушителя различать как внешнего и внутреннего. У каждого из них есть свои уникальные возможности, знания отличные друг от друга.

Потенциальные угрозы информации классифицируются как утечка, модификация и утрата информации [1]. Существует модель злоумышленника [2], основанная на его целях, в которой предполагается принятие решения какой из трех аспектов информации (конфиденциальность, целостность или доступность) подвергнется воздействию. Пример данной модели представлен на рис. 1.

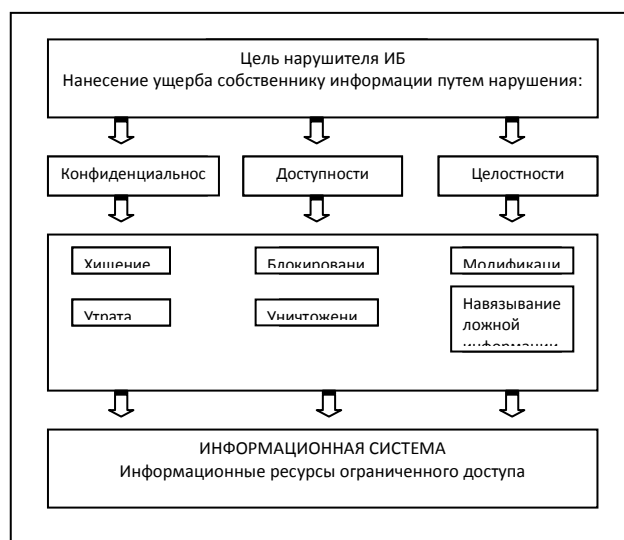


Рисунок 1. Информационная модель-1 нарушителя.

Для достаточной защиты системы главное требование - ограничить доступ к защищаемой информации. Так как для нарушения целостности или



конфиденциальности необходимо сначала получить доступ к системе, поэтому из трех целей оставим одну – доступность. Ведь с точки зрения злоумышленника главной целью является обход системы ограничения доступа, а следующим этапом может быть воздействие на другие свойства информации. Выше было сказано, что принимая во внимание внешнего либо внутреннего злоумышленника, имеем различные системы защиты, причем уровней защиты может быть несколько и способов ее обхода тоже. Таким образом, можно представить модель нарушителя, предпринимающего попытку обойти некоторую систему защиты, т.е. преодолеть систему доступа (Рис. 2).

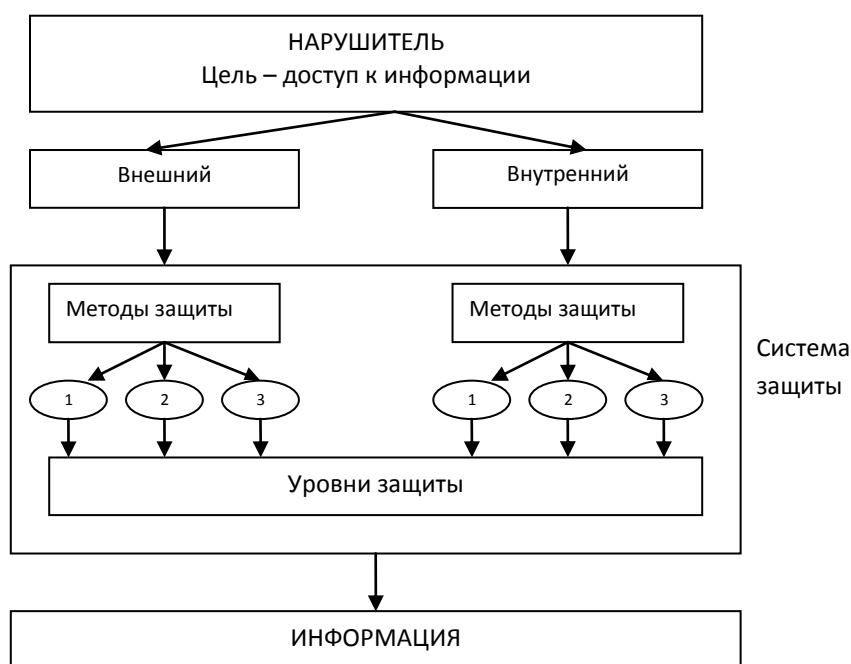


Рис. 2. Информационная модель-2 нарушителя.

Если каждый из методов и уровней защиты будет защищен, неуязвима будет и вся система. Естественно с появлением новых возможностей и технологий система будет подвергаться новым угрозам, в ответ которым будут создаваться новые методы защиты, тем самым улучшая ее.

#### Список используемых источников

1. В.В Мельников Безопасность информационных систем, 2003, с.91-110.
2. Климов А.В. Разработка автоматизированной системы анализа информационных рисков на крупном объекте информатизации <http://www.security.ase.md/publ/ru/pubbru90/>.

# АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ПОРИСТОСТИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

*Медведева А.В., Мордасов Д.М.*

*Тамбовский государственный технический университет*

Создание новых материалов неразрывно связано с всесторонним исследованием их свойств. В большинстве случаев эта задача может быть решена с помощью традиционных методов и средств измерения, контроля и диагностики. Однако, очень часто исследователи сталкиваются с проблемой невозможности обеспечения контроля вызванной несоответствием разрешающей способности средств измерения, характером воздействия на контролируемый материал, а также природой этого воздействия.

Одним из важнейших параметров, характеризующих пористые материалы, является пористость  $\Pi$  (отношение объема  $V_{\text{п}}$  пустот в материале к его полному объему  $V$ ).

В результате анализа современного состояния контроля пористости осуществлена научная классификация методов. В качестве основных классифицирующих признаков выбраны: характер воздействия на контролируемый материал, природа возмущающего воздействия, разрешающая способность, контролируемый параметр.

Газ легко проникает в поры размером до 0,2 нм, а выбор его природы и соответствующая подготовка не оказывают какого-либо негативного воздействия на образец. Кроме того, устройства, реализующие эти методы, обладают относительной дешевизной по сравнению с другими устройствами, имеют строгое математическое описание принципа действия и могут быть легко автоматизированы.

Для получения математического описания аэродинамического метода измерения пористости сыпучих материалов (СМ) нами было предложено использовать модель в виде пористой мембраны с порами неправильной формы (Козени-Кармана)

$$K = \frac{\varepsilon_0^3}{(-\varepsilon_0)^2} \frac{d_q^2}{120}, \quad (1)$$

где  $K$  - проницаемость,  $\text{м}^2$ ;  $\varepsilon_0 = \frac{\rho_v - \rho_n}{\rho_v}$  - порозность (концентрация газовой фазы) неподвижного слоя СМ;  $d_q$  – средний диаметр частиц СМ, м.

Уравнение Дарси с учетом (1) примет вид

$$Q = \frac{\Delta P_1 S}{h_0 \mu} \cdot \frac{\varepsilon_0^3}{(-\varepsilon_0)^2} \cdot \frac{d_q^2}{120}, \quad (2)$$

где  $Q$  - объемный расход газа, м<sup>3</sup>/с;  $\Delta P_1$  - перепад давления на неподвижном слое СМ, Па;  $S$  - площадь поперечного сечения емкости с СМ, м<sup>2</sup>;  $h_0$  - высота неподвижного слоя СМ, м;  $\mu$  - динамическая вязкость газа, Па·с.

При плавном увеличении скорости потока от нуля до критического значения происходит обычный процесс фильтрования, при котором твердые частицы в слое СМ высотой  $h_0$  неподвижны и движущей силой которого является разность давлений перед фильтрующим материалом и после него. При скоростях газа, превышающих критическую на небольшую величину, наблюдается однородное псевдооживление.

В момент начала псевдооживления масса СМ, приходящаяся на единицу площади поперечного сечения измерительной емкости, уравнивается силой гидравлического сопротивления слоя

$$\Delta P_2 = \frac{m_{\text{сл}} g}{S}, \quad (3)$$

где  $\Delta P_2$  - перепад давления на псевдооживленном слое СМ, Па;  $m_{\text{сл}}$  - масса слоя СМ, кг.

С учетом архимедовых сил, действующих на частицы слоя, уравнение (3) можно представить в виде

$$\Delta P_2 = g (\rho_v - \rho_0) h_0 - \varepsilon_0 \rho_0 h_0, \quad (4)$$

где  $\rho_v$  - объемная плотность частиц СМ, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_0$  - плотность оживающего агента, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_n$  - насыпная плотность СМ, кг/м<sup>3</sup>.

После подстановки  $\varepsilon_0$  в (4), с учетом  $\rho_v \gg \rho_0$ , получим

$$\Delta P_2 = g \rho_n h_0. \quad (5)$$

Представим выражение (2) в виде

$$\frac{1-y}{y^2} = x, \quad (6)$$

где  $y = 1 - \varepsilon_0$ ,  $x = \frac{120}{d_p^2} \frac{Q}{\Delta P_1} \frac{h_0 \mu}{S}$ .

Проведем аппроксимацию зависимости (6) функцией вида  $y = \frac{a + cx}{1 + bx}$

$$y = \frac{0,741 + 0,423x}{1 + 1,737x}, \quad 0,3 \leq \varepsilon_0 \leq 0,8. \quad (7)$$

Объемную плотность СМ  $\rho_v$  с учетом (5) и (7) определим в виде

$$\rho_v = \frac{\rho_n}{1 - \varepsilon_0} = \Delta P_2 \left( 1 + \frac{208,44}{d_q^2} \frac{Q}{\Delta P_1} \frac{h_0 \mu}{S} \right) / gh_0 \left( 0,741 + \frac{50,76}{d_q^2} \frac{Q}{\Delta P_1} \frac{h_0 \mu}{S} \right). \quad (8)$$

По результатам измерения истинной  $\rho_n$  и объемной плотности (8) определим пористость в виде

$$П = \left( 1 - \frac{\rho_v}{\rho_n} \right) \cdot 100\% = \left[ 1 - \Delta P_2 \left( 1 + \frac{208,44}{d_q^2} \frac{Q}{\Delta P_1} \frac{h_0 \mu}{S} \right) / \rho_n gh_0 \left( 0,741 + \frac{50,76}{d_q^2} \frac{Q}{\Delta P_1} \frac{h_0 \mu}{S} \right) \right] \cdot 100\%.$$

Результаты проведенных экспериментальных исследований с использованием углеродных пористых материалов различного назначения по определению значения пористости хорошо согласуются с данными, представленными в нормативно-технической документации. Погрешность измерения не превышает 3,0 %.

Разработанный метод прост в реализации и может быть использован для экспресс-измерений пористости СМ с ярко выраженными сорбционными свойствами и развитой поверхностью.

## **СОЦИАЛЬНОЕ СТРАХОВАНИЕ КАК ЭЛЕМЕНТ СОЦИОКУЛЬТУРНОГО ПРОЦЕССА ПОДДЕРЖАНИЯ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ: ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД**

*Ершова М.В.*

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»*

Социальное страхование является важнейшим элементом социокультурного процесса, обеспечивающего поддержание определенного уровня жизни населения. Рассмотрение всех многочисленных видов страхования в рамках одной статьи просто невозможно. Поэтому в нашей работе мы остановимся на рассмотрении обязательного социального страхования.

