

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

IV Республиканская научно-техническая
конференция молодых ученых

**НОВЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ, СОВРЕМЕННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ
ИССЛЕДОВАНИЯ**

10–11 ноября 2016 г.

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ



Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования: материалы IV Республиканской научно-технической конференции молодых ученых, Гомель, 10–11 ноября 2016 г. — Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2016. — 78 с.

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

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ (НАНОМАТЕРИАЛЫ, ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ, ПОКРЫТИЯ И ДР.)

Аникеева М.В., Кузнецова В.В., Башлакова А.Л. Методы определения физико-механических свойств вкладышей из древесины торцово-прессового деформирования в подшипниках скольжения самосмазывающихся	6
Антусёва А.В., Кускильдина Ю.Р., Печерский Г.Г. Гелеобразующие силикат-полимерные составы	8
Баглов А.В., Хорошко Л.С. Формирование микрорельефа поверхности алюминиевой фольги химическим травлением	10
Бакиновский А.А. Применение аддитивного процесса электронно-лучевого послойного выращивания для получения градиентных материалов	11
Валенков А.М., Тимошенко В.В. Композиционные материалы на основе модифицированных биополимерных наполнителей и вторичных полиолефинов для получения одноосных геосеток	12
Демьянов А.С., Петрович В.А. Электрические свойства поликристаллического селенида-кадмия	14
Исаков С.А., Лежава А.Г. Металлические покрытия для защиты стальных деталей от коррозии, полученные методом электродуговой металлизации	15
Исаков С.А., Лежава А.Г. Определение оптимальных параметров получения металлических покрытий методом электродуговой металлизации с использованием источника тока с падающей вольт-амперной характеристикой	17
Красковский А.Н., Добыш В.А., Куликовская В.И. Получение и свойства тонких пленок на основе полигексаметиленгуанидина	19
Красуцкая Н.С., Кандидатова И.Н., Пугачев Е.С. Термоэлектрические свойства керамики на основе слоистого кобальтита кальция с частичным замещением кобальта висмутом	21
Криваль Д.В., Рева О.В. Композиционный огнестойкий материал на основе полиамида-6 и нетоксичных неорганических антипиренов	23
Латышев И.А., Клюев А.Ю., Козлов Н.Г., Скаковский Е.Д., Прокопчук Н.Р. Терпеноидно-малеиновые аддукты — как заменители живичной канифоли	25
Лозовская М.Э., Красковский А.Н., Куликовская В.И. Пленочные носители для канамицина на основе бычьего сывороточного альбумина	27
Меринов В.К. Влияние насыпной плотности наполнителей на триботехнические характеристики фрикционных композитов для узлов стационарного трения	28

Микулич В.С., Муравский А.А. Синтез соединений для материалов с отрицательной дисперсией двулучепреломления	30
Моисеенко А.Н., Босяков М.Н. Влияние концентрации легирующих элементов в конструкционных сталях на их азотируемость	32
Паршикова Е.А., Третьяк Е.В. Особенности синтеза YAG:Ce методом соосаждения	34
Попова М.А. Влияние поверхностного модифицирования полиуретана на стойкость в гидравлическом масле	36
Пугачев Н.Р. Сегнетоэлектрические свойства SBT слоев, синтезированных золь-гель методом	38
Сементовская А.А. Вулканизация бутадиен-нитрильного каучука фенолоформальдегидными смолами	39
Смирнов А.В., Синёв И.В., Осыко И.Д. Пористое металл-полимерное покрытие	41
Станчик А.В., Башкиров С.А., Филипеня В.А., Уразов К.А. Микроструктура тонких пленок $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ на гибких металлических подложках	43
Тимошенко В.В., Валенков А.М., Подобед Д.Л. Разработка экологичного антипирена для получения композиционного материала пониженной горючести	45
Тулейко А.С., Бухаров С.Н. Разработка новых экологически безопасных звукопоглощающих материалов для интерьеров транспортных средств	47
Хрол Е.З., Петрушеня А.Ф. Модифицированные композиты на основе смесевых отходов полимеров	48
Шевченко В.В. Смеси полиалкилентеревфталатов, модифицированные в расплаве изоцианатными удлинителями цепи	50
Шумская В.Ю., Калинин Л.А. Рациональный подход к выбору фильтрующих волокнисто-пористых материалов	51
Юхно Е.К., Башкиров Л.А., Жданеня М.И. Физико-химические свойства фотолуминофоров на основе индата лантана, легированного ионами редкоземельных элементов	53
Ященко В.С., Ольховик В.К. «One-pot» метод синтеза полиарилен-1,3,4-оксадиазолов с использованием бифенил-4,4'-дикарбоновой кислоты	55
Секция 2. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ	
Аль-Камали М.Ф.С.Х. Исследование маскирования теплового излучения пленками нанопористого анодного оксида алюминия	57
Башлакова А.Л. Методика определения модулей упругости направленно-армированных композитов	59

Бокий М.Ю. Разработка алгоритма математической и компьютерной реализации решения контактных задач	61
Борозна В.Д. Методика оценки функциональных свойств искусственных кож	62
Голубева Е.А., Аль-Абси Р.А. О математическом моделировании вязкоупругого поведения цилиндрических тел из композитов при контактном деформировании	64
Киселевич В.В. Оценка положения точек стеклообразования на размытых температурных зависимостях	65
Наумович А.С., Марачук Е.Н. Устройство для контроля коррозионных процессов	67
Омелосик А.В., Шмелев А.В. Идентификация параметров полилинейных моделей металлов по результатам испытаний плоских образцов	68
Шамына А.А. ГВГ плоской поляризованной электромагнитной волной от поверхности конечного цилиндра в случае наклонного падения в приближении gNLRGD	70
 Секция 3. ТРИБОЛОГИЯ, ФИЗИКА, ХИМИЯ И МЕХАНИКА ПОВЕРХНОСТИ	
Богданов А.Л. Влияние холестерина олеата на триботехнические свойства жидких смазочных сред	72
Григорьев Ф.А., Ковалева И.Н. Триботехнические свойства рафинированных растительных масел	73
Крижевский И.М. Влияние металлических наполнителей на прочностные и триботехнические характеристики фрикционных композитов	75
Симонюк И.Ю., Шестаков С.В. Фрикционные композиты для тормозных накладок дисковых тормозов буровых установок	77

**МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВКЛАДЫШЕЙ
ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ТОРЦОВО-ПРЕССОВОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ
В ПОДШИПНИКАХ СКОЛЬЖЕНИЯ САМОСМАЗЫВАЮЩИХСЯ**

М.В. Аникеева¹, В.В. Кузнецова¹, А.Л. Башлакова²

¹Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь; marta.anikeeva@yandex.ru

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

В настоящее время проблема обеспечения работоспособности подшипниковых узлов трения, эксплуатирующихся в абразивно-агрессивных и влажных средах, является очень актуальной. Для ее решения производят конструктивные изменения, применяют износостойкие антифрикционные материалы и покрытия, а также обоснованно подбирают вид и марку смазочного материала.

Целью данной работы являлось исследование физико-механических свойств вкладышей из древесины торцово-прессового деформирования (ТПД), модифицированных смазочным материалом с высокомолекулярной присадкой. Подшипники скольжения с вкладышами ТПД работают на самосмазке, обладают высокой износостойкостью и долговечностью.

Пропитка вкладышей торцово-прессового деформирования подшипников скольжения минеральным маслом МС-20, загущенным высокомолекулярной присадкой, осуществлялась на экспериментальной установке для высокотемпературной пропитки.

Плотность модифицированной прессованной древесины измерялась на комплексе для определения плотности GX-13. Метод заключается в фиксировании значения массы образца на воздухе и в воде. С учетом полученных данных плотность образца высчитывается по формуле

$$\rho = \frac{A}{A - B} \cdot \rho_0, \quad (1)$$

где A — масса образца в воздухе, г; B — масса образца в жидкости, г; ρ_0 — плотность жидкости, г/см³.

Микротвердость определялась на модернизированном приборе марки ПМТ-3М. Прибор подключен к персональному компьютеру, который оснащен специальным программным обеспечением Optimizer МП v.2k 10.6. Данный комплекс при помощи видеосистемы позволяет отображать на экране монитора фотографию исследуемой поверхности образца, измерять диагонали отпечатка и автоматически вычислять значение микротвердости в МПа.

Метод определения микротвердости основан на измерении линейной величины диагонали отпечатка, получаемого от вдавливания в исследуемый материал алмазной пирамиды при определенной нагрузке в течение заданного времени. Алмазная пирамида имеет квадратное основание и угол при вершине между противоположными гранями 136° [1].

Физико-механические свойства изучали методом динамического контактного индентирования с использованием прибора ИПМ-1К. Метод включает ударное деформирование образца; регистрацию аналогового сигнала, пропорционального текущей скорости движения индентора и автоматизированный расчет комплекса механических характеристик.

В результате проведенных испытаний оказалось, что масса испытуемого образца в воздухе составила $A=4,605$ г, масса образца в воде $B=0,454$ г и соответственно плотность вкладыша из древесины ТПД, модифицированного смазочным материалом с высокомолекулярной присадкой $\rho=1,1$ г/см³. Данный показатель свидетельствует о том, плотность вкладышей из древесины ТПД в 1,93 больше, чем плотность образцов из древесины в натуральном виде.

Установленное значение плотности древесины свидетельствует о том, что степень ее уплотнения $\varepsilon=50\%$ [2, 3]. При такой величине степени прессования повышаются такие физико-механические характеристики, как плотность, пределы прочности (при сжатии и скалывании вдоль волокон), модуль упругости при сжатии вдоль волокон, твердость (торцовая и боковая).

Использование прибора ПМТ-3М позволило определить статическую микротвердость модифицированной прессованной древесины на различных поверхностях. Торцовая (нерабочая) твердость составила 16,5 МПа, торцовая рабочая – 17,2 МПа, радиальная – 13,4 МПа, тангенциальная – 14,65 МПа.

**Таблица 1. Механические характеристики древесины
в натуральном виде и после прессования и модифицирования**

№	Параметр	Натуральная древесина (торцовая поверхность)	Модифицированная прессованная древесина $\varepsilon=20\%$ (торцовая поверхность)
1	Твердость по Шору А, ед	85,0	93,3
2	Твердость IRHD, ед	84,0	90,0
3	Эластичность по отскоку, %	6,1	8,9
4	Статический модуль упругости, Па	$1,14 \cdot 10^7$	$1,87 \cdot 10^7$
5	Динамический модуль упругости, Па	$1,54 \cdot 10^8$	$1,58 \cdot 10^9$
6	Мгновенный модуль упругости, Па	$1,09 \cdot 10^{10}$	$1,26 \cdot 10^{11}$
7	Длительный модуль упругости, Па	$2,94 \cdot 10^8$	$4,14 \cdot 10^{11}$
8	Тангенс угла механических потерь, ед	0,417	0,407
9	Время релаксации, мс	$1,25 \cdot 10^{-5}$	$3,23 \cdot 10^{-6}$
10	Эффективный коэффициент вязкости, Па·с	$1,87 \cdot 10^5$	$1,04 \cdot 10^6$
11	Полная энергия деформирования, Дж	$1,260 \cdot 10^{-3}$	$1,379 \cdot 10^{-3}$
12	Энергия упругого деформирования, Дж	$1,217 \cdot 10^{-4}$	$2,377 \cdot 10^{-4}$
13	Энергия вязкого деформирования, Дж	$1,139 \cdot 10^{-3}$	$1,141 \cdot 10^{-3}$
14	Максимальное внедрение, мкм	112,07	44,99

Из списка параметров, определяемых прибором ИПМ-1К, наиболее информативными показателями, позволяющими быстро оценить физико-механические свойства древесины, являются твердость, модуль упругости и максимальное внедрение.

Оказалось, что после прессования и модифицирования вкладышей из древесины ТПД твердость по Шору возросла на 8,3 единицы, статический модуль упругости повысился на 7,3 МПа, а величина максимального внедрения уменьшилась в 2,5 раза.

Таким образом, вкладыши из уплотненной древесины ТПД являются прочным природным композитом, которые обладают высокими физико-механическими свойствами. При пропитке смазочным материалом обеспечивают работу узла трения на самосмазке в абразивно-агрессивных средах.

Литература:

1. Апасов, А.М. Материаловедение / А.М. Апасов, Г.В. Галевский, В.И. Данилов; под общ. ред. А.М. Апасова. – Т. : ТПУ, 2005. – 622 с.
2. Подшипники скольжения самосмазывающиеся на основе модифицированной древесины: теория, технология и практика / А.Б. Невзорова [и др.]; под общ. ред. А.Б. Невзоровой. – Гомель: БелГУТ, 2011. – 254 с.
3. Врублевская, В.И. Износостойкие самосмазывающиеся антифрикционные материалы и узлы трения из них / В.И. Врублевская, А.Б. Невзорова, В.Б. Врублевский; под общ. ред. В.И. Врублевской. – Гомель : БелГУТ, 2000. – 324 с.

ГЕЛЕОБРАЗУЮЩИЕ СИЛИКАТ-ПОЛИМЕРНЫЕ СОСТАВЫ

А.В. Антусёва, Ю.Р.Кускильдина, Г.Г. Печерский

*РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» БелНИПИнефть,
Гомель, Беларусь; a.antuseva@beloil.by*

Ремонтно-изоляционные работы (РИР) являются неотъемлемой частью мероприятий, проводимых нефтедобывающими предприятиями на поздней стадии разработки месторождений. Составы на основе гидросиликата натрия можно применять в коллекторах любой, в том числе и средней проницаемости, поскольку последние закачиваются в пласт в виде маловязких растворов, а образование водоизоляционного материала происходит непосредственно в пласте [1]. На месторождениях РБ в последние годы наибольшее распространение для формирования гидроэкранов при проведении РИР получили водоизолирующие композиции, формируемые на основе отечественного реагента ОВП-2 и коагулянта – минерализованной пластовой воды, глинистые суспензии, модифицированные полимером ВПРГ, а также кремнийорганические реагенты группы АКОР-БН [2, 3].

Однако указанные композиции не всегда способны обеспечивать прочные долговечные водо-непроницаемые гидроэкраны в высокопроницаемых трещинных коллекторах, особенно в условиях высоких пластовых температур, что приводит к снижению эффективности РИР.

С учетом вышеизложенного в БелНИПИнефть проводятся исследования по разработке и адаптации к геологическим условиям белорусских месторождений силикатной композиции для РИР.

Целью данной работы являлась разработка гелеобразующей композиции на основе водного раствора силиката натрия, модифицированного полимерной добавкой для применения в качестве высокоэффективного водоизоляционного материала при проведении ремонтно-изоляционных работ в поглощающих скважинах, а также оценка эффективности разработанной композиции посредством проведения фильтрационных испытаний.

Композиции готовились с использованием следующих реагентов:

– ГСН (гидросиликат натрия порошкообразный), ТУ ВУ 200101299.003-2009, производитель – ОАО «Домановский производство-торговый комбинат» (Брестская обл., Ивацевичский район, д. Доманово – гелеобразующая основа;

– САК (сульфаминовая кислота), ТУ 2121-083-05800142-2011, поставщик – ОАО «Пигмент» – инициатор гелеобразования (ИГ).

В качестве модификатора композиций, получаемых на основе водного раствора гидросиликата натрия, изучали термостойкий сульфонированный полиакриламид (ПАА), марка AN-125, производитель – SNFFloerger. Реагент характеризуется хорошей стабильностью в условиях повышенных температурах и показал эффективность при применении на объектах РУП «Производственное объединение «Белоруснефть».

Изучение процесса гелеобразования растворов ГСН с добавками ИГ проводили в температурном диапазоне 50...90 °С. Проведен анализ влияния условий формирования гелей на значения их термостойкости. На основе полученных зависимостей времени гелеобразования композиций от концентрации ИГ и температуры, а также, учитывая, что для закачки всего объема композиции с устья скважины в зону изоляции необходимо не менее 3...4 ч, проведена оптимизация концентрационных соотношений компонентов смеси.