Обязательное социальное страхование является частью государственной системы социальной защиты населения, спецификой которой является страхование работающих граждан от возможного изменения материального и социального положения, в том числе по независящим от них обстоятельствам.

В настоящее время все региональные органы обязательного социального страхования завершили переход на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, что способствует поддержанию материального положения лиц получивших травмы с потерей части или общей трудоспособности или профессиональное заболевание на производстве. С этой целью создан Фонд социального страхования, в котором аккумулируются финансовые средства, перечисляемые работодателями.

В социокультурном процессе этого вида страхования участвуют работодатели, Фонд социального страхования и пострадавшие на производстве, которые нуждаются в материальных средствах для лечения и реабилитации здоровья.

Социокультурный процесс повышения качества жизни населения имеет постоянное развитие. К такому развитию можно отнести относительно недавно возникший институт обязательного социального страхования.

Роль социального страхования, как инструмента обеспечения социальной защиты, в современном обществе достаточно велика. Институт социального страхования в России претерпел за последнее столетие много изменений.

В последние годы в Российской Федерации вопросы социального страхования достигли пика своей актуальности, что связано, прежде всего, с множеством социальных проблем, обусловленных реформированием экономики.

В 90-х годах прошлого века, существовала не стабильная экономическая обстановка в России, и, как следствие снижение жизненного уровня многих семей, наличие значительных слоев населения, находящихся на грани или за чертой бедности, ослабление инфраструктуры здравоохранения, образования и культуры заметно ухудшили положение населения, социокультурный процесс замедлился.

Учитывая особую важность социального страхования, его влияние на общественные процессы, государство во многих странах создает системы обязательного государственного социального страхования, дающие возможность значительной концентрации ресурсов в единых фондах и тем самым обеспечивают надежную социальную защиту населения страны.

В России обязательное государственное социальное страхование представлено тремя внебюджетными фондами:

- пенсионным;
- обязательного медицинского страхования;
- социального страхования.

Важность страхования определяется тем, что в условиях рыночной экономики главным институтом защиты человека является социальное страхование.

Не все предприятия могут выплачивать своим работникам пособия в том объеме, в котором производит эти выплаты Фонд обязательного социального страхования. Из-за кризиса в ряде отраслей промышленности и сельского хозяйства многие работодатели не могут не только обеспечить соответствующими пособиями, но и уплачивать страховые взносы в Фонд обязательного социального страхования.

Десятилетия организационно-правовой формой компенсации постоянной утраты трудоспособности служил институт индивидуального возмещения ущерба работодателем.

Но эта форма в условиях перехода к рыночной экономике оказалась малоэффективной и не способной в достаточной степени защитить интересы пострадавших и членов их семей из-за финансовой нестабильности работы предприятий, их неплатежеспособности и банкротства, отдельные предприятия (работодатели) просто прекратили выплаты в возмещение вреда из-за финансового состояния.

К сожалению, те виды страховых выплат, которые осуществляет Фонд, становятся основными источниками средств к существованию для ряда категорий граждан.

Так, граждане, получившие трудовые увечья или повредившие здоровье вследствие профессионального заболевания, становятся абсолютно не нужными тем предприятиям, которым они отдали годы своей жизни и здоровье. Фонд обязательного социального страхования, выплачивая им пособия по обязательному социальному страхованию от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, стремится максимально приблизить их уровень жизни к уровню, сложившемуся в стране на данный момент, дать средства, необходимые для жизни и реабилитации.

# МЕХАНИЗМЫ ПРОДВИЖЕНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЫНОК

*Васильев А.А.*

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов,  
Vaa1606@gmail.com*

На сегодняшний день химическое машиностроение является отраслью, которая обеспечивает развитие научно-технической революции во всем народном хозяйстве. Структура химического машиностроения переплетается с другими отраслями, среди которых нефтехимическая, сельскохозяйственная, целлюлозно-бумажная, космическая, микробиологическая, медицинская, нанотехнологическая, фармацевтическая и прочие. На производство качественного оборудования для данных отраслей и ориентированно химическое машиностроение.

Достижения в области химического машиностроения характеризуются не только ростом объемов его производства, но и созданием и выпуском прогрессивных видов продукции, внедрением более современных технологий.

К таким технологиям, безусловно, следует относить нанотехнологии.

Нанотехнология — область прикладной науки и техники, имеющая дело с объектами размером менее 100 нанометров. Нанотехнология качественно отличается от традиционных инженерных дисциплин, поскольку на таких масштабах привычные, макроскопические, технологии обращения с материей часто неприменимы, а микроскопические явления, пренебрежительно слабые на привычных масштабах, становятся намного значительнее: свойства и взаимодействия отдельных атомов и молекул, квантовые эффекты.

Нанотехнологии имеют конкретное промышленное применение. Сегодня на рынке предлагается большая номенклатура промышленно изготавливаемых наноматериалов: металлических, гидроксидов, оксидов и композитных порошков, которые уже находят широкое применение во многих секторах промышленности и строительства.

С каждым годом все больше предприятий проявляют интерес к нанотехнологиям, а именно к созданию специального технологического оборудования, предназначенного для осуществления локальных физико-химических процессов в областях нанометровых размеров. Данное направление является одним из самых привлекательных на сегодняшний день, т. к. инвестиции ОАО «Роснано» в индустрию нанотехнологий до 2015 года составят 318 млрд. рублей. Успешная работа в области нанотехнологии способствует выходу предприятия на международный рынок высоких технологий и обеспечит рост конкурентоспособности отечественной продукции.

Несмотря на то, что производство наноматериалов относится к химической промышленности, номенклатура оборудования, выпускаемого для данной отрасли, значительно отличается от номенклатуры оборудования, выпускаемого предприятиями химического машиностроения. Химическое машиностроение занимается изготовлением оборудования, применяемого в производствах, так или иначе связанных с большой химией. Ассортимент предприятий, выпускающих оборудование для нефтяной отрасли многообразен как по свойствам, так по используемым материалам. К типовому оборудованию химической отрасли относятся: теплообменники, перемешивающие механические устройства, отстойники, емкостное оборудование, всевозможные фильтры для трубопроводов, и т. д.

Оборудование для производства наноматериалов является «уникальным» в своем роде. Важной особенностью данного оборудования является необходимость в его постоянном усовершенствовании путем внедрения инновационных технологий и разработок современной науки. Внедряемые технологии должны способствовать улучшению качества, уменьшению стоимости и увеличению объема производства выпускаемой продукции. По этой причине большинство предприятий, выпускающих нанотехнологическое оборудование, сотрудничают с научно-исследовательскими институтами, что позволяет быстро адаптироваться к постоянно меняющимся тенденциям nanoиндустрии.

Примером такого сотрудничества, может послужить совместная работа ОАО «Тамбовский завод «Комсомолец» им. Н.С. Артемова», ООО «НаноТехЦентр» и ООО «Тамбовский инновационно-технологический центр машиностроения», в результате которой был создан, не имеющий аналогов в мире реактора синтеза углеродного наноматериала, зарегистрированного под торговой маркой «Таунит». На сегодняшний день данное оборудование реализуется как на отечественном, так и на международном рынке. Производственные линии в различной комплектации поставлены и успешно функционируют во ВлГУ (г. Владимир, Россия), "Vision Development Co" Ltd. (г. Токио, Япония).

В настоящее время, объединение компаний в кластер, становится неотъемлемой частью современного бизнеса. При этом, объединение компаний в кластер, нацелено не только на улучшение качества выпускаемой продукции, но и на ее последующую реализацию, как на отечественном, так и на мировом рынке.

В экономике, под кластером в общем виде, понимается группа связанных между собой единством технологических, экономических целей и единой маркетинговой политикой производств, предприятий или даже отраслей. Кластер объединяет в себе сконцентрированные на некоторой территории группы взаимосвязанных предприятий:

- поставщиков оборудования, комплектующих изделий, специализированных услуг;
- инфраструктуры;



- научно-исследовательских институтов, вузов и других организаций, взаимодополняющих друг друга и усиливающих конкурентные преимущества отдельных предприятий и кластеров в целом.

Географические масштабы кластера могут варьироваться от одного города или региона до страны или даже ряда соседствующих стран. Построение кластеров по географическому принципу означает, что он четко связан с определенной территорией. При вхождении в кластер нескольких секторов машиностроения на равных правах образуются горизонтальные интеграционные процессы. Объединение производств, связанных одной и той же технологией, называется технологическим (индустриальным, промышленным) кластером. Фокусный – это кластер, объединяющий предприятия вокруг одного центра, как правило, крупного предприятия. Качественный кластер предполагает постоянное совершенствование всех его элементов, взаимодействия между ними с целью повышения конкурентоспособности как отдельного элемента, так и кластера в целом.

Успех продвижения нанотехнологического оборудования в рамках машиностроительного кластера во многом зависит от тесного взаимодействия с компаниями, образующими данный кластер. В составе машиностроительного кластера предприятию необходимо продвигать не выпускаемое оборудование, а товарный знак, т.е. саму компанию.

Немало важным элементом машиностроительного кластера, на мой взгляд, выступают инжиниринговые компании, осуществляющие продвижение продукции на новые рынки. Основным видом деятельности инжиниринговых компаний является предоставление инжиниринговых услуг. В качестве примера таких услуг, можно выделить: анализ рынка, сбор информации о конкурентах, проектирование, строительство, поставка оборудования и его установка, монтажные работы, и др. Причем деятельность инжиниринговой компании в части проектирования интегрирует в себе функции научно-исследовательского и проектного институтов, а также машиностроительного предприятия. Иногда для выполнения проекта изготовления отдельных аппаратов, необходимо понять суть процесса, провести ряд исследований, спроектировать линию и разработать конструкторскую документацию.

Зачастую инжиниринговые компании пользуются статусом формально независимых и способны оказывать услуги одновременно в нескольких областях и привлекать к выполнению работ различных поставщиков оборудования, разные подрядные фирмы. Важной особенностью таких фирм, является возможность выстраивать систему кооперации, задействовав цепочку различных подрядчиков. Это означает, что серийный заказ может быть разделен между несколькими производителями процессного оборудования, что в свою очередь позволит снизить срок выпуска продукции и избежать возможных издержек и штрафов перед заказчиком.

Рассмотренные механизмы продвижения нанотехнологического оборудования на международный рынок показали свою эффективность и

способствовали повышению конкурентоспособности машиностроительных предприятий.

#### Список используемых источников

1. Ткачев, А.Г. Аппаратура и методы синтеза твердотельных наноструктур/ А.Г. Ткачев, И.В. Золотухин. - М.: Издательство Машиностроение-1, 2007.–316 с.
2. Забродин, Ю.Н. Управление инжиниринговой компанией. Справочник для профессионалов /Ю. Н. Забродин, В. В. Курочкин. - М.: Омега-Л, 2009. – 870 с.

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В ИНВЕСТИЦИОННОМ МЕНЕДЖМЕНТЕ

*Коробова О.В.*

*Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов,  
[ovk77@list.ru](mailto:ovk77@list.ru)*

В соответствии с кибернетическим подходом система управления любой экономической деятельностью, в том числе система управления инвестиционной деятельностью имеет следующий вид – рисунок 1.



Рисунок 1. Система управления инвестиционной деятельностью предприятия и организации

На основе рисунка 1 можно сказать, что система управления представляет собой совокупность управляющей подсистемы и управляемой подсистемы. Управляющая подсистема включает субъекта управления и исполнительный орган, а управляемая подсистема включает в себя объект управления. Объектом управления в системе управления инвестиционной деятельностью является объект, который создается в результате инвестирования. Его производительное использование обеспечивает материальные условия получения дохода или достижения субъектом управления иных целей.

Объект инвестирования в соответствии с общепринятой классификацией существует в различных видах: в виде финансовых инвестиций, материальных или вещественных инвестиций, нематериальных инвестиций.

Субъект управления в рассматриваемой системе – это инвестор. Согласно общепринятой международной классификации различают:

- индивидуальных инвесторов (физические лица);
- корпоративных инвесторов (предприятия и организации);
- институциональных (коллективных – холдинговые компании, финансовые группы, финансовые компании, инвестиционные фонды, коммерческие банки) инвесторов.

Любой субъект управления инвестиционной деятельностью выполняет такие стандартные функции управления, как:

- стратегическое, текущее и оперативное планирование;
- анализ и прогнозирование;
- мониторинг (контроль) и регулирование инвестиционной деятельности.

Исполнительным органом может быть сам субъект управления – инвестор, или какое-либо другое юридическое или физическое лицо.

Данная система строится на осуществлении субъектом управления (инвестором) инвестиционной деятельности.

Все элементы системы связаны между собой информационными связями. Субъект управления - инвестор – получает осведомляющую информацию (Ioc) о текущем состоянии объекта инвестирования и входную информацию (Ivx) из внешней среды о том, в каком состоянии может находиться объект инвестирования. Отклонения объекта инвестирования от заданного состояния происходят под воздействием внешних возмущений (V). Субъект управления сравнивает информацию Ivx и Ioc и воздействует на исполнительный орган с помощью информационного потока Iy. На основе информации Iy исполнительный орган вырабатывает управляющее воздействие (U), которое ликвидирует отклонения в объекте инвестирования.

Как видно из рисунка 1, для функционирования системы управления инвестиционной деятельностью необходима информация, причем информация экономическая.

Следует уточнить, что под экономической информацией в данном случае понимается совокупность данных (сведений), отражающих состояние производственно-хозяйственной и финансовой деятельности различных объектов экономики или показывающих, каким должно быть это состояние. Экономическая информация в системе управления инвестиционной деятельностью воспроизводит состояние и направление развития хозяйства, выявляет механизм сложных взаимосвязей между различными звеньями экономики. Она позволяет субъекту управления - инвестору:

- устанавливать стратегические цели и задачи инвестиционной деятельности и использовать открывающиеся возможности;

- принимать обоснованные и своевременные управленческие решения;
- координировать действия разрозненных объектов, направляя их усилия на достижение общих поставленных целей.

На рисунке 1 изображены три потока информации:  $I_{вх}$ ,  $I_{ос}$  и  $I_{у}$ . Информация  $I_{вх}$  сообщает инвестору о множестве возможных состояний объекта инвестирования и о том, в каком из состояний должен находиться объект управления при заданных внешних условиях. Информация  $I_{ос}$  - это информация обратной связи. С помощью этого информационного потока в управляющую подсистему поступает информация о текущем состоянии управляемой подсистемы. Это поток отчетной информации о выполнении принятых решений. Отчетная информация формируется объектом инвестирования и отражает внутреннюю экономическую ситуацию, а также степень влияния на нее внешней среды. Третий информационный поток -  $I_{у}$  - это информация, возникшая в результате обработки субъектом управления информации  $I_{вх}$  и  $I_{ос}$ , и управляющая работой исполнительного органа. Этот информационный поток выражен директивной информацией, направляемой от инвестора к исполнительному органу.

В соответствии с рисунком 1 по источникам поступления экономическая информация подразделяется на внешнюю и внутреннюю.

Внешняя информация возникает за пределами системы управления инвестициями, ее порождает внешняя среда. Для нее характерны приблизительность, неточность, обрывистость, противоречивость. По своей природе эта информация носит вероятностный характер. Внешняя информация влияет и на объект инвестирования и на инвестора, которому она предоставляет информацию и который принимает решения, зависящие от внешних факторов. Внешняя информация в системе управления инвестиционной деятельностью состоит из директивных указаний вышестоящих органов, различных материалов центральных и местных органов управления, документов, поступающих от других экономических объектов.

Внутренняя информация возникает в самой системе управления и отражает в различные временные интервалы развитие объекта инвестирования, его финансовое состояние.

Кибернетический подход позволяет рассматривать процесс управления инвестиционной деятельностью как процесс информационный, более детально анализировать документы, поступающие в систему и исходящие из нее, оценивать обратную связь, а главное - выявлять слабые и сильные места в инвестиционном менеджменте отдельных предприятий и организаций.

# ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ

*Кузнецова Т.С., Зяблова А.М., Попов А.И.*

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»*

Эффективная реализация проектов по приоритетным направлениям науки и техники во многом определяется соответствием созданной в регионе инфраструктуры поддержки инновационной деятельности уровню решаемых задач.

Природно-климатические условия Тамбовской области, отсутствие существенных запасов полезных ископаемых и наличие плодородных земельных угодий, близость к интенсивно развивающимся промышленным центрам (Москва и Московская область, Липецк) предопределяет в качестве основного направления инновационной деятельности нашего региона - агропромышленный комплекс, машиностроение и нанотехнологии. Большая часть созданных на территории Тамбовской области объектов инновационной инфраструктуры способствует развитию именно этих направлений. Поддержку инновационной деятельности в области осуществляют: бизнес инкубатор ТГТУ «Иноватика» (содействующий созданию и развитию малых инновационных предприятий), инновационный центр высоких био- и химических технологий, институт дистанционного образования, институт инноваций и приоритетных научных направлений, Тамбовский инновационно-технологический центр машиностроения, Тамбовский инновационный бизнес-инкубатор регионального центра управления и культуры, центр трансфера технологий при Тамбовском государственном техническом университете.

Инновационно-активной территорией является наукоград агропродовольственного типа Мичуринск. Так же существуют инновационно-активные предприятия: Тамбовский завод "Комсомолец" им. Н.С. Артемова и Корпорация «Росхимзащита».

К фондам поддержки инновационной деятельности, включая фонды стартового финансирования и венчурного предпринимательства можно отнести: ООО «Техноэкос», Тамбовский фонд поддержки и развития предпринимательства.

К проблемам успешного функционирования инновационной инфраструктуры региона при реализации проектов в области nanoиндустрии можно отнести:

1. Отсутствие ротации малых предприятий (МП) в технопарках (ТП) и инновационно - технологических центрах (ИТЦ). Малое предприятие, попав в технопарк, остается в нем неопределенно долго. Следствием является то, что, с одной стороны, через некоторое время прекращается рост объемов

производства МП, расположенного в технопарке, а с другой - прекращение роста количества МП. Вследствие этого ТП и ИТЦ формально являются объектами инновационной инфраструктуры. Решение данной проблемы - установление ограничения на срок пребывания МП в составе ТП. Однако без создания возможностей для размещения их на других площадях это, по сути, будет означать закрытие части МП через оговоренный срок. Скорее всего ситуация быстро вернется к начальному состоянию за счет формальной "ротации" через организацию новых юридических лиц с постоянным составом учредителей.

2. Большая стоимость оборудования, используемая при получении нанопродуктов. При стоимости современного реактора в несколько сотен тысяч долларов его покупку и эффективную эксплуатацию при выпуске собственной продукции может позволить себе только достаточно крупное предприятие (мы не рассматриваем здесь вопрос доступности и стоимости кредитов на покупку оборудования для малых и средних предприятий, а только вопросы его рентабельной эксплуатации). Таким образом, от использования новых технологий в производстве в силу этой причины оказывается огромное число малых и средних предприятий. Выход из этой ситуации возможен за счет коллективного использования оборудования в центрах услуг (например, в центре коллективного пользования нанотехнологического оборудования при ТГТУ).

3. Старение кадров, являющихся носителями ключевых технологий предприятий, выпускающих инновационную продукцию. Без поступления молодых работников используемые технологии могут быть частично утеряны.

При развитии системы подготовки кадров для nanoиндустрии необходимо обеспечивать сбалансированную подготовку кадров по всем направлениям, обеспечивающим инновационную деятельность. Тем не менее, в качестве одной из основных проблем следует отметить, что в настоящее время большинство промышленных предприятий (как крупных, так и малых) не обладает специалистами, которые могут грамотно обеспечить продвижение наукоемкой продукции предприятий на рынок. Общая потребность в таких кадрах составляет несколько десятков тысяч человек. Проблему можно решить, только организовав целенаправленную работу по подготовке таких кадров с горизонтом планирования 5-10 лет (время на базовое обучение кадров и приобретение ими практических навыков работы).

4. Отсутствие структуры, обеспечивающей доступ инновационных предприятий (как крупных, так и малых) к финансовым ресурсам. В настоящее время существует множество различных схем финансирования, однако статистические исследования показывают, что основным источником финансирования развития инновационных промышленных предприятий являются их собственные средства. Банковский кредит пока остается слишком дорогим, а кредиты слишком короткими для развития инновационной деятельности. Ресурсы госбюджета доступны в основном для

крупных предприятий. Но даже для них масштаб обеспечения бюджетными финансовыми средствами составляет не более 5-10% от необходимых объемов. Развитие же малых инновационных предприятий (МИП) финансируется в основном самими учредителями. Ограниченность таких источников приводит и к торможению роста числа МИП. Программа стартового финансирования, проводимая Фондом содействия развитию малых форм предприятий научно-технической сферы и местными программами поддержки малого бизнеса, не в состоянии переломить отрицательные тенденции. Венчурное инвестирование не работает. Это происходит из-за того, что региональная промышленность пока не сформировала потребности в развитии венчурных подходов. В отличие от развитых стран, где венчурный бизнес обслуживает потребность крупных предприятий, в России предприятия самостоятельно проводят разработки. Поскольку зарубежные схемы венчурного финансирования плохо работают в российских условиях, следует думать о разработке модификаций схем венчурного финансирования. Другой путь привлечения рыночных денег в инновационные предприятия - это ускорение инновационного цикла в части расширения масштабов выхода предприятий на рынки с готовой продукцией. Этот путь позволит уже существующим инновационным предприятиям получить дополнительные ресурсы для вывода на рынки своих новых разработок. В последнее время создаются гарантийные структуры и фонды, которые должны решать проблемы обеспечения займов малых предприятий в банковской системе. Успешное развитие получают также лизинговые схемы закупки высокотехнологичного оборудования малыми предприятиями.