Пробы композиций для получения гелей термостатировали в течение 24 ч при 90 °С.

Прочность полученных гелей оценивали с помощью текстурометра методом пенетрации (ТА), ХТ plus (StableMicroSystems, Англия) и характеризовали величиной напряжения вдавливания индентора на определенную глубину образца. Испытания образцов гелей на прочность проводили при температуре 70 °С.

Для определения эффективности водоизолирующего действия силикат-полимерной композиции оптимизированной рецептуры и оценки способности создавать в поровом пространстве пласта гидроэкранирующий материал, препятствующий фильтрации воды, выполнена серия экспериментов по исследованию фильтрационной способности материала на четырех насыпных моделях карбонатного пласта.

Оценка гидроизолирующих свойств материала заключалась в следующем: через модель пласта обратной закачкой прокачивали оторочку силикат-полимерной композиции в количестве трех поровых объемов модели. Далее модель выдерживали при температуре 80 °С в течение 24 часов для завершения процесса гелеобразования и осуществляли прямую прокачку пластовой воды для определения степени снижения проницаемости.

В результате проведенного комплекса экспериментальных исследований по разработке композиций на основе водного раствора силиката натрия, модифицированного полимерной добавкой, получены гелеобразующие композиции для проведения ремонтно-изоляционных работ. Установлено, что оптимальная концентрация ГСН, обеспечивающая получение стабильных растворов и формирования на их основе гелей с повышенной прочностью составляет 6 %. Оптимизация концентрационного состава компонентов композиции показала, что наиболее полное протекание процессов полимеризации смеси достигается при введении инициатора гелеобразования САК в количестве 1,5 %.

На основе анализа полученных экспериментальных данных показано, что введение в состав композиции полимерного модификатора приводит к снижению хрупкости полученных кремнегелей и придает им некоторую пластичность. Показано, что введение в композицию ПАА в количестве 0,1...0,2 % приводит к упрочнению сформированного геля, однако увеличение концентрации ПАА в композиции более 0,3 % снижает прочность силикагеля.

Результаты испытаний полученного материала в динамических условиях показали, что гидроэкранный, сформированный при прокачке композиций через модель пласта, оказывает высокое остаточное сопротивление фильтрации воды (значение ОФС 73-157) и выдерживает значительный градиент давления (до 114,88 МПа/м) при обеспечении высокого гидроизолирующего эффекта 98,6...99,4 %.

Выводы. Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что разработанная силикат-полимерная композиция с учетом положительных результатов статических и фильтрационных экспериментов, может быть рекомендована к опытно-промышленным испытаниям при проведении РИР на участках, отличающихся средними фильтрационно-емкостными свойствами высокотемпературного пласта.

Литература:

1. Клещенко И.И. и др. Изоляционные работы при закачивании и эксплуатации нефтяных скважин. / И.И. Клещенко, А.В. Григорьев, А.П. Телков // М.: ОАО «Издательство «Недра», 1998. — 267 с: ил.
2. Макаревич А., Господарев Д., Гилязитдинов Т. Композиции для увеличения добычи нефти в условиях Припятского прогиба // Нефтяник Полесья. — 2013. — № 1 (23). — С. 88–94.
3. Белорусские реагенты ОВП-1, ОВП-2 для ремонтно-изоляционных работ в нефтяных скважинах / А. В. Макаревич, Г. М. Пушнова, Н. В. Сенчук, Е. И. Паркалова, А. В. Мельгуй, А. М. Атвиновский // Материалы. Технологии. Инструменты. — 2012. — Т. 17, № 3. — С. 32–37.

ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМИНИЕВОЙ ФОЛЬГИ ХИМИЧЕСКИМ ТРАВЛЕНИЕМ

А.В. Баглов, Л.С. Хорошко

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Минск, Беларусь; baglov@bsuir.by*

Функциональные свойства формируемых наноструктурированных покрытий зависят как от способов и режимов формирования, так и от типа подложки. Фотокаталитическая активность пористых золь-гель сформированных покрытий из наноструктурированного диоксида титана на алюминиевой подложке закономерно зависит от эффективной площади поверхности согласно теории Brunauer–Emmett–Teller [1, 2]. Алюминий в качестве материала подложки для фотокаталитических покрытий представляет особый практический интерес благодаря его высокой электро- и теплопроводности, пластичности, коррозионной стойкости. При формировании фотокаталитически активных покрытий, содержащих микрочастицы, наночастицы диоксида титана и их комбинацию мы сталкивались с недостаточной адгезией покрытия [3]. Формирование микрорельефа на подложке позволит дополнительно улучшить адгезию формируемых покрытий и увеличить их эффективную площадь поверхности.

Целью нашего исследования является формирование микрорельефа на поверхности алюминиевой фольги путем ее химического травления.

Эксперименты проводили на подложках размером 10×10 мм, вырезанных из фольги толщиной 1 мм из первичного алюминия технической чистоты марки А0 (ГОСТ 11069-2001). Предварительная подготовка поверхности алюминиевой подложки включала стандартные операции химической очистки от органических и неорганических загрязнений. Травитель состоял из 31,8 % водного раствора соляной кислоты (HCl) с добавлением 0,05 % двухводного хлорида меди ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Травление образцов осуществляли при комнатной температуре в течение 0,5 – 5 мин с шагом 0,5 мин. После травления образцы промывали проточной дистиллированной водой в течение 30 с последующей сушкой в потоке горячего (60°C) воздуха. До и после травления проводили измерение толщины каждого образца в 5 точках цифровым микрометром iGaging 0-1. Структуру поверхности экспериментальных образцов исследовали с помощью растровой электронной микроскопии (РЭМ).

Рельеф поверхности образцов после травления представлен на рис. 1.

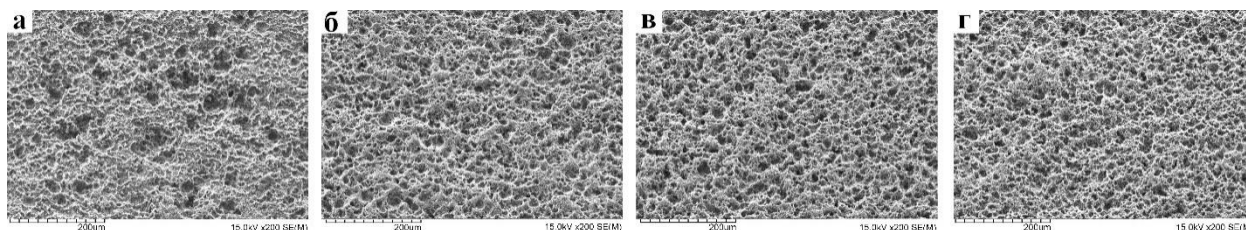


Рис. 1. Рельеф поверхности образцов алюминиевой фольги, подвергавшихся травлению в течение:
а – 0,5 мин; б – 1,5 мин; в – 2,5 мин; г – 3,5 мин

На поверхности образца, подвергавшегося обработке в течение 30 с наблюдаются участки с вытравленными впадинами различной глубины. Более глубокие впадины расположены как группами на участках размером порядка $0,2 \times 0,2$ мм, так и в виде точечных элементов рельефа. С увеличением времени травления в виду анизотропии процесса происходит продвижение фронта травления в глубину без значительного бокового подтравливания. Поверхностный слой толщиной 15–20 мкм представляет собой губчатую структуру с углублениями древовидного характера со средним диаметром 12–15 мкм. С увеличением времени травления происходит формирование мелких впадин на поверхности глубоких впадин. Увеличение их размеров и дает окончательную губчатую структуру поверхностного слоя. По результатам статистического анализа измерений толщины установлено, что скорость травления алюминия составляла примерно

25 мкм/с, незначительно варьируясь между образцами. Небольшие изменения связаны с технической чистотой алюминия и неравномерным расположением примесей в объеме подложки.

Таким образом установлено, что возможно формирование развитого микрорельефа поверхности алюминия без использования дорогостоящего оборудования и сложных технологических операций. Полученная поверхность отвечает требованиям для синтеза на ней фотокаталитически активных покрытий из широкозонных оксидных полупроводников (TiO_2 , ZnO) золь-гель методом.

Литература:

1. Баглов А.В. Фотокаталитическая активность наноструктурированного диоксида титана на алюминиевой подложке / XXIV международная научно-практическая конференция аспирантов, магистрантов и студентов «Физика конденсированного состояния»: сборник трудов, Гродно, 21 апреля 2016 г. — Гродно, изд-во ГрГУ, 2016. — С. 12–13.
2. Brunauer S. Adsorption of Gases in Multimolecular Layers / S. Brunauer, P.H. Emmett, E. Teller / J. Am. Chem. Soc. — 1938. — 60 (2) — P. 309–319.
3. Баглов А.В. Фотокаталитическая активность покрытий из наноструктурированного диоксида титана на алюминиевой подложке / А.В. Баглов, Н.М. Денисов, В.Е. Борисенко, В.В. Углов, А.А. Малашев / Неорганические материалы. — 2016 (в печати)

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНОГО ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ПОСЛОЙНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГРАДИЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.А. Бакиновский

Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск, Беларусь; backinoffskin@mail.ru

Цель работы: экспериментально проверить возможность получения заготовок с градиентом твердости методом электронно-лучевого послойного выращивания.

Материалы и методы.

В качестве материала для послойной наплавки использовалась сварочная проволока СВ-08Г2С диаметром 1,2 мм. Подложка изготовлена из стали 45. Химический состав материалов представлен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав сталей СВ-08Г2С и 45 (мас. %)

Элемент	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	S	P	Cu
СВ-08Г2С (проволока)	0,05–0,11	0,7–0,95	1,8–2,1	<0,2	<0,25	<0,15	0,025	0,03	—
45 (подложка)	0,45–0,5	0,17–0,37	0,5–0,8	<0,25	<0,25	—	0,04	0,035	<0,25

В качестве модели 3D-принтера использовалась модернизированная электронно-лучевая установка с энергоблоком ЭЛА-15 с мощностью луча 15 кВт. Это оборудование предназначено для сварки и термической обработки электронным лучом в вакууме. Дополнительно в вакуумной камере были установлены механизмы вращения и опускания подложки, подачи проволоки. Микродюрометрические свойства образцов оценивались на цифровом микротвердомере AFFRI–MVDM8 по методу Виккерса (нагрузка 100 г, выдержка 12 с).

Результаты и их обсуждение.

Процесс электронно-лучевого выращивания изделия происходит путем ввода «строительного» материала (металлической проволоки) в сварочную ванну, образованную электронным лучом в подложке. При этом при образовании первого слоя происходит физическое перемешивание металла подложки и ме-

талла проволоки. Во время выращивания следующего слоя металл проволоки смешивался с металлом первого слоя и так далее. В результате можно ожидать градиент химического состава по сечению выращенного образца — в основном уменьшение содержания углерода по мере удаления от подложки.

Для подтверждения результата был проведен анализ распределения микротвердости в поперечном сечении образца. Результаты в виде графика представлены на рисунке 1. Под графиком изображен макрошлиф с обозначением слоев, где 1 — металл подложки, а 8 — последний выращенный слой.

На графике видно плавное понижение твердости по мере уменьшения содержания углерода в металле вследствие описанного выше механизма. Этот эффект может быть использован для изготовления заготовок с градиентом химического состава, структуры и свойств (в т.ч. твердости) материала.

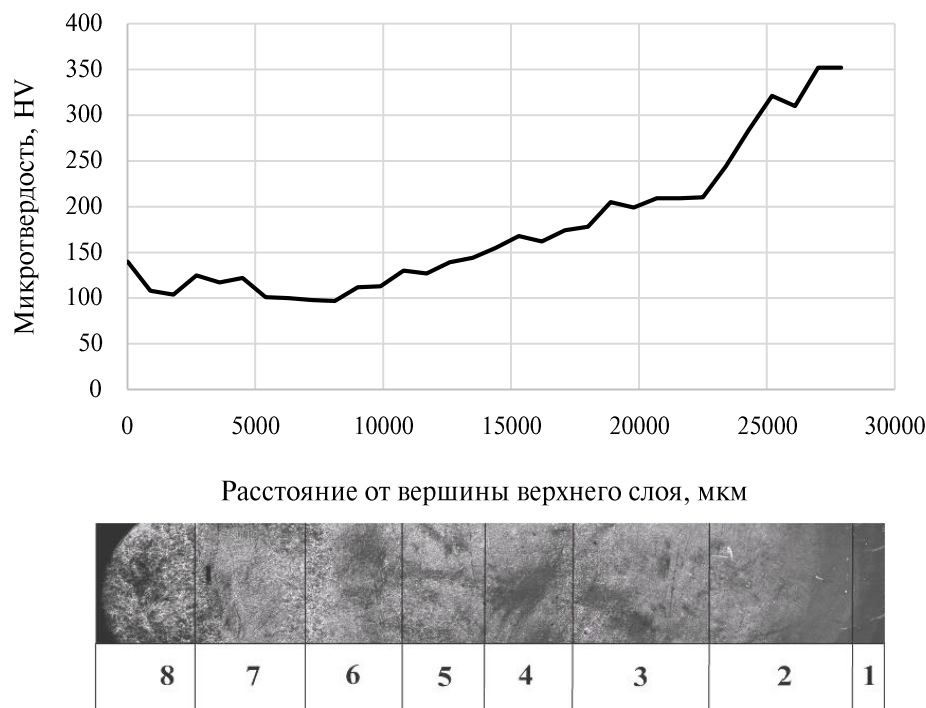


Рис. 1. Распределение микротвердости по сечению выращенного образца [1]

Литература:

1. Бакиновский А.А. Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки. Кн. 2. — Минск, 2016 — С. 15–20.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ БИОПОЛИМЕРНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ И ВТОРИЧНЫХ ПОЛИОЛЕФИНОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОДНООСНЫХ ГЕОСЕТОК

А.М. Валенков, В.В. Тимошенко, А.В. Шаповалов

*Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси,
Гомель, Беларусь; valenkov_and@mail.ru*

С развитием химической промышленности всевозрастающий интерес проявляется к вопросам использования в производственном обороте побочных продуктов переработки древесины, а также возобновляемых источников органического сырья [1].

Одним из направлений рационального использования таких отходов биополимеров и синтетических полимеров, является создание на их основе композиционных материалов и изделий из них для раз-

личных отраслей народного хозяйства и в частности противозерозионной защиты грунтов. Однако учитывая термодинамическую несовместимость биополимерных частиц и синтетических полимеров, материалы, как правило, обладают низкими физико-механическими характеристиками, что в свою очередь сужает область их эксплуатационного применения.

Одним из направлений в решении данной проблемы является модифицирование исходных компонентов композиционного материала. При этом появляется возможность селективного повышения определенных характеристик получаемого композита, а также осуществления прогноза эксплуатационного назначения данного материала [2–3].

Целью работы является разработка физико-химических способов модифицирования частиц биополимерного наполнителя для улучшения механических характеристик композитов на их основе.

В качестве полимерной матрицы использовали отходы полипропилена в виде порошка с температурой переработки не выше температуры термоокислительной деструкции лигноцеллюлозного наполнителя. В качестве наполнителя использовали отходы деревообрабатывающей промышленности, в частности щепу древесины осины со средним размером частиц $25 \times 5 \times 5$ мм, содержащую 47 % целлюлозы, 28 % лигнина, 24 % легкогидролизуемых полисахаридов. Модифицирование частиц наполнителя осуществляли взрывным каталитическим гидролизом в автоклаве емкостью 2 л при температуре 190...200 °С и давлении и насыщенного водяного пара 11...12 атм. Катализатором гидролиза служила азотная кислота. Содержание частиц наполнителя варьировали в пределах 35...50 мас. %. Смесевую композицию готовили путем сухого смешения навесок исходных компонентов в шаровой мельнице, после чего получали гранулят при помощи экструзиографа «НААКЕ» при температуре 170...180 °С и скорости вращения шнека 50 об/мин. Образцами для исследования механических характеристик на растяжение служили лопатки (тип 2), которые получали из гранулята методом литья под давлением.