Проведенный анализ показал, что созданная в Тамбовской области достаточно развитая инфраструктура инновационной деятельности обладает значительным потенциалом при реализации проектов области наноиндустрии. Устранение выявленных в её деятельности проблемных моментов позволит повысить её эффективность.

#### Список используемых источников

1. Информационно-справочный портал "Наука и инновации в регионах России" [Электронный ресурс] <http://regions.extech.ru> (дата обращения: 20.05.2012).
2. Основные направления политики Российской Федерации в области развития инновационной системы на период до 2010 года: утверждены Правительством Российской Федерации 05.08.2005 N 2473п-П7.[Электронный ресурс] <http://news-city.info/akt/acting-88/tekst-do-trud-duma.htm> (текст документа по состоянию на ноябрь 2010 года)
3. Шепелев, Г.В. Проблемы развития инновационной инфраструктуры / Г.В. Шепелев // Инновации, 2005. - N 2. - С. 6-15.

# ОЦЕНКА ИНВЕСТИЦИОННОГО КЛИМАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНВЕСТИЦИОННЫХ РЕЙТИНГОВ

*Овчаренко С.Б.*

*Тамбовский Государственный Технический Университет, г. Тамбов,  
[ovcharenko-s@mail.ru](mailto:ovcharenko-s@mail.ru)*

За последние два десятилетия разработано множество методик оценки инвестиционного климата. Цель большинства из них - привлечь внимание отечественных и зарубежных инвесторов к потенциальным инвестиционным проектам, способствующим социально-экономическому развитию страны и регионов в частности.

В экономической литературе существуют различные подходы к оценке инвестиционного климата национальной экономики. Они различаются в зависимости от целей исследования, по количеству анализируемых показателей и их качественным характеристикам, по выбору самих показателей.

Отдельную часть занимают методики балльной оценки (рейтинговые методы оценки). Их основное преимущество возможность количественного сопоставления основных характеристик инвестиционного климата для разных стран. Так преимуществом можно считать выведения результирующего показателя, учитывающего величины всех составляющих и служащего критерием ранжирования различных стран по их привлекательности для иностранных инвесторов.

Эти методики универсальны и могут применяться для разных стран. Они эффективны при проведении исследований на макроэкономическом уровне. В частности при сопоставлении уровней экономического развития нескольких государств.

Для оценки инвестиционного климата используются инвестиционные рейтинги. Инвестиционный рейтинг — это инструмент анализа, позволяющий выявить неблагоприятные составляющие инвестиционного климата и разработать меры, направленные на улучшение этих составляющих, а значит на «потепление» всего климата [4. С.13]

К рейтинговым методам оценки инвестиционного климата различных стран относят:

## 1. Инвестиционный рейтинг журнала Euromoney.

На основе данного рейтинга дважды в год (в марте и сентябре) производится оценка инвестиционного риска и надежности стран. Показателями, которые учитываются при составлении рейтинга Euromoney являются: эффективность экономики; политический риск; комплексный показатель задолженности; отсрочка долга или невыполнение обязательств по выплате долга; кредитоспособность.

## 2. Инвестиционный рейтинг фирмы BERI.



Швейцарский институт информации бизнеса в риске (BERI) каждый год дает сравнительную оценку потенциальных возможностей 49 стран мира для привлечения инвестиций. Анализу подвергаются следующие четыре группы проблем:

- трудовое законодательство и тарифные соглашения;
- соотношение между уровнями заработной платы и производительности труда;
- трудовая дисциплина и отношение к труду;
- уровень квалификации работников.

### 3. Инвестиционные рейтинги других зарубежных агентств.

Публикуемый ежегодно английским журналом The Economist рейтинг оценивает политико-экономический риск. Рейтинг Industrial Investor оценивает кредитоспособность стран и составляется при участии экспертов 100 ведущих международных банков. Составлением подобных рейтингов занимаются и некоторые известные банки (например, «Дойче Банк»), международные и национальные исследовательские центры.

### 4. Отечественные методики оценки инвестиционного климата страны.

Одной из самых известных методов оценки уровня инвестиционных рисков в России является методика фирмы «Юниверс».

Методика состоит в следующем: каждая группа риска описывается определенным количеством факторов (как правило, около десяти). Каждый фактор (показатель) отражает собой конкретную сторону развития социально-политической и экономической ситуации, его текущее или прогнозное состояние характеризуется количественным показателем. Такой анализ фирма «Юниверс» готовит раз в три месяца.

### 5. Кредитный рейтинг агентства Standard & Poor`s.

Рейтинговая служба Standard & Poor`s представляет собой ведущее мировое агентство кредитных рейтингов, которое осуществляет оценку кредитоспособности облигаций и других финансовых обязательств более чем в 80 странах.

### 6. Кредитный рейтинг агентства Moody`s.

Рейтинговое агентство Moody`s Investors Service занимается присвоением кредитных рейтингов, исследованием и анализом долговых инструментов и ценных бумаг на мировом рынке капитала.

7. Кредитные рейтинги российских информационных агентств (агентство "Эксперт РА"; агентство "РусРейтинг"; ООО «Национальное Рейтинговое Агентство») (НРА)

Рейтинговое агентство "Эксперт РА" предоставляет кредитные рейтинги компаний всех сфер экономики, регионов и муниципальных образований, а также рейтинги, характеризующие социальную ответственность компаний: рейтинг корпоративного управления и рейтинг экологической ответственности компаний.

Компания "РусРейтинг" специализируется на исследовании кредитоспособности российских банков.

Деятельность НАУФОР связана с тем, что рейтинги являются некоммерческим проектом, преследующим своей целью развитие информационной прозрачности российского фондового рынка.

Рейтинговая оценка инвестиционного климата имеет некоторые недостатки.

Метод Euromoney имеет следующие недостатки. Во-первых, он не делает различий между прямыми и портфельными инвестициями. Во-вторых, вряд ли правомерно оценивать одной совокупностью показателей инвестиционный климат страны в России, США, Китае, Германии (учитывая разнообразие условий, складывающихся в субъектах федераций), с одной стороны, и Люксембурге, Эстонии, Албании и других малых стран — с другой. В-третьих, в числе показателей отсутствует инновационная составляющая, играющая все большую роль в макроэкономической динамике многих стран.

Инвестиционный рейтинг фирмы BERI в основу оценок различных стран как потенциальных рынков приложения капиталов положил различные показатели, которые можно отнести к разряду понятия качества рабочей силы. В этом смысле оценки швейцарского института являются в какой-то мере уникальными, и в то же время имеющими довольно ограниченное значение для выбора стратегии инвестирования. [2]

В целом по рассмотренным методикам можно сказать следующее. В российских условиях непосредственное использование опыта других стран затруднительно по следующим причинам: российская статистика не располагает всем набором необходимой информации для составления таких карт. Часть информации отсутствует или недостаточно детализирована, плохо сопоставима, иногда несёт совсем другой смысловой оттенок; карта описывает статистику бизнес процесса на территории, а для привлечения инвесторов нужна его динамика; факторы, которые наиболее существенны для привлечения инвесторов, такие как природные сырьевые богатства и производственный потенциал, в карте вообще не рассматриваются.

В связи с этим по нашему мнению, требуется совершенствование существующих методик оценки инвестиционного климата.

#### Список используемых источников

1. Игоница Л.Л. «Инвестиции : учеб. пособие» под ред. д-ра экон. наук, проф. В.А. Слепова. — М.: Экономисту 2005. — 478 с.
2. Максимов И.Б. «Инвестиционный климат: методика оценки: учеб. пособие». — Иркутск: Изд-во БГУЭП, 2002. — 132 с.
3. Подшиваленко Г.П., Лахметкина Н.И., Макарова М.В. «Инвестиции: учебное пособие» — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: КНОРУС, 2006. - 200 с.
4. Харитонова В. Как «измерить» инвестиционный климат?// Финансы в Сибири. — 1998. — №3. — С. 13–17.

# ВИРТУАЛЬНЫЕ БИЗНЕС-ИНКУБАТОРЫ КАК НОВАЯ ФОРМА ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ В РОССИИ

*Жариков<sup>1</sup> В.В., Жариков<sup>2</sup> А.Р.*

*<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Московский государственный гуманитарно-экономический институт», [valera\\_zharikov@mail.ru](mailto:valera_zharikov@mail.ru)*

*<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО «Московский технический университет связи и информатики»*

Инкубирование бизнеса является одним из инфраструктурных механизмов поддержки предпринимательства, рассчитанных на долгосрочный период. Бизнес-инкубаторы помогают созданию малых и средних предприятий, как правило, инновационного типа. В макрорегионах эта функция становится все более важной, так как выход предприятий на старые и новые рынки усложняется из-за усиления внутренней и внешней конкуренции [1].

Классический бизнес-инкубатор (созданный в субъектах РФ или при высших учебных заведениях) создает благоприятные условия для стартового развития малых предприятий путем предоставления комплекса услуг и определенных ресурсов. Бизнес-инкубатор обеспечивает предприятия помещениями на льготных условиях, средствами связи, оргтехникой, необходимым оборудованием, проводит обучение персонала, консалтинг и другие виды услуг. Предприниматель при этом сосредоточен на одной задаче – начать выпуск продукции или оказывать услуги и выйти на рынок, все остальные проблемы ему помогает решать команда бизнес-инкубатора [2].

Бизнес-инкубаторы оказались настолько удачной формой поддержки нового предпринимательства, что за последние годы их число продолжает стремительно расти во многих странах. Всего в мире насчитывается уже более 5000 самостоятельно действующих бизнес-инкубаторов [2].

Первые бизнес-инкубаторы появились в России в середине 90-х годов в рамках программ Морозовского проекта. В 1996 году было создано Некоммерческое партнерство «Национальное содружество бизнес-инкубаторов» (НСБИ). В 2000 году было подписано Соглашение о сотрудничестве между НСБИ и Министерством Российской Федерации по антимонопольной политике и поддержке предпринимательства, согласно которому, на первом этапе была сформирована система государственной политики, создана сеть базовых и специализированных инкубаторов. Вторым этапом, продолжительностью до 2005 года, предполагал организацию сквозных проектов для сети бизнес-инкубаторов, развитие сети во всех регионах России. Третий этап, к 2010 году, предусматривал создание в России порядка 170 бизнес-инкубаторов и их интеграцию с бизнес-инкубаторами развитых стран, создание франчайзинговых сетей с привлечением инкубируемых предприятий, а также предполагался выход системы бизнес-инкубаторов на режим самофинансирования и саморазвития. К сожалению, финансовый

кризис внес свои коррективы, и последний этап пока остается нереализованным [2].

Некоторые из авторов разделяют инкубаторы по охвату (исходя из того, какие проекты они готовы размещать): общедеревальные, региональные, студенческие [3]. Стоит отметить что для России законодательно определен сдерживающий регламент, который поделил коммерческие предприятия с которыми можно или нельзя сотрудничать. В бизнес-инкубатор не допускаются компании, осуществляющие следующие виды деятельности: финансовые, страховые услуги; розничная/оптовая торговля; строительство; услуги адвокатов, нотариат; бытовые услуги; медицинские услуги; общественное питание; операции с недвижимостью; производство подакцизных товаров; добыча и реализация полезных ископаемых; игорный бизнес [4].

Предприятия, относящиеся к перечисленным сферам, обладают большим финансовым потенциалом и могли бы выступать в качестве потенциальных инвесторов для коммерциализуемых научно-исследовательских проектов, но законы сдерживают возможность перетекания капитала из данных сфер в инновационную.

Стоит отметить так же значительную степень бюрократизации бизнес-инкубационных процессов. Большое количество согласований, подтверждений и документального оформления сводят усилия новаторов и сотрудников бизнес-инкубаторов к нулю и поэтому многие проекты реализуются за границей, что провоцирует отток научных кадров и потерю определенных приоритетных направлений.

Для более комплексного подхода к решению ранее обозначенных проблем, можно отнести новую инновационную форму хозяйствования, как виртуальный бизнес-инкубатор (ВБ-И). В России можно отметить следующие проблемы реализации данного проекта:

- многие Интернет ресурсы просто мертвые и не носят информативного характера для потребителя услуг;
- много сайтов, которые не обновляются с 2009, 2010 или 2011 года, т.е. эти проекты не функционируют, но ВУЗы или федеральные структуры продолжают их держать на своем Интернет ресурсе;
- много общей информации, но нет конкретных дел и информации о достигнутых результатах от созданных бизнес-инкубаторов;
- много псевдо инновационных продуктов, которые рекламируются как научные (инновационных), но к науке отношения не имеют;
- нет единой сети и закономерного территориального размещения бизнес-инкубаторов в России (они действуют разрозненно и, как правило, не знают друг о друге);
- не все виды деятельности, утвержденные уставом (положением), реализованы в классических бизнес инкубаторах при ВУЗах в полном объеме;

- региональные бизнес-инкубаторы, получая дотационные суммы (в среднем в год от 3 до 8 млн. рублей), не заинтересованы в повышении результативности бизнес-процессов;

- в бизнес-инкубаторах работают кадры, потенциал и образование которых не соответствует данным структурам;

- ученым навязывают политику стартапов, и это приводит к тому, что бизнес-процессы в инкубаторах просто не идут, т.к. нет заинтересованности со стороны ученых;

- бизнес сообщество не проявляет интерес к научным проектам, рекламируемым в бизнес-инкубаторах, т.к. они материально-, финансово- и трудозатратны;

- незначительные суммы у инвесторов, бизнес-ангелов, инвестиционных фондов, грантодателей приводят к тому, что нельзя реализовывать такими методами глобальные научные проекты;

- отсутствие страхования риска в инновационной сфере и предоставления этой услуги бизнес-инкубаторам сделали инновационный бизнес низко рентабельным и бесперспективным для бизнесменов.

На наш взгляд данных проблем можно избежать, применяя новую инновационную форму хозяйствования – виртуальный бизнес-инкубатор. **ВБ-И** – это интерактивный сетевой ресурс, взаимодействующий с различными коммерческими структурами, обеспечивающими его функциональность, конкурентоспособность и спрос на предоставляемые услуги. Данному ресурсу не требуется физический юридический адрес, а специалисты, работающие в ВБ-И, могут связываться с клиентом интерактивно (процесс обучения, процесс общения, процесс консультирования и др.). При этом можно нанимать консультантов из различных стран и не тратить средства на транспортные услуги, питание и проживание. Так же снимаются и административные барьеры (таможенный и пограничный контроль). ВБ-И могут охватывать и кооперировать значительную аудиторию новаторов, находящихся в различных странах.

В таблице 1 приведены сравнительные характеристики бизнес-инкубатора классического типа (КБ-И) и виртуального бизнес-инкубатора (ВБ-И).

Таблица 1.

## Сравнительные характеристики КБ-И и ВБ-И

<b>Функции КБ-И</b>		<b>Функции ВБ-И</b>	
<i>Преимущества</i>	<i>Недостатки</i>	<i>Преимущества</i>	<i>Недостатки</i>
- низкая арендная ставка офисов	- затраты новаторов на аренду	- отсутствие затрат на аренду	- не предоставляются офисы
- соседство сотрудников и новаторов	- затраты на обучение и офисные услуги	- интерактивный контакт через средства связи	- удаленность сотрудников и новаторов
- отбор проектов из известных научных областей	- ограничен территориально	- широкий круг новаторов из разных стран	- не известные научные области знаний
- подготовка документов для регистрации компании	- затраты на подготовку документов	- интерактивная передача регистрационных документов	- минимальные затраты на их оформление
- ограниченное число инвесторов	- ограниченное число реализуемых проектов	- неограниченное число инвесторов	- неограниченное число проектов
- помещения и офисы	- коммунальные затраты	- отсутствие коммунальных затрат	- отсутствие помещений и офисов
- низкая квалификация работников	- слабый интернет-ресурс	- сильный интернет ресурс	- высокая квалификация работников
- собственные консалтинговые услуги	- дорогие консалтинговые услуги	- большое число экспертов	- низкая стоимость консалтинговых услуг

Как видно из приведенных данных преимущества ВБ-И преобладают над преимуществами КБ-И.

## Список используемых источников

1. Фесюн, А.В. Формирование бизнес-инкубатора межрегионального типа Специальность: 08.00.05 – экономика и управление народным хозяйством (региональная экономика) // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук, г.Волгоград // <http://www.volsu.ru>
2. Чистякова, О.В. Перспективные направления развития бизнес-инкубаторов в России // Электронный Журнал Известия Иркутской государственной экономической академии, 2011. № 2, <http://eizvestia.isea.ru>
3. <http://old.startupwomen.ru/2011/12/13/katalog-bisnes-inkubatorov-dlya-startapov/>
4. Тормышева, Т.А. Система управления бизнес-инкубатором на муниципальном уровне Журнал «Практика муниципального управления» 2009 г. №7.

# УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ ИННОВАЦИЙ

*Ершова М.В., Жариков Р.В.*

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»*

Инновационное обеспечение - это реализация программы модернизации экономики на инновационной основе путем повышения качества машиностроительной продукции отечественного производства и обновления технологического оборудования в отраслях народного хозяйства, что обеспечит более полное удовлетворение общественных потребностей с меньшими затратами и обеспечивающее технико-экономический, социальный, экологический эффекты в отдельности или их комбинацию.

В условиях дефицита финансов важным является оптимизация затрат, связанных с деятельностью предприятия, в том числе затрат на повышение качества продукции. Известно, что чрезмерные затраты не приводят к росту качества, так как помимо финансовых ресурсов на качество оказывают влияние другие факторы: материальные, технологические, технические, трудовые, организационные и др.

Высокие темпы развития техники привели к появлению принципиально новых видов машиностроительной продукции, резкому усложнению их конструкции, созданию и широкому освоению новых технических систем. На мировых рынках за три года обновляется около половины всех товаров промышленного назначения. При этом качество постоянно улучшается. В этом случае необходимо направлять интеллектуальные ресурсы на ресурсосбережение путем снижения материалоемкости, энергоемкости, трудоемкости и экономии времени.

Появляются новые методы и способы использования исходных материалов. Например, использование порошковой металлургии приближает по форме заготовку к готовой детали и тем самым снижает трудоемкость ее изготовления. Широко в машиностроении используются листовые пластмассы, а их формование производится с помощью вакуумных установок вместо штамповки листового металла. Все это способствует формированию новой более качественной и более дешевой продукции машиностроения.

Концепция повышения качества продукции базируется на следующих семи основных принципах - качество машиностроительной продукции должны составлять качество:

- ресурсов и транспортных услуг;
- применяемых технологий;
- используемой техники;
- обеспеченностью кадрами и их квалификацией;
- организационной структурой предприятия и структурой управления качеством;
- культурой организации;

-взаимоотношениями с потребителями.

При этом взаимоотношения организаций (поставщики ресурсов, транспортные организации, производитель, потребитель) должны строиться на компромиссах, все участники логистической цепи должны иметь лимитированный уровень рентабельности, а его превышение должно быть предметом рассмотрения всеми участниками, потому что превышение установленного уровня рентабельности может произойти за счет низких издержек, либо за счет использования инноваций, что должно приветствоваться.

Взаимодействие с рынком (потребителем) по удовлетворению его потребностей на высоком уровне качества и обеспечение минимизацию затрат на производство и эксплуатацию обеспечивает концепция инновационного обеспечения управления качеством машиностроительной продукции. Данная концепция как «генеральный замысел, определяющий стратегию действий» [1] на рынке по удовлетворению потребностей в оборудовании можно сформулировать следующим образом:

Стратегия действий предприятия в рамках концепции инновационного обеспечения управления качеством машиностроительной продукции должна предусматривать систему механизмов формирования и поддержания качества машиностроительной продукции за счет внедрения инноваций на всех этапах ее жизненного цикла.

Необходимо учесть, что качество продукции является важнейшим фактором ее конкурентоспособности.

Таким образом, концепция инновационного обеспечения управления качеством позволяет рассматривать ее как сущность и явление, а инновационную деятельность – как процесс формирования, поддержания и непрерывного повышения качества машиностроительной продукции путем инвестирования, создания, внедрения и использования новшеств, что позволяет более эффективно управлять качеством продукции и, в конечном счете, ее конкурентоспособностью.

#### Список используемой литературы

1. Райсберг Б.А., Лозовский Л.Ш., Стародубцева Е.Б. Современный экономический словарь. -4-е изд. –М.: ИНФРА-М, 2005, с.189-190.



# ВЫБОР ИННОВАЦИОННОЙ СТРАТЕГИИ ПРИ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ ТВЕРДОФАЗНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

*Худяков В.В., Полуэктов В.Л.*

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»,  
НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии»*

При создании и развитии малого инновационного предприятия (МИП) в рамках Федерального Закона №217 может возникнуть ряд трудностей, которые могут быть успешно решены, применяя существующие инновационные стратегии ещё на стадии бизнес планирования.