Таким образом, в работе предложен способ физико-химического модифицирования лигноцеллюлозных частиц, показано, что при наполнении вторичного полипропилена модифицированными частицами в количестве 45 мас. % значения модуля упругости и разрушающего напряжения при растяжении возрастают на 25...40 % соответственно, что создает предпосылки использовать разработанный материал для производства одноосных геосеток.

Литература:

1. Шаповалов А.В. Физико-химические принципы регулирования структурно-механических свойств композиционных систем на основе природных полимеров (обзор) / А.В. Шаповалов, С.В. Авдашкевич, А.М. Валенков // Известия Санкт-Петербургской Лесотехнической Академии. — 2008. — №184. — С. 185–195.
2. Валенков А.М. Сущность процессов синергизма физико-химического воздействия при модификации композиционных систем на основе биополимерных материалов // Тезисы докладов 4 Гомельской региональной конференции молодых ученых «Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования». — Гомель: ИММС НАНБ, 2008. — С. 25–26.
3. Валенков А.М. Получение органоминерального комплекса для универсальной модификации высоконаполненных композиционных систем на основе биополимерных материалов / А.М. Валенков, А.А. Тимофеев, З.Л. Тартаковский // Тезисы докладов Республиканской научно-технической конференции молодых ученых «Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования». — Гомель: ИММС НАНБ, 2010 — С.17–18.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СЕЛЕНИДА-КАДМИЯ

А.С. Демьянов, В.А. Петрович

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь;
aleksandr_demyan@mail.ru*

В данной статье будут рассмотрены индивидуальные вольт-амперные и частотные характеристики поликристалла селенида-кадмия. А также сделаны выводы по несоответствию данных в учебной литературе полученным экспериментальным данным по механизму токопереноса и накопления заряда в изучаемом поликристалле.

Перед тем как приступить к экспериментам с образцами, был проведен анализ структуры кристаллов и лишь после получения подтверждения, что данные образцы являются поликристаллом селенида-кадмия, перешли к изучению их ВАХ и частотных характеристик.

Образцы тестировались при комнатной температуре и были закрыты непрозрачной пленкой, что бы исключить влияние светового потока на полученные результаты. Были построены петли гистерезиса. При регистрации в первый раз на некоторых образцах был ярко выраженный скачок тока (рис. 1), который обуславливается необратимым пробоем.

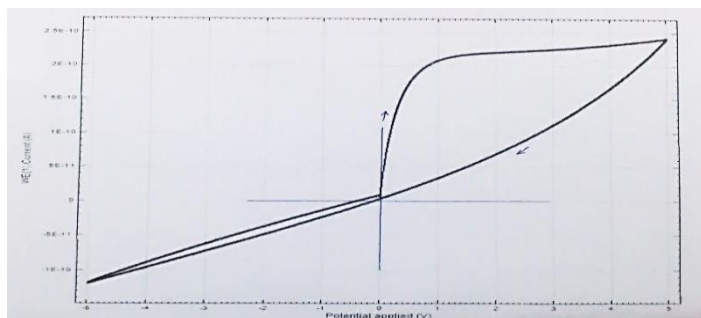


Рис. 1. Петля гистерезиса с ярко выраженным необратимым пробоем

При повторных опытах такого не наблюдалось. Физико-математическое обоснование данного процесса в настоящее время еще ведется.

Также при анализе было обнаружена асимметрия петли, что объясняется свойствами фоторезистора накапливать заряд по принципу конденсатора. Причины возникновения гистерезисных явлений на ВАХ нами продолжают изучаться, создается математическая модель описывающая явления гистерезиса.

При исследовании образцов, в одинаковых внешних условиях были изучены характеристики сопротивления. Сопоставили результаты с энциклопедическими значениями данного материала, темновое сопротивление которого находится в пределах $3,3 \text{ МОм} \pm 5 \%$. Анализируя данные, полученные в лабораторных условиях, обнаружили, что показатель темнового сопротивления изучаемых образцов колеблется от 120 кОм до 9 МОм .

В книге «Фоторезисторы» автора Олеск А.О. имеется следующая информация о частотных характеристиках изготовленных на основе селенида кадмия: «Частотная характеристика показывает характер изменения фототока при освещенности 200 лк от частоты модуляции светового потока. С увеличением частоты фототок очень быстро падает, особенно при низких частотах. При более высоких частотах темп снижения фототока замедляется. При частоте модуляции порядка 3000 гц фототок составляет примерно 5% от тока при постоянном световом потоке. При более высоких частотах модуляции фототок практически трудно обнаружить». Был проведен эксперимент по изучению изменений сопротивления при определенной интенсивности светового потока.

В момент времени « $t=0$ » на образец подавался световой поток, при этом на наше удивление величина сопротивления уменьшалась от «темнового» к «световому» (рис. 2) в течение значительного времени ($5\text{--}10 \text{ сек.}$). Время релаксации измерялось в секундах.

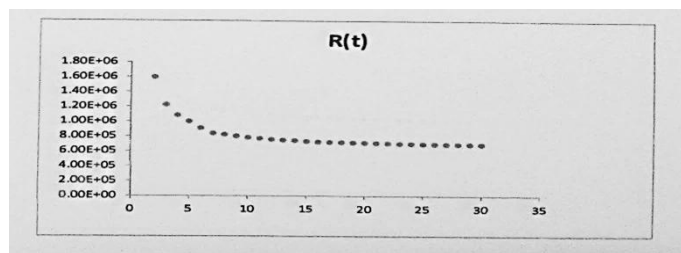


Рис. 2. Переход от «темнового» к «световому» сопротивлению

Этот результат противоречит известным данным, представленным в книге автора Олеск О.А.

Полученные нами результаты по вольтамперным и световым характеристикам образцов мы связываем с наличием большой плотности поверхностных состояний на границе зерен. Количественная модель, описывающая эту модель, в настоящее время разрабатывается.

Литература:

1. Олеск А.О. Фоторезисторы, М.—Л.: Издательство Энергия, 1966. — 128 с., илл.
2. Пасынков В.В. Материалы электронной техники. — М.: Высшая школа, 1980.
3. Справочник по электротехническим материалам. / под ред. Ю.В. Корицкого, В.В. Пасынкова, Б.М. Тареева. — М.: Энергия, 1974.

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ ОТ КОРРОЗИИ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ

С.А. Исаков, А.Г. Лежава

Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь

В данной работе представлены результаты получения защитных антикоррозионных металлических покрытий, которые могут быть использованы преимущественно при ремонте кузовов автомобилей для увеличения их коррозионной стойкости и срока эксплуатации.

В качестве материала образца, на который наносились защитные металлические покрытия, выбрана сталь марки ВСтЗсп, которая широко используется на авторемонтных предприятиях для ремонта кузовов автомобилей.

В качестве материала для нанесения защитных металлических покрытий на сталь использовалась проволока диаметром 2 мм из сплава алюминия и магния АМГ5 (где массовая доля магния составляет 5 %).

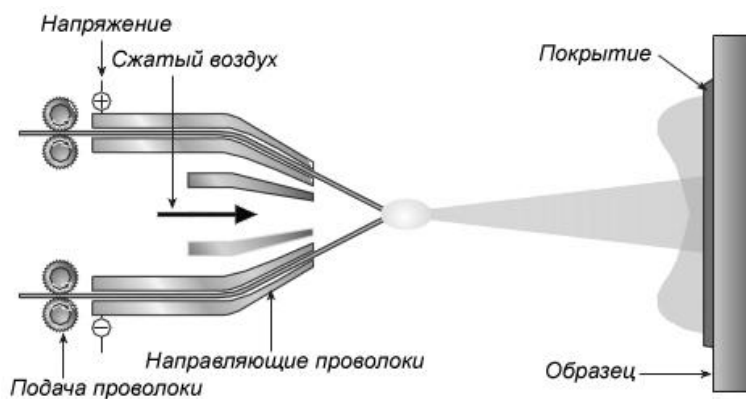


Рис.1. Схема работы электродугового металлизатора

Антикоррозионные покрытия на плоских стальных образцах были получены методом электродуговой металлизации. Электродуговая металлизация производится аппаратами, в которых расплавление металла

осуществляется электрической дугой, горящей между двумя проволоками, а распыление — струей сжатого воздуха [1]. Принципиальная схема работы электродугового металлизатора изображена на рисунке 1.

Получены поверхностные металлические покрытия из сплава АМГ5 на образцах из стали ВСт3сп при различных режимах работы электродугового металлизатора ЭМ-14М.

Для определения коррозионной стойкости образцов был выбран метод воздействия нейтрального соляного тумана согласно ГОСТ 9.308-85.

По окончании проведения испытаний на коррозионную стойкость производится оценка степени коррозионного поражения покрытий. Метод оценки степени коррозионного поражения покрытий заключается в определении показателя коррозии, выражающегося в баллах в соответствии с ГОСТ 9.908-85.

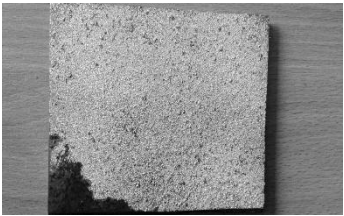
Результаты:

1. Плоский стальной образец с нанесенным на его поверхность сплава АМГ5 методом электродуговой металлизации с параметрами: сила тока — 200 А; давление воздуха — 0,7 МПа; скорость подачи проволоки — 0,4 см/с. После погружения в нейтральный соляной туман на 240 часов при температуре 40 градусов по шкале Цельсия [2]. Образец остался без поражения коррозией, согласно ГОСТ 9.908-85 с результатом 10 баллов [3].

2. Плоский стальной образец с нанесенным на его поверхность сплава АМГ5 методом электродуговой металлизации с параметрами: сила тока — 200 А; давление воздуха — 0,7 МПа; скорость подачи проволоки — 0,25 см/с. После погружения в нейтральный соляной туман на 240 часов при температуре 40 градусов по шкале Цельсия [2] появилась местная поверхностная коррозия, степень поражения которой составила около 7 %, согласно ГОСТ 9.908-85 6 баллов [3].

Результаты для сравнения представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты получения покрытий и проведения испытаний

Образец	До проведения испытаний на коррозионную стойкость	После проведения испытаний на коррозионную стойкость
1		
2		

Литература:

1. Ремонт автомобилей: учебник для автотранспортных техникумов / Румянцев С.И., Боднев А.Г., Бойко Н.Г. и др.; под ред. С.И. Румянцева. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1988. — 327 с.
2. ГОСТ 9.308-85. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические. Методы ускоренных коррозионных испытаний. — Введ. 28.11.1985. — М.: Комитет СССР по стандартам, 1985. — 21 с.
3. ГОСТ 9.908-85. Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости. — Введ. 01.01.1987. — М.: Комитет СССР по стандартам, 1987. — 17 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСТОЧНИКА ТОКА С ПАДАЮЩЕЙ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ

С.А. Исаков, А.Г. Лежава

Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь

В данной работе представлены результаты получения металлических покрытий на плоских стальных образцах методом электродуговой металлизации. Особенностью данного метода является возможность получения металлических покрытий с использованием в качестве источника тока сварочного выпрямителя с падающей вольт-амперной характеристикой.

Электродуговая металлизация — процесс нанесения металлического покрытия путем расплавления исходного материала (проволоки) электрической дугой и напылением его сжатым воздухом на поверхность детали [1].

В качестве материала образца, на который наносились защитные металлические покрытия, выбрана сталь марки ВСт3сп, которая широко используется на авторемонтных предприятиях для ремонта кузовов автомобилей [2].

В качестве материала для нанесения защитных металлических покрытий на сталь использовалась проволока диаметром 2 мм из сплава алюминия и магния АМГ5 (где массовая доля магния составляет 5 %). Использование этой проволоки позволяет получать антикоррозийные металлические покрытия.

Также использовалась проволока сварочная омедненная марки СВ08Г2С. Использование этой проволоки позволяет восстановить поверхность изношенной стальной детали для последующей механической обработки [3].

Схема установки, которая была собрана для получения металлических покрытий, отображена на рисунке 1.

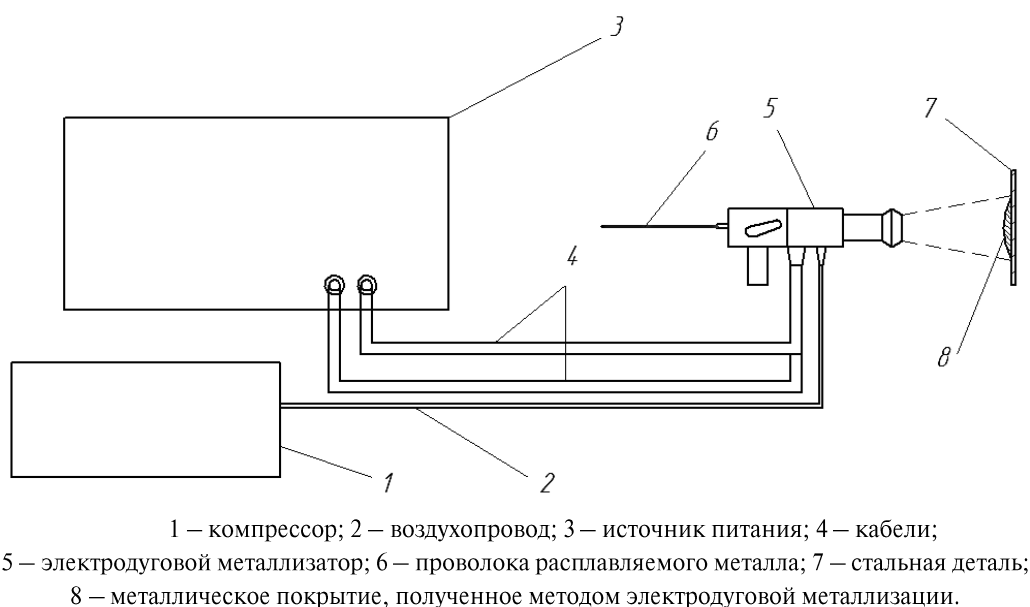
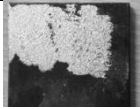
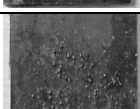


Рис. 1. Схема установки для получения металлических покрытий

Получены поверхностные металлические покрытия из сплава АМГ5 и сварочной проволоки СВ08Г2С на образцах из стали ВСт3сп при различных режимах работы электродугового металлизатора ЭМ-14М и различной механической обработке поверхности. Режимы получения и результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры нанесения металлических покрытий

№	Тип механической обработки поверхности	Наносимый металл	Сила тока источника питания, А	Давление подаваемого воздуха, МПа	Скорость подачи проволоки, см/с	Результат
1	Обдирка	АМГ5	180	0,7	0,4	
2	—	АМГ5	180	0,7	0,4	
3	Обдирка	АМГ5	200	0,7	0,25	
4	Обдирка	АМГ5	200	0,7	0,4	
5	—	СВ08Г2С	140	0,5	0,4	
6	—	СВ08Г2С	200	0,5	0,4	

Обработка результатов.

Из образцов 1 и 2 следует, что на поверхности, подвергнутой обдирке, образовалось видимое полноценное алюминиевое покрытие, а на необработанной поверхности видны лишь некоторые капли расплавленного алюминия, что говорит о том, что перед нанесением защитного покрытия методом электродуговой металлизации необходимо обработать механическим способом поверхность детали. Но при этом можно принять во внимание, что даже на необработанный участок стали присоединились некоторые расплавленные капли сплава АМГ5, что говорит о хорошей адгезии между сталью и сплавом.

Из образцов 3 и 4 следует, что при увеличении скорости подачи проволоки при одинаковой скорости перемещения электродугового металлизатора относительно листа стали увеличивается толщина защитного металлического покрытия. Соответственно, при уменьшении скорости подачи распыляемой проволоки можно получать гораздо более тонкие покрытия.

Из образцов 5 и 6 следует, что при увеличении силы тока увеличивается размер капель расплавляемой проволоки и увеличивается площадь распыления металла. При уменьшении силы тока наблюдается уменьшение размера распыляемых капель, а также уменьшение площади наносимого покрытия. Также видно, что нанесение данного покрытия даже на необработанный лист стали имеет неплохую адгезию с поверхностью.

Литература:

1. Справочник по восстановлению деталей. / Воловик Е.Л. — М.: Колос, 1981 — 351 с.
2. Сварка в машиностроении: справочник. В 4 томах. / Г.А. Николаев. — М: Машиностроение, 1978. — Том 2. / под ред. А.И. Акулова. — 462 с.
3. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин и др; под общ. ред. В. Г. Сорокина. — М.: Машиностроение, 1989. — 640 с.

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ПОЛИГЕКСАМЕТИЛЕНГУАНИДИНА

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

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

Важной задачей современного материаловедения является защита различных поверхностей от биообрастания [1]. С этой целью их модифицируют поликатионами (полиаллиламин гидрохлорид, поливиниламин, полидиаллилдиметиламмоний гидрохлорид, полиэтиленимин, хитозан), придавая им положительный заряд, так как при контакте с такой поверхностью бактерии погибают [2]. Аминсодержащие полимеры оказывают биоцидное действие за счет взаимодействия с клеточными мембранами, вызывая распад и агглютинацию клеток или стимулируя поглощение микроорганизмов макрофагами. Антибактериальный эффект таких покрытий намного более длителен по сравнению с пленками, из которых биоцид высвобождается в окружающую среду.

Цель данной работы — установление количественных закономерностей адсорбции гидрохлорида полигексаметиленгуанидина (ПГМГ) и формирование на его основе ультратонких мультислойных покрытий с заданными параметрами.

Гидрохлорид полигексаметиленгуанидина синтезировали по реакции поликонденсации из гидрохлорида гуанидина и гексаметилендиамина. Количественные закономерности адсорбции ПГМГ изучали методом кварцевого микровзвешивания с использованием жидкостной проточной ячейки из водных растворов с концентрацией от 0,5 до 15,0 мг/мл. Мультислойные пленки получали методом послойного осаждения полиэлектролитов путем чередующейся адсорбции ПГМГ и карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) из их водных растворов с концентрацией 3,0 и 1,0 мг/мл соответственно.

Средневязкостная молекулярная масса синтезированного ПГМГ составила 5500. Полигексаметиленгуанидин является положительно заряженным полиэлектролитом, поэтому для изучения количественных закономерностей его адсорбции кварцевый резонатор модифицировали отрицательно заряженным подслоем полиэтиленимин/полистиролсульфонат (ПЭИ/ПСС). Установлено, что адсорбция ПГМГ на отрицательно заряженной поверхности в изученном диапазоне концентраций является полимолекулярной (рис. 1). При адсорбции ПГМГ из водных растворов с концентрацией от 0,5 до 15,0 мг/мл можно получить его пленки с заданным содержанием вещества в диапазоне от 0,02 до 1,10 мкг/см², при этом их толщина не превышает 9 нм.

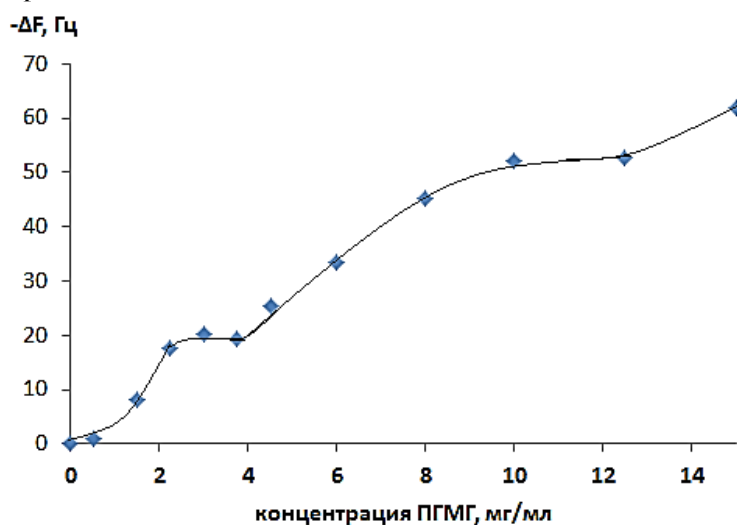


Рис. 1. Зависимость изменения частоты кварцевого резонатора от концентрации ПГМГ в водном растворе при его адсорбции

Методом кварцевого микровзвешивания также была изучена возможность получения мультислойных пленок, содержащих поликатион ПГМГ и полианион КМЦ. Показано, что путем чередующейся адсорбции ПГМГ и КМЦ можно сформировать ультратонкие мультислойные пленки. В процессе формирования пленки (ПГМГ/КМЦ)₁₀ при увеличении числа бислоев наблюдается линейное увеличение ее массы (рис. 2а), которая для 10-бислоевой системы достигает 2,6 мкг/см². Толщина бислоя ПГМГ/КМЦ составляет 2,2 нм, таким образом, варьируя число бислоев в пленке можно сформировать покрытия заданной наноразмерной толщины (до 22 нм).

Анализ зависимости $\Delta F = f(\Delta R)$ при чередующейся адсорбции полиэлектролитов позволяет охарактеризовать вязкоэластичные свойства слоев, адсорбированных на поверхности резонатора. Так, при вязкостной нагрузке на резонатор $\Delta F = 2,4 \cdot \Delta R$, такая зависимость наблюдается для ньютоновской жидкости; при эластичной нагрузке — $\Delta R = 0$ и $\Delta F \neq f(\Delta R)$. Угол наклона прямой $\Delta F = f(\Delta R)$ для мультислойной пленки (ПГМГ/КМЦ)_n ($n = 1 \div 10$) составляет 12 и свидетельствует о вязкоэластичных свойствах формируемого покрытия.

Согласно данным атомно-силовой микроскопии пленки (ПГМГ/КМЦ)_n ($n = 1 \div 10$) являются однородными и бездефектными, показатель шероховатости (Rms) составляет $(0,2-0,3) \pm 0,1$ нм.

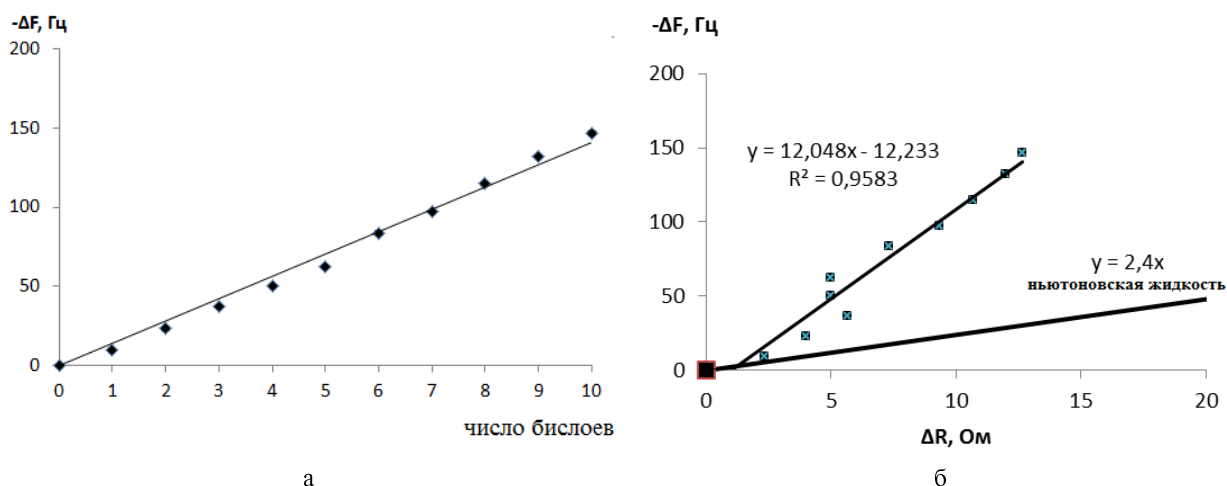


Рис. 2. Зависимость изменения частоты колебания кварцевого резонатора от (а) числа адсорбированных на его поверхности бислоев ПГМГ/КМЦ и (б) изменения резонансного сопротивления в процессе формирования 10-бислоевой системы (ПГМГ/КМЦ)₁₀

Таким образом, показано, что полимерный фунгицид ПГМГ может быть включен в состав ультратонких (толщиной до 22 нм) вязкоэластичных мультислойных пленок, которые являются однородными бездефектными ($R_{ms} < 0,5$ нм) и могут применяться для защиты различных поверхностей от биообрастания.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (договор № X15B-002 от 04.05.2015).

Литература:

1. Терентьев В.И., Караван С.В., Павловец Н.М. Борьба с коррозией в системах водоснабжения. — СПб.: Проспект Науки, 2007.
2. Zhu X., Loh X. Jun Layer-by-layer assemblies for antibacterial applications // Biomater. Sci. — 2015 (3), P. 1505–1518.

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ СЛОИСТОГО КОБАЛЬТИТА КАЛЬЦИЯ С ЧАСТИЧНЫМ ЗАМЕЩЕНИЕМ КОБАЛЬТА ВИСМУТОМ

Н.С. Красуцкая, И.Н. Кандидатова, Е.С. Пугачев

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь; kin1988@mail.ru

Порошки состава $\text{Ca}_{3-x}\text{Bi}_x\text{Co}_{3.85}\text{Bi}_{0.15}\text{O}_{9+\delta}$ ($x = 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$), $\text{Ca}_{2.7}\text{Bi}_{0.3}\text{Co}_{4-y}\text{Bi}_y\text{O}_{9+\delta}$ ($y = 0.2, 0.3$) и $\text{Ca}_{2.8}\text{Bi}_{0.2}\text{Co}_{3.7}\text{Bi}_{0.3}\text{O}_{9+\delta}$ получали двустадийным керамическим методом из CaCO_3 (ч.д.а.), Bi_2O_3 (х.ч.) и Co_3O_4 (ч.). Продолжительность и температура первичного и вторичного отжига составляли 12 ч при 1133 К и 12 ч при 1173 К соответственно. Рентгенофазовый анализ (РФА) порошков проводили на дифрактометре Bruker D8 XRD Advance ($\text{CuK}\alpha$ —излучение). Микроструктуру и элементный состав спеченной керамики изучали при помощи сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и энергодисперсионного микро-рентгеноспектрального анализа (МРСА) на сканирующем электронном микроскопе Quanta 200, оснащенном микрозондовой приставкой EDAX. Теплопроводность (λ) керамики изучали в интервале температур 298...423 К при помощи измерителя теплопроводности ИТ— λ —400. Тепловое расширение, электропроводность (σ) и коэффициент термо-ЭДС (S) образцов исследовали на воздухе в интервале температур 300...1100 К по методикам описанным в [1]. Кажущуюся плотность образцов (ρ), величины энергии активации электропроводности (E_a) и коэффициента линейного теплового расширения (КЛТР, α) образцов, значения фактора мощности (P) и показателя термоэлектрической добротности (ZT) исследованных материалов, а также решеточный ($\lambda_{\text{реш}}$) и электронный ($\lambda_{\text{эл}}$) вклады в теплопроводность рассчитывали по методике, приведенной в [1].

На основании анализа данных МРСА можно заключить, что состав керамики после термообработки практически соответствовал заданному номинальному составу, а незначительные отклонения вызваны, очевидно, химической и фазовой неоднородностью материалов. Образец $\text{Ca}_{2.8}\text{Bi}_{0.2}\text{Co}_{3.85}\text{Bi}_{0.15}\text{O}_{9+\delta}$ был однофазным в пределах погрешности РФА, а его структура соответствовала структуре базового кобальтита $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$ [2]. На рентгенограммах остальных образцов, помимо рефлексов основной фазы $(\text{Ca,Bi})_3(\text{Co,Bi})_4\text{O}_{9+\delta}$ наблюдались рефлексы примесной фазы, идентифицированной как слоистый кобальтит $\text{Bi}_2\text{Ca}_2\text{Co}_{1.7}\text{O}_x$ [3], при этом интенсивность рефлексов примесной фазы возрастала при увеличении содержания Bi_2O_3 в образцах. Согласно результатам РФА, растворимость висмута в слоистом кобальтите кальция при введении его одновременно в подрешетки кальция и кобальта составляет около 5 мол. %, что находится в хорошем согласии с литературными данными, согласно которым растворимость висмута в подрешетке кальция фазы $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$ составляет около 10 мол. % [1, 4], а в подрешетке кобальта — около 3,75 мол. % [5]. Кажущаяся плотность керамики $\text{Ca}_{3-x}\text{Bi}_x\text{Co}_{3.85}\text{Bi}_{0.15}\text{O}_{9+\delta}$ изменялась в пределах 3,51—4,47 г/см³ (табл. 1), возрастая с ростом x , и была значительно выше, чем для базовой фазы $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$ ($\rho = 2,71$ г/см³, $\rho_{\text{рент}} = 4,94$ г/см³).

Таблица 1. Значения кажущейся плотности (ρ), кажущейся энергии активации электропроводности (E_a), а также электропроводности (σ_{1100}), коэффициента термо-ЭДС (S_{1100}) и фактора мощности (P_{1100}) керамики $\text{Ca}_{3-x}\text{Bi}_x\text{Co}_{3.85}\text{Bi}_{0.15}\text{O}_{9+\delta}$.

x	ρ , г/см ³	E_a , эВ	σ_{1100} , См/см	S_{1100} , мВ/К	P_{1100} , мВт/(м·К ²)
0,2	3,51	0,084	6,62	0,194	0,025
0,3	3,69	0,075	20,3	0,164	0,055
0,4	4,27	0,060	17,1	0,212	0,077
0,5	4,47	0,078	41,4	0,200	0,165

Следовательно, спекаемость материалов на основе $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$ улучшается при введении в шихту оксида Bi_2O_3 , причем в наибольшей степени для неоднородной керамики. Величина КЛТР керамики $\text{Ca}_{2.7}\text{Bi}_{0.3}\text{Co}_{3.85}\text{Bi}_{0.15}\text{O}_{9+\delta}$ в исследованном интервале температур составила $10,6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, что значительно ниже, чем для незамещенного $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$ ($12,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), и обусловлено уменьшением пористости керамики при легировании ее оксидом Bi_2O_3 .