Для эффективного развития МИП необходимо вытеснение и замена традиционных методов переработки полимерных материалов на энергосберегающие твердофазные технологии, применение которых позволяет:

- экономить энергию и капитальные затраты, за счет сокращения числа технологических операций для получения конечного продукта;
- снизить количество вредных выбросов и улучшить условия труда;
- повысить технологические показатели (снизить технологическую усадку и, соответственно, повысить размерную точность изделия);
- перерабатывать термически нестабильные, высокомолекулярные полимеры;
- повысить производительность перерабатывающего оборудования за счет исключения стадий нагрева и охлаждения в процессе формования изделий.

Инновационный потенциал твердофазных технологий применимо к производству изделий для машиностроения, приборостроения, радиотехнических деталей и медицинского протезирования позволяет задать хорошую стартовую позицию и развивать ее. Анализируя базовые инновационные стратегии, направленные на развитие конкурентных преимуществ МИП, был сделан выбор в пользу стратегии интеграционного роста, поскольку эта стратегия наиболее применима к предприятиям, обладающим невысоким стартовым капиталом. Наиболее простым вариантом интеграционной стратегии является горизонтальная интеграция, которая подразумевает взаимодействие с отраслевыми разрабатывающими и производящими предприятиями.

Поиск конечного потребителя и удовлетворение его конкретных требований и ожиданий рассматривается, как главное условие завоевания и расширения рынков сбыта, основа получения прибыли, стабилизации экономического положения МИП.

На основе предлагаемой интеграционной стратегии был разработан проект коммерциализации технологии получения композитов и изделий из сверхвысокомолекулярного полиэтилена.

Проект направлен на разработку технологии получения композитов и изделий из сверхвысокомолекулярного полиэтилена с улучшенными эксплуатационными свойствами (разрушающее напряжение при: растяжении, сжатии, срезе; микротвёрдость; модуль упругости) для ряда отраслей промышленности (машиностроения, космической промышленности, авиации, судостроения, медицины, химической промышленности и др.)

СВМПЭ как перспективный конструкционный материал известен давно, но его производство и продвижение на рынок было ограничено в первую очередь серьезными трудностями, возникающими при его переработке в изделия, а именно высокая вязкость расплава. Поэтому исследования, посвященные СВМПЭ в России и за рубежом, направлены в основном на разработку и совершенствование технологий его переработки, учитывая затруднения, обусловленные высокой молекулярной массой этого полимера. На рисунке 1 представлена схема коммерциализации проекта.



Рисунок 1. Схема коммерциализации проекта.

Из СВМПЭ может изготавливаться большая гамма продукции. Потенциальная емкость российского рынка может быть очень значительной. Однако пока рынок ВМПЭ в России не сформирован. Потребитель не знаком с данным сырьем. Поэтому без значительных усилий на продвижение данного сырья, значительное увеличение текущих объемов российского рынка вряд ли возможно. Пока что основным способом организовать сбыт данного сырья остается организация собственной переработки.

СВМПЭ имеет значительный экспортный потенциал. Общая мировая потребность в СВМПЭ составляет порядка 140–150 тыс. тонн в год и объемы его потребления постоянно возрастают.

Как показывает экономическая практика, формирование внутреннего предложения неизбежно приводит к появлению новых потребителей. Особенно это характерно для прилегающих к производству районов. Поэтому можно ожидать, что в прилегающих областях в скором времени появятся в скором времени несколько десятков производств изделий из СВМПЭ. В выигрышном положении окажутся компании, первыми вышедшие на рынок.

Применение инновационного менеджмента при коммерциализации результатов интеллектуальной деятельности позволит выбрать оптимальную стратегию развития МИП и реализовать эффективное управление предприятием. Представленный проект получения изделий из СВМПЭ реализован на основе применения интеграционной стратегии. Рассмотрены предприятия-производители, предприятия-потребители СВМПЭ, изделий из СВМПЭ, взаимодействие и интеграция с которыми является необходимым условием при выборе горизонтальной интеграции в качестве инновационной стратегии.

#### Список используемых источников

1. Инновационный менеджмент: Учебник для вузов. 6-е изд./ Р.А. Фатхутдинов. – СПб.: Питер, 2008 – 448с.
2. Переработка сверхвысоко-молекулярного полиэтилена в изделия./ Полуэктов В.Л., Баронин Г.С.:Девятая Всероссийская с международным участием Школа-семинар по структурной макрокинетике для молодых учёных -Черноголовка, 2011. С. 84-86
3. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен./ Распопов Л.Н., Белов Г.П. – Синтез и свойства. Пластические массы. 2008. №5. с. 13-19.
4. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен: Новая реальность отечественной промышленности полиолефинов./ Майер Э.А., Дудченко В.К., Поддубняк А.Н., Аркатов О.Л. – Пластические массы. 2003. №8.- с.3-4.
5. Разработка технологии получения композитов и изделий из сверхвысоко-молекулярного полиэтилена /Полуэктов В.Л.:Аспекты ноосферной безопасности в приоритетных направлениях деятельности человека. Материалы Международ. кластер. научно-практ. конф. Тамбов: Изд-во «ТР–принт» 2011. С.72-73

## ПРИНЦИПЫ АНТИКРИЗИСНОГО УПРАВЛЕНИЯ

*Жариков В.В., Жариков В.Д.*

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»*

В условиях, когда предприятие состоятельно, нормально функционирует на рынке, имеет положительные экономические и финансовые результаты, антикризисное управление должно быть нацелено на профилактику (предотвращение) кризисных явлений. Антикризисное управление – это целый комплекс взаимосвязанных мероприятий от ранней диагностики кризиса до мер по его преодолению. Антикризисное управление базируется на некоторых принципах, которые и отличают антикризисное управление от обычного.

К числу основных принципов организации антикризисного управления предприятием относятся:

Мониторинг финансового состояния предприятия. Ежеквартально необходим анализ результатов финансовой деятельности и разработка мероприятий по ее совершенствованию.

Постоянная готовность к возможному нарушению финансового равновесия организации. Финансовое равновесие организации характеризуется притоком и оттоком финансовых ресурсов и очень изменчиво в динамике.

Ранняя диагностика (прогнозирование) кризисных явлений в финансовой деятельности предприятия. Учитывая, что возникновение кризиса на предприятии несет угрозу самому существованию предприятия и связано с ощутимыми потерями капитала его собственников, возможность возникновения кризиса должна диагностироваться на самых ранних стадиях с целью своевременного использования возможностей ее нейтрализации.

Срочность реагирования на кризисные явления. Каждое появившееся кризисное явление не только имеет тенденцию к расширению с каждым новым хозяйственным циклом, но и порождает новые сопутствующие ему явления. Поэтому чем раньше будут применены антикризисные механизмы, тем большими возможностями к восстановлению будет располагать предприятие.

Адекватность реагирования предприятия на степень реальной угрозы его финансовому равновесию. Используемая система механизмов по нейтрализации угрозы банкротства в подавляющей своей части связана с финансовыми затратами или потерями.

При этом уровень этих затрат и потерь должен быть адекватен уровню угрозы банкротства предприятия. В противном случае или не будет достигнут ожидаемый эффект (если действие механизмов недостаточно), или предприятие будет нести неоправданно высокие расходы (если действие механизма избыточно).

Полная реализация внутренних возможностей выхода предприятия из кризисного состояния. В борьбе с угрозой банкротства предприятие должно рассчитывать исключительно на внутренние финансовые возможности.

Выбор эффективных форм санации организации. Если масштабы кризиса не позволяют выйти из него за счет внутренних ресурсов, организация должна прибегнуть к механизмам внешней санации.

В общем случае политика антикризисного управления заключается в разработке системы методов предварительной диагностики угрозы банкротства и "включении" механизмов финансового оздоровления организации, обеспечивающих ее выход из кризисного состояния.

Антикризисное управление с целью профилактики включает в себя следующие направления:

Антикризисный мониторинг, предполагающий расширение и углубление наблюдений за состоянием деятельности предприятия, проведение работ по своевременному выявлению и оценке негативных явлений, таких как спад объемов производства, снижение качества и конкурентоспособности выпускаемой продукции, колебания в объемах продаж. Мониторинг должен включать создание и внедрение современных методик, обеспечивающих автоматизацию сбора и передачи информации. Мониторинговые работы должны осуществляться на базе разработок моделей и методов для оценки динамики состояния деятельности предприятий по различным параметрам, прогноза развития производства и выработки рекомендаций и мер по устранению негативных процессов при их возникновении и принятия управленческих решений.

Диагностика (оценка) предприятия – это методы и процедуры распознавания кризисных ситуаций и постановка диагноза анализируемого объекта в целях повышения эффективности его функционирования и жизнеспособности в условиях свободной конкуренции, свободного, нерегулируемого рынка. Диагностике должны быть подвергнуты все элементы деятельности предприятия, в частности: финансы; маркетинг, производство, техника и технология, менеджмент, стратегия, конкурентоспособность.

Разработка и проведение системы мер по предотвращению кризисных явлений, заблаговременному устранению возможных причин возникновения кризисной ситуации (закрытие нерентабельных производств, репрофилирование отдельных цехов и участков, диверсификация и т.д.).

Подготовка к действиям в условиях неизбежных или вероятных кризисных ситуаций при невозможности устранить их причины (уменьшение риска и ослабление последствий за счет компенсационных мер, в том числе создания запасов и резервов, переподготовки кадров и т.п.).

# УПРАВЛЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫМИ ПРОЦЕССАМИ В ВЫСШЕМ УЧЕБНОМ ЗАВЕДЕНИИ

*Истомин М.А.*

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»,  
Тамбов, [istominm@list.ru](mailto:istominm@list.ru)*

В настоящее время в России происходят существенные преобразования системы образования вообще и высшего образования в частности. Эти изменения затрагивают сферы формирования и трансфера инноваций научно-образовательными организациями. И как следствие возникает потребность в совершенствовании подсистемы управления инновационными процессами в вузе.

Общая схема управления инновационными процессами в научно-образовательной организации выглядит следующим образом (рисунок 1).

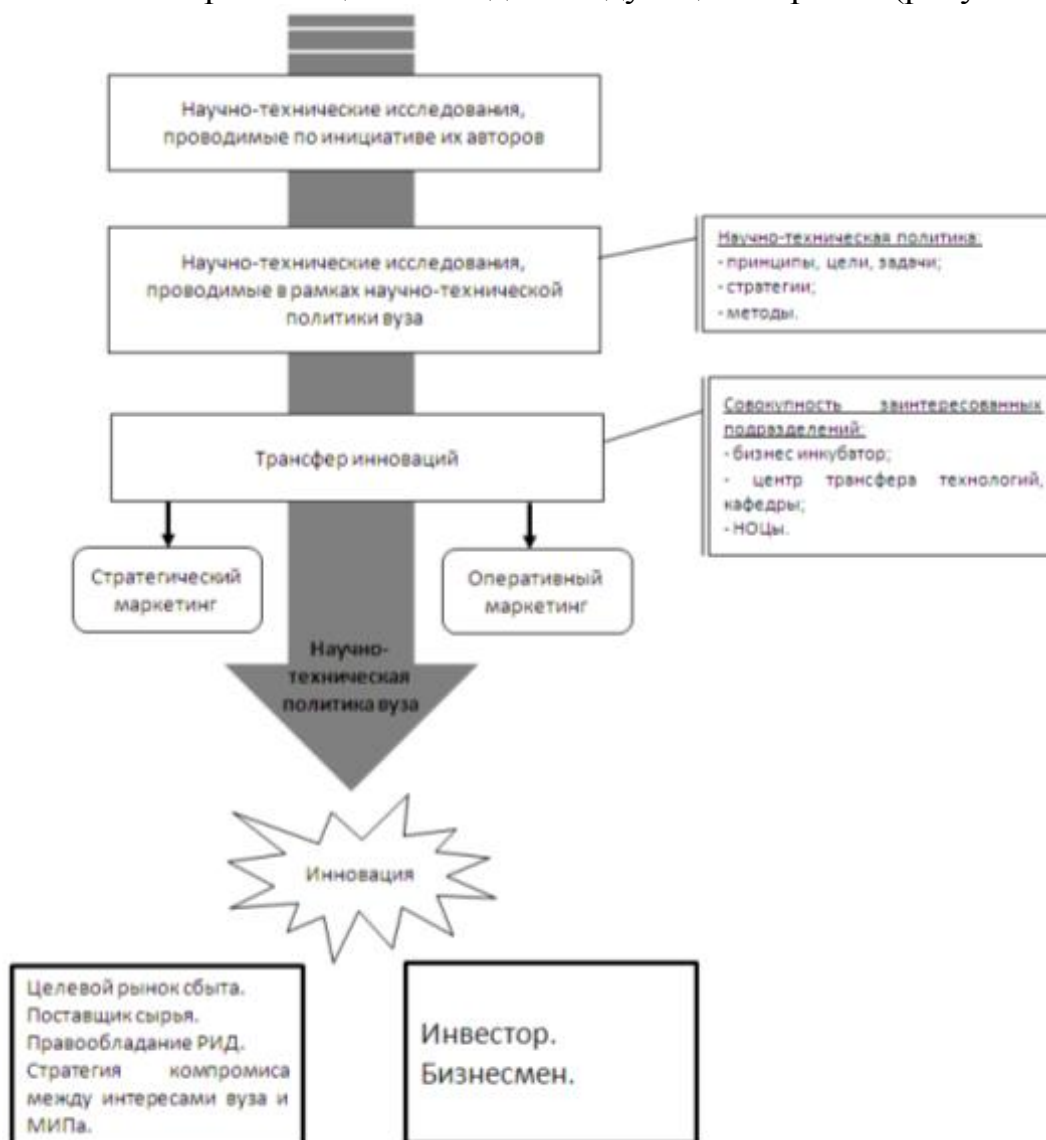


Рисунок 1. Схема управления инновационными процессами в вузе

Предложенная схема подразумевает активное взаимодействие вуза с внешней средой и наличие развитых рынков в регионе.

Следует отметить, что на сегодняшний день процесс по формированию рынков инновационной продукции в Тамбовской области набирает обороты.

Так, указом Президента Российской Федерации от 4 ноября 2003 г. №1306 «О присвоении статуса наукограда Российской Федерации г. Мичуринску Тамбовской области» первому и единственному в России наукограду в агропромышленном комплексе утверждены основные направления научной, научно-технической и инновационной деятельности, экспериментальных разработок, испытаний и подготовки кадров, являющиеся приоритетными для Мичуринска – наукограда РФ [1].

В целях внедрения результатов научных исследований и разработок в производственную деятельность, увеличения спроса на наукоемкую продукцию создаётся современная инфраструктура. Действует сеть бизнес-инкубаторов, Центров коллективного пользования, 41 малое инновационное внедренческое предприятие (созданные при вузах).

Осуществляется подготовка инновационных управленческих кадров для реального сектора экономики Тамбовской области в рамках проекта «Школа губернаторского резерва». С 2011 года проводится региональный конкурс стартап-компаний, созданных молодежью.

В регионе активно развивается новый инструмент стимулирования развития экономики – технологические платформы как форма интеграции ресурсов науки, образования, государства, бизнеса, нацеленная на координированное инновационное развитие приоритетных отраслей экономики.

Технологическая платформа «Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания», рекомендована рабочей группой по развитию частно-государственного партнёрства Министерства экономического развития РФ к включению в Перечень приоритетных технологических платформ, утверждаемый Правительственной комиссией по высоким технологиям и инновациям.

Идёт создание биоэкономического кластера с международным участием. Участниками кластера являются организации и учреждения шести административных районов западной части Тамбовской области, а также такие структуры, как ОАО «ОАО «РГ-Биотехпром» (дочерняя компания ОАО «Ростехнологии») и немецкий кластер промышленной биотехнологии «CLIV». Идеология кластера разработана с учетом проекта Стратегии инновационного развития АПК, где в качестве основных направлений до 2020 г. предусматриваются исследования в области производства экологически безопасного и здорового продовольствия, а также в контексте одного из приоритетных разделов тематики инновационных проектов будущей Госпрограммы развития сельского хозяйства на 2013-2020 гг. - создание инфраструктуры биоэкономики АПК.

Государственное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов

Российской академии сельскохозяйственных наук» в качестве цели научной и инновационной деятельности выделяет: проведение фундаментальных и приоритетных прикладных научных исследований, опытно-конструкторских работ, внедрение достижений науки и передового опыта, направленных на получение новых знаний в сфере агропромышленного комплекса, способствующих его инновационному, технологическому, экономическому и социальному развитию. Основные задачи его научной и инновационной деятельности: повышение эффективности использования техники и топливно-смазывающих материалов, применяемых в агропромышленном комплексе [2].

В рамках развития инновационного сектора экономики региона предполагается проведение следующих мероприятий:

- организация работы агротехнопарка в городе-наукограде Мичуринске.

- создание и развитие промышленных парков, инвестиционных площадок в сфере высоких технологий, инновационно-технологических центров на базе предприятий химической и машиностроительной промышленности.

- создание условий для целевой подготовки кадров для инновационной сферы.

- организация системы финансово-экономического обеспечения инновационной деятельности (совместное финансирование проектов, имеющих государственное значение за счет средств федерального и областного бюджетов, привлечение средств венчурных фондов для реализации инновационных проектов).

- создание региональной инновационной платформы (наука и образование, предприятия, инфраструктура поддержки инноваций).

- организация системы информационного обеспечения инновационной деятельности [3].

В этих условиях можно сделать вывод, что начинает формироваться рынок результатов интеллектуальной деятельности (РИД). В связи с этим вузам необходимо занять определенную позицию в формирующейся структуре (рисунок 2).

В рамках предложенной схемы появляются две основные проблемы:

- 1) Характер взаимодействия между подразделениями НИОКР и коммерческими подразделениями научно-образовательной организации.

- 2) Механизм выявления потенциальных рынков сбыта (организация маркетинговой деятельности вуза).





Рисунок 2. Структура рынка РИД с участием вуза

В этих условиях актуальной становится проблема определения равновесной цены на рынке РИД при условии, что товар каждый раз уникален. Рассмотрим экономические условия заключения сделки между автором-разработчиком РИД и заказчиков (производителем товаров и услуг) (таблица 1).

Таблица 1.

Экономические условия совершения сделки

Автор РИД	Производитель товара (услуг)
Цена покрывает все издержки	Цена РИД будет соответствовать затратам на изготовление продукции
Авторский гонорар – субъективная оценка собственного таланта	Стабильный уровень прибыли
	Соответствие экологическим, производственным, юридическим, этическим и иным требованиям.

Равновесие на рынке РИД складывается следующим образом (рис. 3).

$$\underbrace{\left( \begin{array}{l} \text{Стоимость} \\ \text{ресурсов} \\ \text{разработчика} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Авторский} \\ \text{гонорар за} \\ \text{уникальность} \end{array} \right)}_{\text{Цена продажи}} = \text{Продажи} - \underbrace{\left( \begin{array}{l} \text{Прибыль} \\ \text{+} \\ \text{Стоимость} \\ \text{ресурсов} \\ \text{фирмы} \end{array} \right)}_{\text{Цена покупки}}$$

Рисунок 3. Равновесный объем рынка РИД

Возникает вопрос о том, как оценить величину авторского гонорара (рисунок 4).

$$\text{Авторский гонорар за уникальность} = \text{Продажи} - \left( \text{Прибыль} + \text{Стоимость ресурсов фирмы} \right) - \left( \text{Стоимость ресурсов разработчика} \right)$$

Рисунок 4. Определение размера авторского гонорара за уникальность

То есть размер авторского гонорара должен быть таким, чтобы не снижать прибыль фирмы-производителя.

Таким образом, существующие тенденции развития инновационных процессов в регионах потребуют активного участия в них научно-образовательных организаций. Это означает, что в высших учебных заведениях необходимо выстраивать новые модели управления.

#### Список используемых источников

1. Инвестиционный паспорт тамбовской области / Образование <http://www.invest-tambovregion.ru/obrazovanie.html>
2. Инвестиционный паспорт Тамбовской области / Наука <http://www.invest-tambovregion.ru/nauka.html>
3. Стратегия социально-экономического развития Тамбовской области на период до 2020 года <http://www.tambov.gov.ru/ekon/econom/4371.html>

## ОРГАНИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО УЧЕТА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО КОМПОНЕНТА ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА В НАНОИНЖЕНЕРИИ

*Васильев А.А., Семикина С.И., Петрова Е.А., Попов А.И.  
ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический  
университет»*

Успешность реализации инновационных проектов в отраслях, определяющих формирование шестого технологического уклада, во многом обусловлена функционированием системы управления на всех этапах деятельности: от появления новой идеи до производства продукции и её потребления. Стадия научно-исследовательской работы достаточно часто выполняется в бюджетных организациях, основной задачей которых является предоставление образовательных услуг и (или) получение новых знаний по различным отраслям. Причем миссия этих организаций ориентирована на выполнение условия, сформулированного А.С. Панариным: темпы роста фундаментального знания должны превышать темпы роста прикладного знания, которое в математическом виде может быть записано [3]:

$$\frac{dX_{\text{фунд}}}{dt} > \frac{dX_{\text{прикл}}}{dt}$$

В этих условиях возрастает актуальность совершенствования учетной политики образовательного и научно-исследовательского учреждения с

целью оптимизации его деятельности, как по получению фундаментальных знаний, так и по решению реальных прикладных задач по подготовке производства инновационной продукции на предприятиях региона.

В контексте практического претворения в жизнь инновационной доктрины в ФГБОУ ВПО «ТГТУ» создан ряд малых предприятий в области нанотехнологий, таких как «Наногальваника», сотрудники которых параллельно ведут преподавательскую и научную работу в вузе, что обуславливает потребность в разделении учетных данных и выработке специфических управляющих воздействий.