Полученные материалы являлись полупроводниками p -типа ($\partial\sigma/\partial T > 0$, $S > 0$), при этом характер проводимости фазы $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$ вблизи 900 К изменялся от полупроводникового к металлическому ($\partial\sigma/\partial T < 0$), что обусловлено частичным восстановлением образцов с ростом температуры. Легирование $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$ оксидом Bi_2O_3 приводило к уменьшению удельной электропроводности образующейся при этом керамики вследствие уменьшения концентрации основных носителей заряда (“дырок”) (так, $\sigma(\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}) > \sigma(\text{Ca}_{2.8}\text{Bi}_{0.2}\text{Co}_{3.85}\text{Bi}_{0.15}\text{O}_{9+\delta})$). При увеличении содержания Bi_2O_3 удельная электропроводность керамики $\text{Ca}_{3-x}\text{Bi}_x\text{Co}_{3.85}\text{Bi}_{0.15}\text{O}_{9+\delta}$ нелинейно возрастала (табл. 1), что, в частности, может быть обусловлено уменьшением пористости образцов с ростом x . Значения кажущейся энергии активации электропроводности материалов $\text{Ca}_{3-x}\text{Bi}_x\text{Co}_{3.85}\text{Bi}_{0.15}\text{O}_{9+\delta}$ изменялись в пределах 0,060–0,084 эВ (табл. 1) и были близки к величине E_A фазы $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$ (0,069 эВ), из чего следует, что как частичное замещение кальция и кобальта висмутом, так и создание фазовой неоднородности в керамике на основе слоистого кобальтита кальция слабо влияет на энергетику переноса заряда в ее объеме. Величина коэффициента термо-ЭДС керамики $\text{Ca}_{3-x}\text{Bi}_x\text{Co}_{3.85}\text{Bi}_{0.15}\text{O}_{9+\delta}$ увеличивалась с ростом температуры и практически не изменялась при увеличении содержания в ней Bi_2O_3 (табл. 1). Значения фактора мощности образцов также возрастали при увеличении температуры и с ростом x (табл. 1), достигая наибольшего значения для неоднородной керамики состава $\text{Ca}_{2.5}\text{Bi}_{0.5}\text{Co}_{3.85}\text{Bi}_{0.15}\text{O}_{9+\delta} - P_{\max} = 0,165 \text{ мВт}/(\text{м} \cdot \text{K}^2)$ при $T = 1100 \text{ K}$, — что в 1,65 раза больше, чем для базового слоистого кобальтита кальция при этой же температуре. Теплопроводность образцов $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$ и $\text{Ca}_{2.8}\text{Bi}_{0.2}\text{Co}_{3.85}\text{Bi}_{0.15}\text{O}_{9+\delta}$ в исследованном интервале температур изменялась в пределах 0,81–0,84 и 0,71–0,74 Вт/(м·К) и слабо зависела от температуры. Электронная составляющая теплопроводности $\lambda_{\text{эл}}$ керамики была невелика (0,4–2% и 2–8% для $\text{Ca}_{2.8}\text{Bi}_{0.2}\text{Co}_{3.85}\text{Bi}_{0.15}\text{O}_{9+\delta}$ и $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$ соответственно) и возрастала при увеличении температуры, а решеточная составляющая $\lambda_{\text{реш}}$ являлась преобладающей (98–99,6% и 92–98% соответственно для $\text{Ca}_{2.8}\text{Bi}_{0.2}\text{Co}_{3.85}\text{Bi}_{0.15}\text{O}_{9+\delta}$ и $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$). Безразмерный показатель термоэлектрической добротности (ZT) исследованной керамики увеличивался с ростом температуры и для твердого раствора $\text{Ca}_{2.8}\text{Bi}_{0.2}\text{Co}_{3.85}\text{Bi}_{0.15}\text{O}_{9+\delta}$ был ниже, чем для незамещенной фазы, что обусловлено низкими значениями его удельной электропроводности.

Таким образом, в работе установлено, что совместное замещение кальция и кобальта висмутом в слоистом кобальтите $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$ улучшает спекаемость и уменьшает КЛТР образующихся при этом материалов, а также показано, что создание в керамике фазовой неоднородности приводит к улучшению ее термоэлектрических свойств.

Литература:

1. Термоэлектрические свойства керамики на основе слоистых кобальтитов натрия и кальция / А.И. Клындюк [и др.] // Термоэлектричество. — 2011, № 4. — С. 49—55.
2. Misfit-layered cobaltite with an anisotropic giant magnetoresistance: $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$ / A.C. Masset *et al.* // Phys. Rev. B. — 2000-I. (62), No. 1. — С. 166—175.
3. Solution-based synthesis routes to thermoelectric $\text{Bi}_2\text{Ca}_2\text{Co}_{1.7}\text{O}_x$ / A. Sotelo *et al.* // J. Eur. Ceram. Soc. — 2011 (31). — С. 1763—1769.
4. Клындюк А.И., Мацукевич И.В. Синтез, структура и свойства слоистых термоэлектриков $\text{Ca}_3\text{Co}_{3.85}\text{M}_{0.15}\text{O}_{9+\delta}$ ($M - \text{Ti-Zn, Mo, W, Pb, Bi}$) // Неорган. матер. — 2015 (51), № 9. — С. 1025—1031.
5. Synthesis and Thermoelectric Properties of the New Oxide Materials $\text{Ca}_{3-x}\text{Bi}_x\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$ ($0.0 < x < 0.75$) / S. Li *et al.* // Chem. Mater. — 2000 (12). — С. 2424—2427.

КОМПОЗИЦИОННЫЙ ОГНЕСТОЙКИЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДА-6 И НЕТОКСИЧНЫХ НЕОРГАНИЧЕСКИХ АНТИПИРЕНОВ

Д.В. Криваль, О.В. Рева

Университет гражданской защиты МЧС Беларуси, Минск, Беларусь; volha107@rambler.ru

Полиамид-6 обладает рядом высоких эксплуатационных свойств: высокой прочностью и упругостью, хорошими электроизоляционными свойствами и термостойкостью, химической стойкостью к действию щелочей, углеводов и минеральных масел. Одним из серьезных недостатков этих материалов является их высокая горючесть с образованием токсичных соединений и активным каплепадением. В качестве неорганических антипиренов для полиамидов предлагается использование красного фосфора и полифосфата аммония [1]. Часто для придания огнестойкости полиамам применяются синергические системы, содержащие оксид сурьмы и галогенсодержащие органические соединения [1, 2]. Использование таких замедлителей горения небезопасно, поскольку при нагревании выделяются высокотоксичные продукты разложения антипиренов. Помимо того, физико-механические свойства полиамидов весьма чувствительны к внесению посторонних примесей и отнюдь не всегда удастся создать прочный и пластичный микрокомпозиционный материал. Многие свойства систем, где в полимерную матрицу вносится неорганический модификатор, очень плохо прогнозируемы, несмотря на обилие накопленных экспериментальных данных и новейшие теории синтеза композиционных материалов с заданными свойствами [3]. В последнее время появились данные о достаточно успешном создании огнезащищенных композитов на основе полиамидов методом экструзионного компаундирования в расплаве, но необходимая категория стойкости огнезащищенного полиама к горению достигается только при достаточно высоком содержании (19–22 масс. %) синергической смеси в полученном композите [4].

В качестве замедлителей горения для полиама-6 нами были использованы неорганические синтетические аморфные аммонийные фосфаты двух- и трёхвалентных металлов с разными температурами плавления. 80 масс. % огнезащитной композиции составляли различные комбинации аммонийных металлофосфатов, а 20 % – меламина и пентаэритрита. Обнаружено, что синтезированные комплексные аммонийные металлофосфаты с температурами начала разложения ~250–280 °С (3), перспективные для введения в тугоплавкие полимеры, не показали положительных результатов по повышению огнестойкости полиамидной матрицы. Достаточно низкоплавкие огнезащитные композиции (1) и (2), с температурами плавления 110–200 °С, оказались значительно более эффективны, несмотря на трудности их диспергирования в расплаве.

В случае композиции (1) начало расплавления соответствует 110–120 °С, а начало активного выделения газов – 150 °С; композиция (2) начинает размягчаться при 200 °С, а выделять газовую фракцию – при 250 °С. Температура плавления полиама-6 находится в интервале 210–220 °С, поэтому предположительно лучшую совместимость и, соответственно, огнезащитную эффективность по отношению к полиамиду-6 должна проявлять композиция (2). Однако неожиданным и весьма интересным результатом является тот факт, что разложение и карбонизация на стадии внесения в расплав полиама-6 наиболее выражены для огнезащитной композиции (2) с более высокой температурой плавления и замедленным выделением в газовую фазу соединений фосфора и азота. Значительно эффективнее происходит механическое совмещение с полиамидом более легкоплавкой огнезащитной композиции (1), которая при 200 °С теряет уже до 10 масс. % азота и до 12,5 – фосфора в результате выделения их соединений в газовую фазу, Рис. 1.

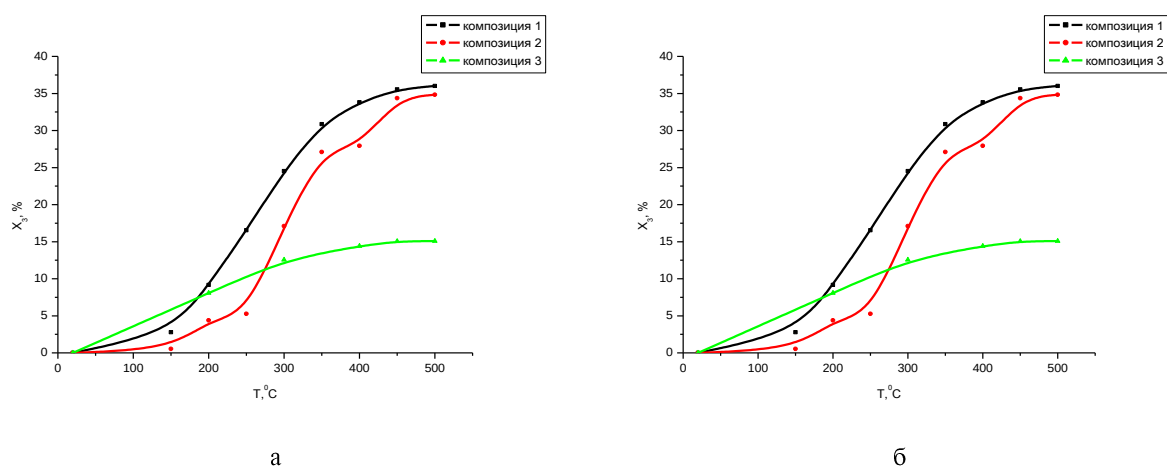


Рис. 1. Зависимость количества выделившегося:
а – азота, б – фосфора от температуры нагрева огнезащитных композиций

Полученные результаты позволяют предположить, что в процессе совместного расплавления полиамида-6 и аморфных аммонийных металлофосфатов помимо механического диспергирования происходят и химические превращения, с получением модифицированного композиционного полимерного материала, причем выделение летучих соединений азота и фосфора интенсифицирует эти процессы и предотвращает усиленную карбонизацию огнезащитной композиции. Как показали дальнейшие исследования, именно модифицированные более легкоплавкой огнезащитной композицией (1) полиамидные образцы отличаются и большей стойкостью к горению (ПВ-1 — ПВ-0). Полученные данные косвенно свидетельствуют о достаточно сложных процессах структурообразования в огнезащищенной микрокомпозиционной матрице, возможно, с формированием пространственно-сеточных структур.

В результате проведенных исследований установлено, что нестехиометрические аморфные аммонийные металлофосфаты в оптимальном сочетании химического состава самих солей и добавок, при введении в расплав полиамида-6 в количестве до 15 масс. % повышают его огнестойкость до категории ПВ-0. Композиционные образцы выдерживают по 2–3 поджигания, тогда как исходный полимер в виде такой же пластины сгорает полностью после первого поджигания, а растекание его начинается еще до отнятия пламени горелки. Исходя из полученных результатов, можно предположить, что в случае наиболее огнестойких образцов задействовано два механизма прекращения горения: воздействие на формирование каркасообразующих структур в конденсированной фазе и ингибирование радикальных процессов в газовой фазе.

Литература:

1. Костюченко М.А., Ревяко М.М. Влияние триазинового и неорганического фосфорного ингибиторов горения на эксплуатационные свойства и стойкость к горению стеклонаполненного полиамида-6 // Весці НАН Беларусі. — 2013. — № 2, 21–24.
2. Богданова В. В. Огнегасящий эффект замедлителей горения в синтетических полимерах и природных горючих материалах // Химические проблемы создания новых материалов и технологий: сб. ст. / Под ред. О.А. Ивашкевича. — Минск: БГУ. — 2003, (2). — С. 344–375.
3. Берлин А.А., Вольфсон С.А., Ошмян В.Г., Ениколопян Н.С. Принципы создания композиционных материалов. — М.: Химия, 1990.
4. Песецкий С.С., Юрковски Б., Давыдов А.А. Полиамидные наноккомпозиты пониженной горючести // Труды конф. Химические реактивы, реагенты и процессы малотоннажной химии. — Мн.: Беларус. навука, 2011. — С. 184–193.

ТЕРПЕНОИДНОМАЛЕИНОВЫЕ АДДУКТЫ КАК ЗАМЕНИТЕЛИ ЖИВИЧНОЙ КАНИФОЛИ

И.А. Латышевич¹, А.Ю. Ключев¹, Н.Г. Козлов¹, Е.Д. Скаковский¹, Н.Р. Прокопчук²

¹Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь; irka-ideal@rambler.ru

²Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

Несмотря на некоторые успехи, достигнутые в разработке новых направлений по созданию на основе лесохимического сырья эффективных продуктов и поиска их квалифицированного применения, в странах ЕАЭС и, в частности, в Республике Беларусь, по-прежнему остается актуальна проблема рационального, использования первичных продуктов переработки живицы сосны обыкновенной *Pinus Silvestris L.*

Ввиду того, что научно-технический прогресс XXI века уже не может быть полностью удовлетворен тем ассортиментом продукции, которая вырабатывается в настоящее время отечественной лесохимической промышленностью: отсутствие глубокого и всестороннего комплекса исследований, посвященных созданию новых терпеноидных продуктов, а также практически важных композиционных составов на их основе, в будущем может негативно повлиять на развитие народного хозяйства Республики Беларусь.

Поэтому актуальны разработки новых наукоемких технологий глубокой переработки сосновой живицы с последующим получением на ее основе эффективных терпеноидномалеиновых аддуктов (ТДМА) и создание на их основе практически важных соединений, обладающих комплексом полезных свойств.

Поэтому нами проведены научные и патентные исследования посвященные разработкам ТДМА и их использованию.

Согласно данным полученным в ходе исследований существует широкий ассортимент ТДМА: малеопимаровая кислота (МПК) может быть получена взаимодействием левопимаровой кислоты с малеиновым ангидридом (МА); канифолемалеиновый аддукт (КМА) – взаимодействием канифоли с МА; канифолетерпеномалеиновые аддукты (КТМА) – взаимодействием терпентина с МА; канифолетерпеностирольномалеиновые аддукты (КТСМА) – взаимодействием смеси терпентина и стирола с МА; терпеномалеиновые аддукты (ТМА) – взаимодействием скипидара с МА; аддукт, полученный обработкой твердых политерпенов МА (МАП) – взаимодействием твердых полимеров терпенов с МА. Аддукты, полученные обработкой канифольных масел от производства ГЭК МА (МАКМ) – взаимодействием канифольных масел с МА [1].

Методом ИК- и ЯМР-спектроскопии был изучен химический состав ТДМА. Установлено, что многие из них могут являться эффективной основой для создания вторичных продуктов с комплексом полезных свойств.

В табл. 1 приведены физико-химические свойства рассмотренных ТДМА в сравнении с аналогичными характеристиками традиционной живичной канифоли. Как видно из данных табл. 1 предложенные ТДМА по своим физико-химическим свойствам значительно превосходят канифоль. Использование ТДМА в рецептурах композиционных составов вместо канифоли в силу его высоких физико-химических свойств может дать значительный эффект в усилении эксплуатационных свойств последних и позволит экономить канифоль в комплексных соединениях. Данные табл. 1 показывают, что из всех рассматриваемых аддуктов, по своим физико-химическим свойствам наиболее предпочтительны: КМА, КТМА и ТМА. Наиболее термостойкими, обладающими высокими T_p и ρ_v^{110} , являются аддукты КМА и КТСМА.

Как видно из приведенных данных ТДМА являются более перспективным лесохимическим сырьем для синтеза новых продуктов, чем традиционная канифоль.