На наш взгляд, основой подсистемы управленческого учета в системе управления малым предприятием в области нанотехнологий является процесс «учет научно-исследовательской работы», который предназначен для ведения учета характеристик создаваемых и используемых в процессе работы объектов интеллектуальной собственности.

При организации системы управленческого учета научно-исследовательской работы необходимо учесть наличие вариативных и инвариантных затрат. Вариативные затраты включают прямые затраты на научно-исследовательскую деятельность малого предприятия и часть накладных (связанных с обслуживанием и управлением основной деятельностью). К вариативным затратам можно отнести стоимость проведения экспериментальной работы (в т.ч. и затраты на сырьё и материалы для проведения экспериментов), изготовление специального лабораторного оборудования, повышение квалификации и стажировки работников малых предприятий, участие в конференциях и выставках, публикация материалов исследований, амортизацию лабораторного оборудования вуза. Причем разделение затрат по последней статье предполагает учет степени использования лабораторного оборудования в учебном процессе.

На наш взгляд, рассчитывать долю амортизации (Д) лабораторного оборудования образовательного учреждения, приходящуюся на научно-исследовательскую работу малых предприятий, целесообразно по формуле:

$$Д = 0,5 * ВЭ / (ДЛП + ВЭ),$$

где ВЭ – время экспериментальной работы в течение отчетного периода, ДЛП – длительность лабораторного практикума (в академических часах) на данном оборудовании согласно рабочим программам учебных дисциплин, использующих данное оборудование.

Коэффициент 0,5 учитывает, что к работе в малых предприятиях привлекаются студенты и аспиранты, и поэтому их работа несет в себе и образовательную составляющую. В процессе выполнения научно-исследовательского компонента инновационного проекта студенты приобретают следующие профессиональные компетенции: способность применять современные методы исследования и моделирования проекта; готовность изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования; готовность спланировать

необходимый эксперимент, получить адекватную модель и исследовать ее; способность разрабатывать проекты реализации инноваций, формулировать техническое задание, использовать средства автоматизации при проектировании и подготовке производства, составлять комплект документов по проекту.

К инвариантным затратам малого предприятия можно отнести стоимость осуществления вспомогательных операций, снабжения и инвестиционной деятельности как процессов [2].

В системе «стандарт-кост» ведение учета базируется на нормативах, что позволяет производить оценку затрат на выполняемый объем работ при функционировании процесса в запланированном периоде. Сложность применения данной системы в том, что процесс творческой изобретательской деятельности, являющейся основой научно-исследовательского компонента инновационного проекта, трудно поддается нормированию, и возможно лишь использование статистических норм на тот или иной вид научно-исследовательской работы. Целью разработки системы управленческого учета становится определение технологически обоснованных норм, обеспечивающих заданное качество протекания процесса. Нормативные затраты считаются эталоном издержек для оптимальных условий функционирования процесса. Исходя из этого они становятся удобным базисом оценки эффективности управленческих решений по степени влияния их на затраты. В результате этого становится возможной конкретная оценка будущих расходов [1].

Использование приведенных основных подходов к организации управленческого учета научно-исследовательского компонента инновационного проекта и построение на их основе математической затратной модели управления инновационной деятельностью на предприятиях нанотехнологии, а также модели управления качеством творческой подготовки студентов, задействованных в практической деятельности на малых предприятиях, позволит сделать прозрачными расходы научно-исследовательских организаций и вузов на развитие кадрового резерва, как для фундаментальной, так и для прикладной науки, обеспечат возможность инновационного развития страны.

#### Список используемых источников

1. Ивашкевич, В.Б. Бухгалтерский управленческий учет / В.Б. Ивашкевич. – М.: Экономистъ, 2004. – 618 с.
2. Прокошин, И.Н. Экономико-управленческие механизмы построения системы менеджмента качества в жизнеобеспечении: монография / И.Н. Прокошин, А.В. Романенко. – Тамбов: Бирюкова М.А., 2009. – 60 с.
3. Солодова, Е.А. Концепция модернизации высшего образования России на основе синергетического моделирования / Е.А. Солодова // Синергетическая парадигма. Синергетика образования. – М.: Прогресс-Традиция, 2007 – 592с.

# ОСНОВЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ИННОВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ

*Завражина К.В.*

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»*

Вопросы становления и развития системы менеджмента качества образовательных учреждений России, применения инновационных образовательных технологий и технологий электронного обучения в настоящее время приобрели очень важное значение для развития российской системы образования.

В современной научной литературе, посвященной проблемам управления инновационными процессами в сфере образовательной деятельности, отмечается сложность и многоаспектность данного процесса. Особое внимание сосредоточено на том, что инновационный подход к обучению студентов должен быть системным и охватывать все аспекты учебно-воспитательной работы при подготовке будущих специалистов, при этом должны быть пересмотрены теоретические и практические подходы к содержанию образования, профессионально-педагогической подготовке преподавателей, разработке новых технологий и методов обучения. Обозначенную проблематику активно изучают отечественные и зарубежные исследователи, такие как Дж. Мартин, Л. Свенсон, И. Лернер, М. Скаткин, В. Беспалько, В. Сластенин, О. Пехота, С. Сысоева и др. Однако большинство исследований направлено на общеобразовательные учебные заведения, а высшая школа незаслуженно остается без внимания отечественных ученых.

В условиях стратегического планирования деятельности образовательного учреждения необходимым условием является применение инновационной деятельности в различных компонентах образовательного процесса. Инновационный характер содержания образования обеспечивается качественным использованием практических навыков преподавателей, непосредственно связанных с внедрением инноваций. Важно заметить, то четкого определения инновационной деятельности в образовании нет.

В самом учебном процессе применимы такие подходы, как инновационное модульное построение программы, связанное с выделением в ней модулей, обеспечивающих формирование основных компонентов профессионально-личностной компетентности. Инновационная активность студентов должна проявляться в проведении анализа содержания учебных дисциплин с точки зрения их места в образовательной программе, выявлении соответствия учебного материала и способов работы с ним задачам профессионально-личностного роста; в осуществлении самоанализа хода учебной деятельности, коллективного анализа качества результатов учебной деятельности и выявлении возникающих затруднений в освоении материала.

Эффективными формами учебной работы по внедрению в образовательный процесс инновационных процессов и формированию ключевых профессиональных компетенций будущих специалистов является применение различных активных форм и методов обучения.

**Инновационные методы в образовании** – педагогические методы, основанные на использовании современных достижений науки и информационных технологий. Они направлены на повышение качества подготовки специалистов, развитие у студентов творческих способностей, умения самостоятельно принимать решения. Основными инновационными методами в образовании являются: методы проблемного и проектного обучения, моделирования, исследовательские методы, модульное обучение, игровые технологии, метод мозгового штурма, метод кейс-стади, метод творческих заданий, методы активного обучения, контекстного обучения и обучения на основе опыта. Инновационные методы могут реализовываться как в традиционной форме, так и в дистанционной технологии обучения с применением электронных мультимедийных учебников и учебных пособий; проблемно-ориентированного междисциплинарного подхода к изучению учебных дисциплин; проектно-организационных технологий обучения работе в команде над комплексным решением практических задач; предпринимательских идей в содержании курсов. Инновационные методы предполагают: возрастание роли обучаемого в учебном процессе, смещение центра (фокуса) учебного процесса от преподавателя к студенту; усиление функции поддержки студента, помощи ему в организации индивидуального учебного процесса; возможность обратной связи преподавателя с каждым обучающимся при использовании новых коммуникационных технологий. При этом возникает необходимость в разделении преподавательского труда (выделение разработчиков содержания, тьюторов, специалистов по методам обучения, специалистов по контролю за ходом процесса обучения и т.п.); в объединении преподавателей, специалистов по информационным технологиям и организаторов учебного процесса в группы, команды, осуществляющие разработку и реализацию инновационных технологий обучения.

Переход от информационно-объяснительного обучения к инновационно-действию связан с применением в учебном процессе новых компьютерных и различных информационных технологий, электронных учебников, видеоматериалов, обеспечивающих свободную поисковую деятельность, а также предполагает развитие и личностную ориентацию. Исходя из этого, на сегодня можно отметить различные инновационные методы обучения студентов, в частности, это проблемная и игровая технологии, технологии коллективной и групповой деятельности, имитационные методы активного обучения, методы анализа конкретных ситуаций, метод проектов, обучение в сотрудничестве, креативное обучение, инновационная образовательная проектная деятельность, лекция-пресс-конференция, лекция-беседа, лекция-визуализация, лекция-диспут и т.д.

Инновационная деятельность в сфере образования имеет достаточно широкий спектр конкретных областей и конкретных предметов своего приложения. Она направлена на существенное повышение качества образования и качества личности; создание новых интеллектуальных или наукоемких образовательных технологий, учебников и учебного образования; развитие законодательства и нормативной базы; формирование нового типа или усовершенствование образовательного менеджмента, новых научно-образовательных структур и организационных форм в системе образования; улучшение образовательных услуг, повышение профессионального уровня профессорско-преподавательского состава, конкурентоспособности образовательных учреждений, национальной системы образования в целом и выпускников.

К тому же образование инновационного типа является интегрирующим учебный процесс и научный поиск. Это предполагает не только использование в учебном процессе новых научных знаний, но и включает сам творческий поиск в образовательный процесс.

#### Список используемых источников

1. Базилевич С.В., Брылова Т.Б., Глухих В.Р., Левкин Г.Г. Использование инновационных и интерактивных методов обучения при проведении лекционных и семинарских занятий // Наука Красноярья. — 2012. — № 4. — С. 103—113.
2. Осмоловская И.М. Инновации и педагогическая практика// Народное образование. — 2010. — № 6. — С. 182—188.
3. Симоненко Н.Н. Управление образовательными услугами с применением инновационных методов обучения // Вестник Тихоокеанского государственного университета. — 2012. — № 2. — С. 201—206.
4. Скрипко Л.Е. Внедрение инновационных методов обучения: перспективные возможности или непреодолимые проблемы? // Менеджмент качества. — 2012. — № 1. — С. 76—84.
5. Федеральная целевая программа развития образования на 2011—2015 URL:<http://old.mon.gov.ru/dok/prav/obr/8311/> (дата обращения: 27.10.2012)

*Научное издание*

**«СОВРЕМЕННЫЕ ТВЕРДОФАЗНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:  
ТЕОРИЯ, ПРАКТИКА И ИННОВАЦИОННЫЙ  
МЕНЕДЖМЕНТ»**

*Материалы IV Международной научно-инновационной  
молодежной конференции  
24 – 26 октября 2012 г.*

---

---

**Издательство ИП Чеснокова А.В.**

**392020, г. Тамбов, ул. О. Кошевого 14. Тел. (4752) 53-60-84.**

Подписано в печать 10.12.2012 г. Формат 60x84<sup>1</sup>/16.

Объем – 18,02 усл. Печ. Л. Тираж 150 экз. Заказ №506.