Таблица 1. Физико-химические свойства терпеноидномалеиновых аддуктов

Продукт	T_p , °C	КЧ, мг КОН/г	ν^{20} , сСт	$\rho_v^{110} \cdot 10^{-12}$, Ом·см	$T_{д^{cp}}$, °C
Живичная канифоль	65,0	165,0	14,6	1–1,5	200
МПК	$T_{пл} 223–228$	265–290	—	—	—
КМА	$T_{пл} > 135$	263,0	190,8	10–12	285
ТМА	60–80	320,0	19,6	0,1	—
КТМА	65–90	268–272	142,2	0,2–0,4	198
КТСМА	100	304,0	—	—	240
МАП	72,0	47,0	—	—	—
МАКМ	67–72	185–210	—	—	210

Примечание. T_p — температура размягчения, °C; КЧ — кислотное число, мг КОН/г; ν^{20} — вязкость, сСт; ρ_v^{110} — удельное объемное электрическое сопротивление, Ом·см; $T_{д^{cp}}$ — температура деструкции по усредненным данным ДТГ и ДТА, °C.

Высокая химическая реакционная способность ТДМА, широкий диапазон физико-химических свойств, достаточно простая технология получения и большие потенциальные возможности для синтеза на их основе высокоэффективных продуктов открывают перспективы для производства аддуктов.

Таким образом, как показал анализ литературных данных, за последнее десятилетие нарабатаны бесценные знания по получению, исследованию свойств и применению ТДМА и их производных. Однако до сих пор эти знания остаются мало востребованными отечественной промышленностью. Поэтому приведенные литературные данные могли бы представить определенный интерес для таких лесохимических компаний как ОАО «Лесохимик» (Республика Беларусь), ТД «ПО ОРГХИМ», ЗАО «Оргсинтез» и ОАО Вологодский ЛХЗ (Россия).

К сожалению, в XX веке ТДМА не нашли своего достойного применения. В странах ЕАЭС исследования по созданию новых высокоэффективных ТДМА и разработке на их основе композиционных составов со специальными свойствами в настоящее время практически также не проводятся.

В связи с этим, актуально проведение научных исследований и практических работ по трем основным взаимосвязанным направлениям:

- освоение уже имеющихся технологий ТДМА и их производных;
- разработка новых высокоэффективных продуктов на основе ТДМА, обладающих комплексом полезных свойств (диэлектрическими и антисептическими свойствами, термостабильностью и т.д.);
- разработка технологий и расширение областей применения композиционных составов на их основе.

Высокие физико-химические свойства и возможность производства ТДМА на отечественном возобновляемом терпеноидном сырье открывают широкие перспективы в Республике Беларусь для разработки и производства на их основе новых композиционных составов с улучшенными эксплуатационными свойствами.

Литература:

1. Клюев, А.Ю. Терпеноидномалеиновые аддукты и их производные: получение, свойства и применение (Обзор) / А.Ю. Клюев, Е.Д. Скаковский, Н.Г. Козлов, А.Н. Проневич, Н.Р. Прокопчук, Б.Г. Ударов // Сб. науч. тр. / Ин-т физ.-органич. химии НАН Беларуси. — Минск, 2008. — Вып. 2. — С. 374–419.

ПЛЕНОЧНЫЕ НОСИТЕЛИ ДЛЯ КАНАМИЦИНА НА ОСНОВЕ БЫЧЬЕГО СЫВОРОТОЧНОГО АЛЬБУМИНА

М.Э. Лозовская, А.Н. Красковский, В.И. Куликовская

Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь; lozovskaya.marina@rambler.ru

Трансдермальные терапевтические системы являются альтернативным способом назначения препаратов, пероральный путь введения которых менее эффективен из-за их нестабильности в ЖКТ, узкого терапевтического коридора или короткого периода полувыведения. Трансдермальная доставка препарата обеспечивает непрерывное дозирование на протяжении продолжительного периода времени. Пленки, используемые для создания трансдермальных систем доставки, должны быть биосовместимы и нетоксичны. Следовательно, перспективными компонентами таких покрытий являются белки.

Цель данной работы – формирование мультислойных пленок (полиэтиленимин/бычий сывороточный альбумин)_n ((ПЭИ/БСА)_n) и изучение возможности их использования в качестве носителей для антибиотика канамицина.

Мультислойные пленки (ПЭИ/БСА)_n получали методом послойного осаждения полиэлектролитов путем чередующейся адсорбции компонентов пленки из их водных растворов с концентрацией 1,0 мг/мл. Количественные закономерности адсорбции ПЭИ и БСА изучали методом кварцевого микровзвешивания с использованием жидкостной проточной ячейки. Канамицин включали в мультислойные пленки (ПЭИ/БСА)₁₀ путем сорбции из его водных растворов.

Установлено, что методом послойного осаждения можно сформировать 10-бислойные пленки (ПЭИ/БСА)₁₀. При формировании мультислоев (ПЭИ/БСА)₁₀ в водных средах линейное увеличение массы пленки на кварцевом резонаторе наблюдается для первых шести бислоев, а далее начинается ее экспоненциальный рост (рис. 1). На линейном участке ($n = 1-6$) прирост толщины пленки на каждый бислой ПЭИ/БСА составляет 18,7 нм.

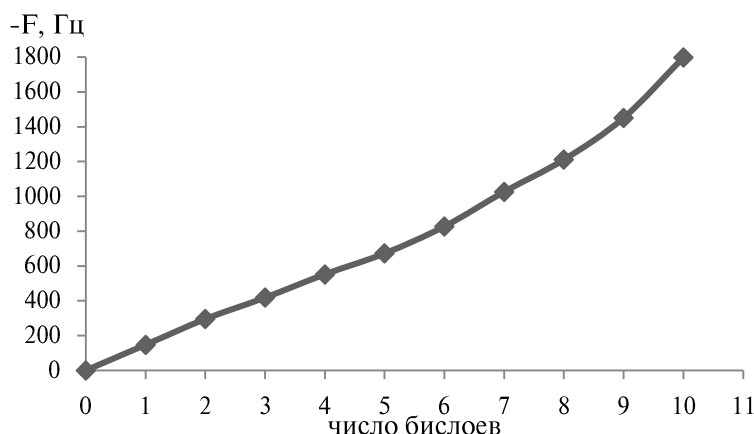


Рис. 1. Изменения частоты колебания кварцевого резонатора от числа адсорбированных на его поверхности бислоев (ПЭИ/БСА)

Анализ зависимости $\Delta F = f(\Delta R)$ при чередующейся адсорбции полиэлектролитов позволяет охарактеризовать вязкоэластичные свойства слоев, адсорбированных на поверхности резонатора: при вязкостной нагрузке на резонатор $\Delta F = 2,4 \cdot \Delta R$, при эластичной – $\Delta R = 0$ и $\Delta F \neq f(\Delta R)$. Угол наклона прямой $\Delta F = f(\Delta R)$ для мультислойной пленки (ПЭИ/БСА)_n составляет 78 (при $n = 1-6$) и 19 (при $n = 7-10$) и свидетельствует о зависимости вязкоэластичных свойств покрытия от числа бислоев. Так, при числе бислоев (n) от 1 до 6 пленка (ПЭИ/БСА)_n проявляет эластичные свойства, а при дальнейшей адсорбции компонентов на ней ($n = 7-10$) становится вязкоэластичной.

Бислойная система ПЭИ/БСА характеризуется неоднородной поверхностью: на АСМ-изображении отчетливо видно, что БСА осаждается в виде агрегатов, высота которых достигает 30 нм (рис. 2а). Шероховатость поверхности пленки ПЭИ/БСА составляет $2,4 \pm 0,4$ нм. При формировании мультислойных систем морфология поверхности пленок претерпевает изменения. Для пленки (ПЭИ/БСА)₁₀ характерна неоднородная поверхность с высотой выступающих элементов до 200 нм (рис. 2б), при этом показатель шероховатости пленки, рассчитанный по окну сканирования 5×5 мкм, составляет $44,0 \pm 4,3$ нм.

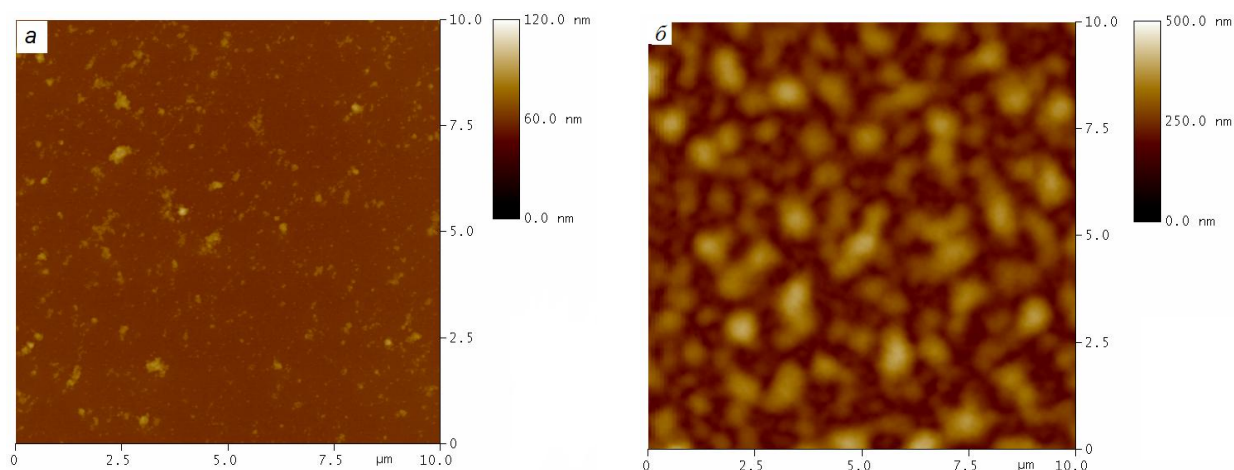


Рис. 2. АСМ-изображения морфологии поверхности пленок ПЭИ/БСА (а) и (ПЭИ/БСА)₁₀ (б)

В качестве носителей для канамицина были выбраны пленки (ПЭИ/БСА)₁₀. Экспериментально установлено, что кинетическая кривая сорбции канамицина в предварительно высушенные LbL-пленки (ПЭИ/БСА)₁₀ достигает предельного значения через 5 ч, а во влажные — через 1 ч.

Установлено, что эффективность включения канамицина в пленки (ПЭИ/БСА)₁₀ уменьшается с 38,2 до 15,1 % при увеличении концентрации его водных растворов от 50 до 200 мкг/мл (продолжительность сорбции 1 час). При этом содержание антибиотика в пленке варьируется от 7,6 до 12,8 мкг/см².

Таким образом, показано, что методом послойного осаждения можно сформировать мультислойные субмикронные вязкоэластичные пленки (ПЭИ/БСА)_n ($n = 1-10$), которые могут быть использованы в качестве носителей антибиотика канамицина.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (договор № Х15КОР-002 от 04.05.2015).

ВЛИЯНИЕ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФРИКЦИОННЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ УЗЛОВ СТАЦИОНАРНОГО ТРЕНИЯ

В. К. Меринов

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

В ряде отраслей промышленности, в первую очередь в машиностроении и металлургии широкое распространение получили фрикционные узлы стационарного трения, т.е. узлы, обеспечивающие заданный момент трения на длительных промежутках времени. Для материалов, используемых в этих узлах, важнейшими параметрами являются величина и стабильность коэффициента трения.

Материалы для узлов стационарного трения, как правило, представляют собой сложные композиционные системы, содержащие полимерную матрицу и различные дисперсные и волокнистые наполнители. От качества технологической подготовки исходных компонентов и их физико-химических свойств существенно зависят свойства фрикционного композиционного материала.

В качестве связующего композиционного материала, применяемого для работы в стационарных узлах трения, использовали политетрафторэтилен (ПТФЭ). Наряду с известными достоинствами, ПТФЭ обладает рядом недостатков: низкой теплопроводностью, высоким коэффициентом линейного расширения, ползучестью под нагрузкой и т.д. Введение наполнителей позволяет улучшать характеристики композиционных материалов на основе ПТФЭ матрицы.

Установлено, что влияние на триботехнические характеристики оказывает не только содержание каждого из компонентов, но и соотношение их относительно друг друга в смеси. Базальтовое волокно обладает низкой насыпной плотностью, насыпная плотность металлического компонента значительно выше. Задача заключается в подборе их оптимального соотношения.

На рисунках 1,2 приведены результаты определения влияния объемного соотношения компонентов в смеси базальтового волокна (БВ) и металлического порошка (БПП-1) на насыпную плотность смеси и на плотность полученного композита.

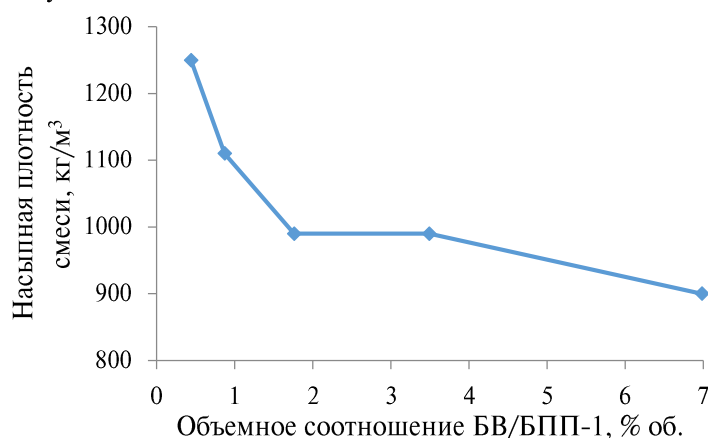


Рис. 1. Зависимость насыпной плотности смеси наполнителей БВ/БПП-1 от объемного соотношения компонентов в смеси

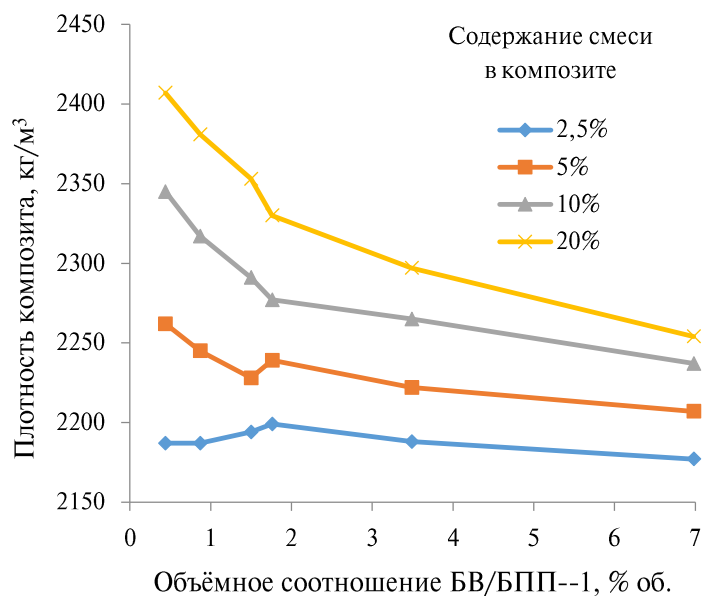


Рис. 2. Зависимость плотности композита от объемного соотношения наполнителей в смеси БВ/БПП-1

Анализ экспериментальных данных показывает, что при объемном соотношении компонентов от 1,76 до 3,49, насыпная плотность смеси БВ и БПП-1 не изменяется. Это наиболее оптимальное соотношение БВ и БПП-1 для наполнения полимерной матрицы.

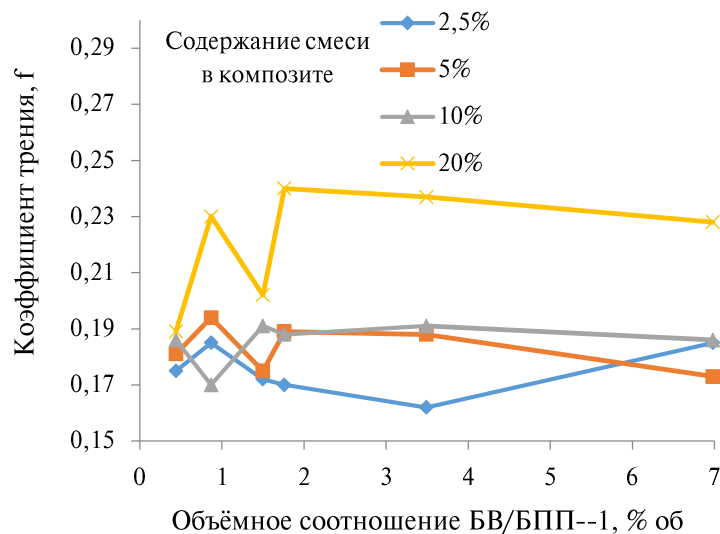


Рис 3. Зависимость коэффициента трения композита от объемного соотношения БВ/БПП-1 (при $P = 4$ МПа и $\Theta = 1$ м/с)

Установлено, что при низком соотношении наполнителей коэффициент трения характеризуется высокой нестабильностью. При этом степень нестабильности возрастает с увеличением содержания полимера в композите. При соотношении наполнителей от 1,76 до 3,49 коэффициент трения характеризуется наибольшей стабильностью. Выбор соотношения компонентов в этом диапазоне обусловлен, как правило, либо требованиями к теплофизическим свойствам композита, либо его стоимостью. Увеличение содержания базальтового волокна приводит к снижению стоимости композита, но уменьшает интенсивность теплоотвода из зоны трения.

СИНТЕЗ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ МАТЕРИАЛОВ С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ДИСПЕРСИЕЙ ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЯ

В.С. Микулич, А.А. Муравский

Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь

На сегодняшний день жидкокристаллические дисплеи получили широкое распространение в устройствах отображения информации. Так, для улучшения углов обзора дисплеев отражательного типа, фазовых пластин и других используются различные компенсирующие пленки, позволяющие передавать корректно цвет изображения при изменении угла обзора, а также снижать коэффициент отражения от экрана. Отсутствие таких пленок зачастую может приводить к тому, что наблюдаются искаженные цвета.

Для улучшения цветопередачи и однородности изображения по углам обзора возможно использование специальных оптических анизотропных пленок с отрицательной дисперсией двулучепреломления. При изготовлении четвертьволновых пластин на основе таких материалов возможно получить ахроматический фазовый эффект, одинаково эффективный для широкого спектрального диапазона. Применение ахроматической пленки совместно с поляризатором для подавления отражения в устройствах отображения информации позволяет получить однородно серое темное состояние. При использовании пленки с положительной дисперсией двулучепреломления темное состояние окрашено, что существенно снижает визуальный контраст изображения. Также возможно использовать такие материалы в качестве добавок жидкокристаллических смесей для изменения дисперсии оптической анизотропии [1].

В качестве количественной характеристики двулучепреломления используется разность показателей преломления анизотропного материала $\Delta n = n_e - n_o$, а ее спектральная зависимость $\Delta n(\lambda)$ называется дисперсией двулучепреломления.

Большинство материалов характеризуются уменьшением показателя преломления с увеличением длины волны света. Материалов, характеризующихся увеличением показателей преломления с увеличением длины волны света, не существует, что не исключает возможности создать условия при которых двулучепреломление системы анизотропных материалов (несколько пленок) возрастает с увеличением длины волны света. Такой ход спектральной зависимости разности показателей преломления получило название – отрицательная дисперсия двулучепреломления.

Один из перспективных способов получения материалов с низкой или отрицательной дисперсией двулучепреломления – это перенос дизайна системы пленок с макроскопического уровня на молекулярный уровень путем синтеза специальных соединений, а именно: соединение двух молекул (**1**) перпендикулярным мостиком (**2**), обладающим анизотропным поглощением в УФ области. Таким образом, молекулы имеют или H-образную, или Z-образную форму, в которой жесткие части молекулы находятся параллельно друг другу, а мостиковые группы, содержащие π -систему, хорошо поляризуемы и характеризуются высокой экстинкцией (рис. 1) [2].

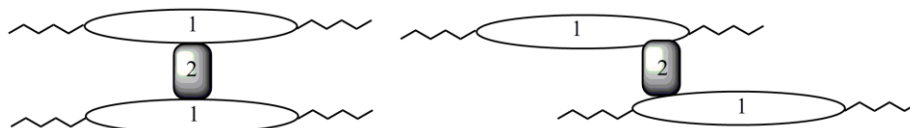


Рис. 1. Структура молекул для материалов с отрицательной дисперсией

Параллельные фрагменты имеют низкую поляризуемость и вносят малый вклад в дисперсию показателя преломления. Такое сочетание различных несопряженных между собой фрагментов молекул позволяет получать соединения, анизотропные материалы на основе которых будут обладать свойствами отрицательной дисперсии двулучепреломления.

Нами предложены, синтезированы и изучены свойства ряда молекул для применения в качестве материалов с отрицательной дисперсией двулучепреломления, структуры которых представлены на рисунке 2.

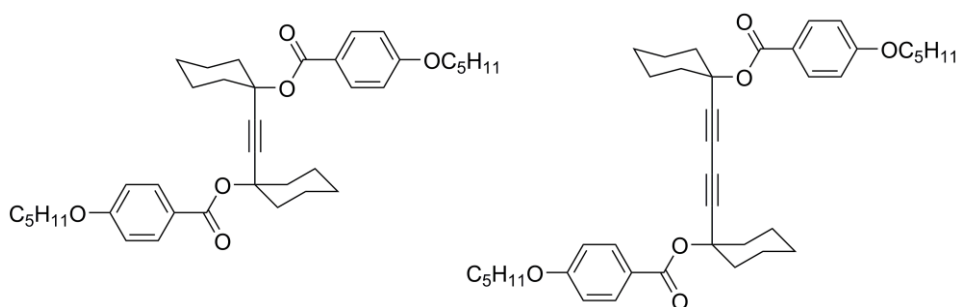


Рис. 2. Структура синтезированных молекул

Данные соединения получали согласно схеме, представленной на рисунке 3:

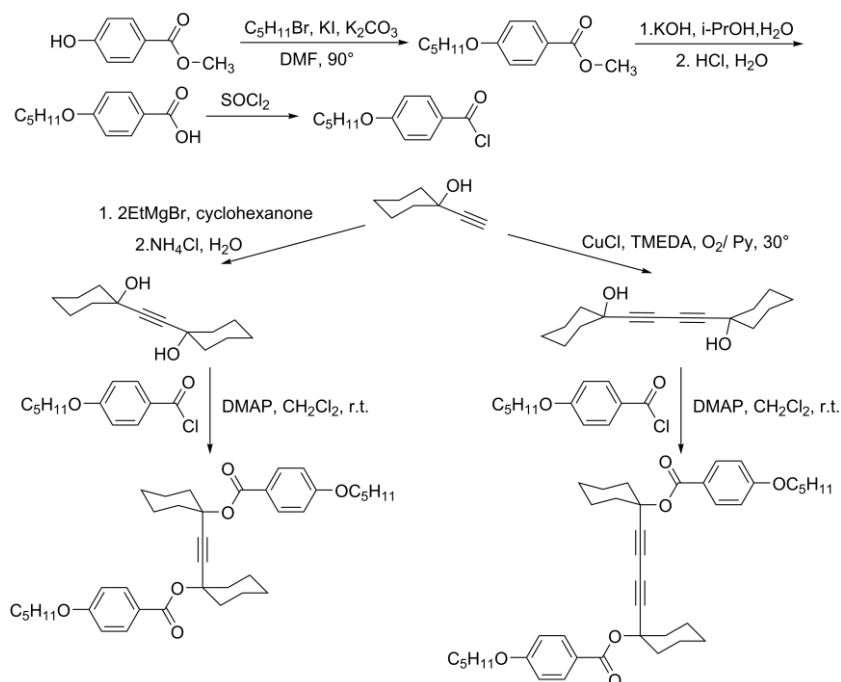


Рис. 3. Схема синтеза соединений

Литература:

1. Birefringent layer with negative optical dispersion: pat. EP2129742 B1, EU: IPC C09K 19/30 (2006.01), C09K 19/32 (2006.01), C09K 19/34 (2006.01), C09K 19/40 (2006.01), C09K 19/38 (2006.01), G02B 5/30 (2006.01) / Parri O.L. et al. ; publ. date 25.01.2012.
2. Optical films having reverse dispersion: pat. US7480201 B2, USA: IPC G02F 1/1335 (2006.01) / Rao Y.Q. et al.; publ. date: 20.01.2009.

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ В КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЯХ НА ИХ АЗОТИРУЕМОСТЬ

А.Н. Моисеенко, М.Н. Босяков

Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Химический состав стали определяет её физические свойства, а вследствие термического превращения также и её микроструктуру. Но кроме влияния на механические свойства стали (обрабатываемость, хладноломкость и др.), химический состав определяет также свойства поверхности стали после химико-термической обработки, в частности, после ионного азотирования.

Так, в работах [1, 2] показано, что различные легирующие элементы вносят определенный вклад в прирост твердости упрочненного слоя после азотирования стали, т.е. азотируемость стали в значительной мере зависит от типа легирующих элементов и их концентрации. Азотируемость стали можно характеризовать параметром Π_{N2} — плотность потока азота, поглощаемого сталью (л/час×м²) [3]:

$$\Pi_{N2} = C_{\alpha-Fe} \sqrt{D_{\alpha-Fe}}, \quad (1)$$

где $C_{\alpha-Fe}$ — растворимость азота в альфа- твердом растворе железа; $D_{\alpha-Fe}$ — коэффициент диффузии азота в альфа-твердом растворе железа; величины $C_{\alpha-Fe}$ и $D_{\alpha-Fe}$ в свою очередь зависят от температуры [4]:

$$C_{\alpha-Fe} = \exp\left(\frac{-4575}{T} + 3\right) * 10^{-\left(K_i^{(n_i)} + \dots + K_n^{(n_n)}\right)} \quad (2)$$

где: $K_i^{(n_i)}$ – коэффициент активности легирующего элемента.

$$D_{\alpha-Fe} = D_0 * \exp \left[\frac{B_i^{(n_i)} + \dots + B_n^{(n_n)}}{T} \right] \quad (3)$$

где: $B_i^{(n_i)}$ – коэффициент влияния легирующего элемента;

D_0 – коэффициент диффузии в чистом АРМКО железе.

Рассчитанное значение комплекса $C_{\alpha-Fe} * \sqrt{D_{\alpha-Fe}}$ позволит определить состав насыщающей среды (процент азота) при изотермической выдержке, чтобы не сформировался преждевременно «белый» нитридный слой, который затормозит диффузию азота в металл, т.е. плотность потока азота P_{N_2} (л/ч·м²), обеспечиваемая разрядом, должна быть равна рассчитанной

$$(\%N_2) = \frac{C_{\alpha-Fe} \sqrt{D_{\alpha-Fe}}}{J \sqrt{\tau}} \quad (4)$$

где J – плотность тока тлеющего разряда (А/м²), а τ (час) – это то время, в течение которого азот будет поглощаться поверхностью, и диффундировать вглубь металла, не образуя на поверхности сплошной нитридный слой.

Используя формулы (2, 3) и данные по коэффициентам активности легирующих элементов, приведенные в [4], проведены расчеты по формуле (1) параметра P_{N_2} для сталей марок 40Х, 25ХГТ, 20ХН3А в зависимости от концентрации легирующих элементов (минимальное, среднее и максимальное значение из ГОСТ 4543-71) в диапазоне температур 300–600 °С (рис. 1).

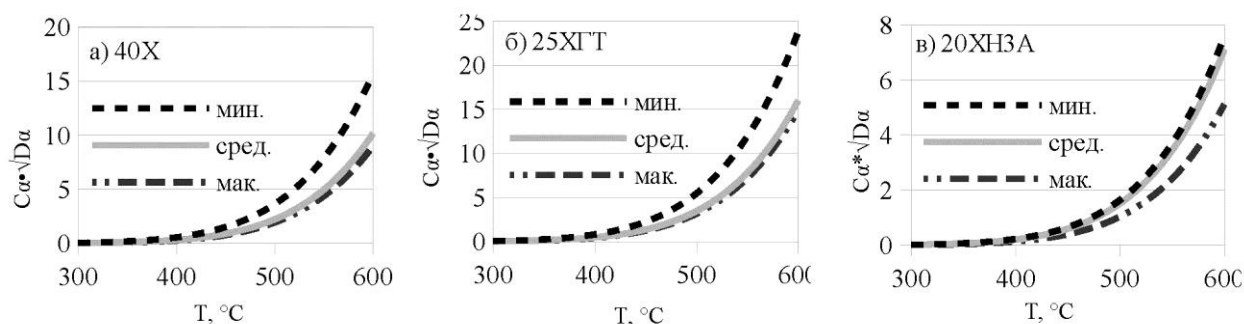


Рис. 1. Азотируемость сталей марок а) 40Х, б) 25ХГТ и в) 20ХН3А.

Как можно видеть из представленных на рис. 1 зависимостей параметра P_N , азотируемость стали существенно зависит от концентрации легирующих элементов., что обусловлено различным влиянием их на $C_{\alpha-Fe}$ и $D_{\alpha-Fe}$.

Известно [2], что такие элементы, как С и Ni в значительной степени изменяют $C_{\alpha-Fe}$ и $D_{\alpha-Fe}$, а Cr является основным нитридообразующим элементом, обеспечивающим повышение твердости стали вследствие азотирования. Для выявления влияния названных элементов на азотируемость стали, был проведен расчет параметра P_N в зависимости от изменения концентрации С, Ni и Cr от минимальной до максимальной при этом концентрация остальных элементов принималась равной среднему значению из ГОСТ 4543-71 (рис. 2).

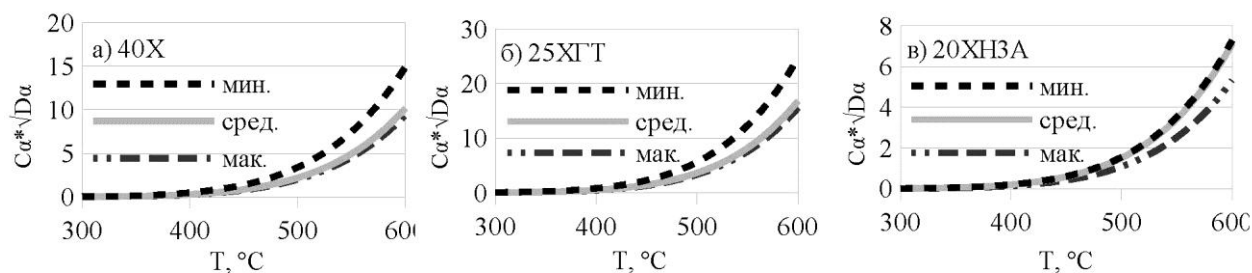


Рис. 2. Азотируемость стали в зависимости от содержания Ni: а) 40Х, б) 25ХГТ, в) 20ХН3А.

Установлено (рис. 2), что наибольший вклад в изменение азотируемости стали вносит Ni – особенно это ощутимо для сталей 40Х и 25ХГТ, где содержание Ni может находиться на уровне микролегирования. В свою очередь увеличение концентрации C_г только повышает азотируемость стали, а колебания содержания углерода вносят незначительный вклад в азотируемость.

Таким образом, как показали расчеты, микролегирование стали никелем вносит существенные изменения в ее азотируемость, что необходимо принимать во внимание при назначении режима ионного азотирования прецизионных изделий из данных марок сталей, и если требования КД по параметрам азотированного слоя (глубина, твердость) достаточно жесткие, то необходимо знать точный химический состав стали.

Литература:

1. Былицкий В.В., Босяков М.Н. Совершенствование технологии ионного азотирования стали 38Х2МЮА путем управления составом рабочей смеси газов и температурой процесса. Конференция, Книга 1, Современные методы и технологии создания материалов. — Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2014. — С. 57–67.
2. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д., Шпис Г., Бемер З. Теория и технология азотирования. — Москва: Изд-во “Металлургия”, 1991. — 320 с.
3. Моисеенко А.Н. Массоперенос в системе «Ионизированная среда-металл» при ионном азотировании сталей. Конференция, Книга 2, Современные методы и технологии создания материалов. — Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2016. — С. 170–177.
4. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д., Булгач А.А. Расчёт влияния легирующих элементов на растворимость и диффузию азота в стали при азотировании в α и ε-фазах, Труды московского автомобильно-дорожного института, Вып 174, 42–59, 1979.

ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА YAG:CE МЕТОДОМ СООСАЖДЕНИЯ

Е.А. Паршикова, Е.В. Третьяк

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь; katishthea@gmail.com

Одной из актуальных задач современной химии твердого тела и материаловедения является синтез новых оптических материалов в наноразмерном состоянии, способных эффективно излучать в заданной области спектра при возбуждении светом. Среди прочих люминофоров для алюмоиттриевых гранатов (YAG), допированных ионами РЗЭ, характерна уникальная химическая и термическая стабильность, крайне низкая энергия фононов (квантов колебания атомов кристаллической решетки), прозрачность от УФ до ИК-области, а также устойчивость при длительном воздействии электронных пучков. Перспективой применения материалов на основе алюмоиттриевого граната является их использование в гибридных светоизлучающих диодах белого цвета свечения. Несмотря на большой объем литературных сведений, касающихся синтеза YAG:Ce, основным твердофазным способом, недостаточно

конкретных данных о влиянии особенностей синтеза методом соосаждения на их структуру, морфологию и люминесцентные свойства.

Цель работы состояла в систематическом изучении различных факторов, влияющих на синтез YAG:Ce методом соосаждения и, соответственно, на его свойства (структуру, морфологию и люминесценцию). Выбор вышеуказанного метода синтеза обусловлен тем, что методы «мокрой» коллоидной химии и технологии наиболее экономичные, удобные и гибкие, не требуют громоздких и дорогостоящих технологических установок и являются альтернативой сложным методам получения наноструктур с использованием молекулярно-лучевой эпитаксии, химического осаждения из газовой фазы, электронно-лучевой нанолитографии, твердофазного синтеза.

В работе было изучено влияние pH осаждения, времени и температуры термообработки.

Материалы и методы.

Для синтеза алюмоиттриевого граната был выбран метод обратного соосаждения. В качестве исходных растворов использовались 1М растворы $Y(NO_3)_3$ и $Al(NO_3)_3$, и раствор аммиака ($\rho=0,983\text{ г/см}^3$) в качестве осадителя. Источником ионов Ce^{3+} была соль $Ce(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$. pH осаждения варьировался от 6,5 до 9,0. Полученные осадки совместно-осажденных гидроксидов выделяли центрифугированием, промывали дистиллированной водой и высушивали при 80 °С. Образцы ксерогелей в основной серии опытов прогревали при 600 °С 2 часа и при 1200 °С 2 часа. Для исследования свойств образцов использовались методы РФА, ДСК, ТГ анализ, СЭМ и спектрально-люминесцентный анализ.

Результаты и их обсуждение.

Влияние pH. По данным термического анализа исходных ксерогелей нет существенной разницы в тепловых эффектах образцов в зависимости от pH: температура формирования граната независимо от pH лежит в пределах 930–950 °С. Остаточная масса образцов при pH=6,34 и 7,5 составляет 41 % (температура 1000 °С), а для pH=8,0, 8,5 и 8,75 – 48 %. По данным РФА каждый образец представляет собой сформированную беспримесную фазу граната. По методу Вильямсона-Холла были рассчитаны параметры решетки, значения ОКР и величины микронапряжений. Расчётные данные приведены в таблице 1 для каждой серии образцов. Исходя из этих данных, параметр решетки YAG:Ce практически не зависит от pH осаждения. С учётом параметров ОКР и величин микронапряжений образцов можно заключить, что YAG:Ce, полученный при pH=6,34, имеет более совершенную решетку. Данные СЭМ показали, что все образцы состоят из крупных агрегатов произвольной формы размерами до 15 мкм. Образцы, полученные из прекурсоров, осаждённых при pH около 7,0 и прогретые при сопоставимых условиях, характеризуются хорошо оформленными частицами размером от 500 нм до 1,5 мкм в составе агрегатов, в то время как образцы, полученные из прекурсоров при pH больше 8,0, содержат менее различимые частицы в агрегатах.

Влияние времени прогрева. Для изучения влияния времени прогрева на свойства алюмоиттриевого граната (исследовались образцы, полученные из ксерогелей, при pH осаждения 9,0) было взято 3 точки: 2 часа, 4 часа и 6 часов при 1200 °С. По расчётным данным РФА установлено, что параметр решётки YAG:Ce с увеличением времени прогрева стремится к табличному значению, параметр ОКР увеличивается, а значение микронапряжений заметно падает при переходе от 2 до 4 часов прогрева. По данным СЭМ можно сделать вывод, что время прогрева при 1200 °С практически не влияет на размер и морфологию исследуемых образцов. Все образцы состоят из крупных агрегатов размерами от 1 до 15 мкм. Сами агломераты состоят из более мелких частиц с размерами до 500 нм.

Влияние температуры прогрева. Для изучения влияния температуры на свойства граната было взято 4 точки: при температуре 1200, 1300, 1400, 1500 °С в течении 2-х часов. По расчётным данным РФА установлено, что с увеличением температуры значение параметра решетки YAG:Ce становится ближе к табличному, параметр ОКР заметно возрастает, а значение микронапряжений падает. По ре-

зультатам СЭМ можно заключить, что заметное изменение в размере и морфологии частиц наблюдается при температуре 1500...1600 °С. В агрегатах наблюдаются частицы более крупного размера (до 1 мкм) с чёткой огранкой.

Результаты спектрально-люминесцентного анализа. Прослеживается чёткая тенденция увеличения интенсивности люминесценции порошков алюмоиттриевого граната с увеличением времени и температуры прогрева. Так, у образца, прогретого 6 часов 1200 °С интенсивность люминесценции в 1,6 раз выше, чем у образца, прогретого 2 часа. Интенсивность люминесценции с ростом температуры прогрева также увеличивается. Влияния рН осаждения прекурсора на люминесценцию YAG:Ce практически не наблюдается.

Таблица 1. Данные РФА о YAG:Ce, полученных при различных условиях

Исследуемый фактор	рН		Время прогрева		Температура прогрева	
	6.34	8.75	2 часа	6 часов	1200 °С	1500 °С
Параметр решетки, $a^*, \text{\AA}$	11.995	11.998	12.021	12.014	12.014	11.986
Значение микронапряжений, $\epsilon \cdot 10^5$	5.64	8.24	6.1	5.0	2.0	1.4
Область когерентного рассеяния	63.22	47.71	26.967	27.904	33.047	62.863

*Табличное значение параметра решетки YAGпринимается равным 12.0080 Å.

На основании представленных результатов можно сделать вывод, что рН осаждение оказывает влияние на морфологию и размеры частиц YAG:Ce, в то время как на интенсивность люминесценции большее влияние оказывает температура и время термообработки.

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОЛИУРЕТАНА НА СТОЙКОСТЬ В ГИДРАВЛИЧЕСКОМ МАСЛЕ

М.А. Попова

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь; m.a.popova.belsut@mail.ru

С появлением новых материалов, таких как полиуретан, обладающих хорошими эксплуатационными характеристиками, надежность уплотнений гидро- и пневмосистем значительно увеличилась. Полиуретан прочнее, эластичнее резин, менее подвержен старению и, в следствие этого, изменению своих свойств в процессе эксплуатации.

Известно, что поверхностное модифицирование позволяет значительно уменьшить влияние агрессивной рабочей среды, повышенной температуры на срок службы уплотнений, изготовленных из эластомеров [1].

Цель работы: исследование влияния поверхностной модификации термопластичного полиуретана на его набухание и механические свойства при выдержке в гидравлическом масле.

Образцы изготавливались из полиуретановых манжет фирмы LONGLI, которые используются для уплотнения штока гидравлических узлов. Полиуретан представлял собой термопластичный материал на основе полиолов сложных полиэфиров и метилендифенилдиизоцианата. Проводилась поверхностная модификация путем нанесения покрытий вакуумно-плазменными методами.

Стойкость полиуретана к воздействию гидравлического масла определялась по ГОСТ Р ИСО 1817-2009, выдержка образцов производилась в гидравлическом масле MOBILE DTE 25 при температуре 70 °С.

Определение краевого угла смачивания поверхности производилось методом растекающейся капли дистиллированной воды.

Физико-механические характеристики материала исследовались с использованием измерителя вязкоупругих свойств «ИПМ-1К».

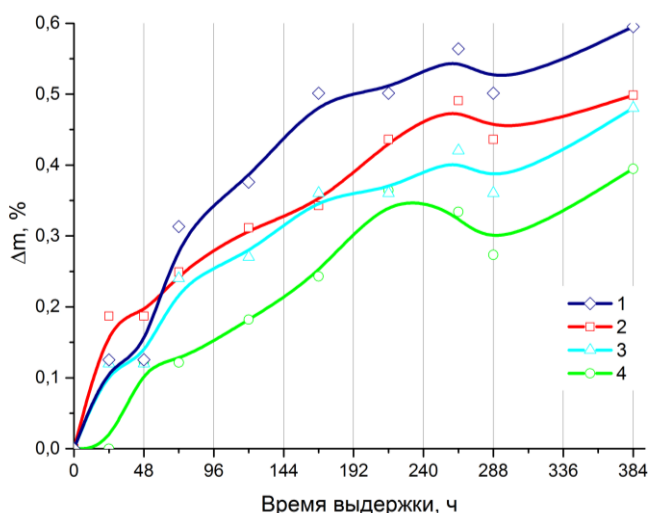
Было определено, что очистка поверхности полиуретана путем ультразвуковой обработки в этиловом спирте приводит к увеличению гидрофобности, а последующая ионная очистка и очистка в тлеющем разряде постоянного тока – к гидрофилизации поверхности материала. Наименьший угол смачивания поверхности составил 14° у образцов с ультразвуковой обработкой в спирте с последующем обработкой в тлеющем разряде «таб. 1».

Таблица 1. Краевые угла смачивания дистилляционной водой поверхности полиуретана с различными видами предварительной обработки

Вид предварительной обработки		Краевой угол смачивания, °
Без обработки		63
Ультразвуковая обработка в спирте	—	73
	Тлеющий разряд	14
	Ионная обработка	37

Выдержка образцов в гидравлическом масле в течение 384 часов показала, что поверхностное модифицирование приводит к уменьшению набухания полиуретана «рис. 1». Отметим, что все нанесенные слои сохранились на поверхности образцов, что свидетельствует об удовлетворительной их адгезии. Наиболее интенсивно процесс набухания проходил в течение 170–200 часов. Наименьшее изменение массы показал образец, обработанный в тлеющем разряде в среде фреона, что уменьшило набухание образца на 40 % по сравнению с полиуретаном без покрытия. Уменьшению набухания способствует олеофобизация полиуретана, что препятствует проникновению гидравлического масла на поверхность и в объем материала.

Изменяются и механические характеристики полиуретана. После 72-х часовой выдержке в гидравлической жидкости отмечено увеличение эластичности, значительное уменьшение тангенса угла механических потерь, а так же небольшое увеличение твердости.



- 1 – без предварительной обработки; 2 – углеродное покрытие, легированной азотом;
3 – композиционное покрытие, полученное при распылении графита в среде азота и фреона, с подслоем титана;
4 – обработка в тлеющем разряде в среде азота и фреона.

Рис. 1. Относительное изменение массы образцов полиуретана при выдержке в гидравлическом масле при температуре 70°C

Выдержка в течение 168 часов, при относительном увеличении массы порядка 0,5 % приводит к увеличению эластичности, небольшому уменьшению твердости, восстановлению значения тангенса угла механических потерь до прежнего значения «таб. 2».

Таблица 2. Вязкоупругие свойства исходного полиуретана до и после выдержке в рабочей среде при температуре 70 °С

Параметр	до испытания	после 72 ч. выдержки	после 168 ч. выдержки
Твердость по Шору А, ед.	84,1±0,7	84,9±0,4	83,0±0,3
Эластичность по отскоку, %	19,2±0,5	21,2±0,9	25,3±1,2
Тангенс угла механических потерь, ед.	0,35±0,01	0,18±0,08	0,35±0,04

Таким образом, показано, что поверхностное модифицирование полиуретана позволяет влиять на сложные процессы его набухания и изменение механических свойств при выдержке в гидравлическом масле.

Литература:

1. Зуев, Ю. С. Стойкость эластомеров в эксплуатационных условиях / Ю. С. Зуев, Т. Г. Дегтева. — М. : Химия, - 1986. — 264 с.
2. Мур, Д. Ф. Трение и смазка эластомеров / Д. Ф. Мур — пер. с англ. Г. И. Бродский. — М. : Химия, 1977. — 16 с.
3. Райт, П. Полиуретановые эластомеры / П. Райт, А. Камминг. — М. : Химия, — 1973. — 304 с.
4. Дворак, А.М. Влияние покрытий на основе углерода на триботехнические свойства полиуретана / А.М. Дворак, М.А. Попова, В.П. Казаченко, А.Н. Попов // Международная научно-техническая конференция «Полимерные композиты и трибология», Гомель, 23–26 июня 2015 г, 74 с.

СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА SBT СЛОЕВ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ

Пугачев Н.Р.

Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины, Гомель, Беларусь

Сегнетоэлектрики представляют интерес с точки зрения их использования в различных устройствах микро- и нанoeлектроники [1]. Наличие таких свойств как переключение поляризации, высокие значения диэлектрической проницаемости, диэлектрическая нелинейность, пиро- и пьезоактивность открывает широкие перспективы для применения сегнетоэлектрических пленок в различных устройствах функционального назначения [2, 3].

В настоящей работе исследованы структура и диэлектрические свойства сегнетоэлектрических SBT пленок состава $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$, полученных по золь-гель технологии на кремниевой подложке.

Исходными компонентами при формировании пленок служили диметилформамид (ДМФА, 76–78 % мас.), а также хлориды стронция (Sr), висмута (Bi) и тантала (Ta). Поверхности образцов были исследованы на АСМ, диэлектрические свойства сегнетоэлектриков определяли осциллографическим методом — по кривой гистерезиса на зависимости поляризации от напряженности приложенного электрического поля. На рисунке 1 приведены типичные характеристики сегнетоэлектрика оптимального состава.

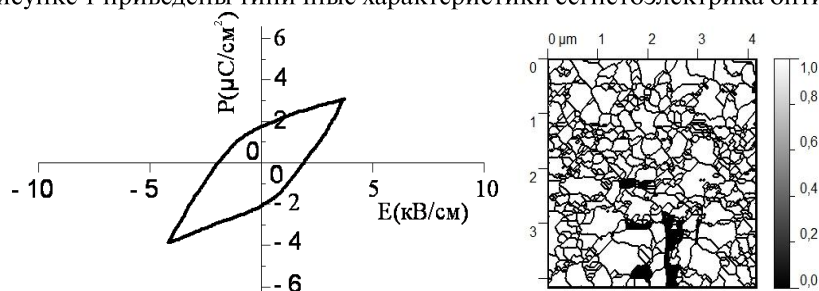


Рис. 1. Петля гистерезиса и АСМ изображение для образца с содержанием компонентов, масс. %: ДМФА-76, Sr-4, Bi-14, Ta-6

На основании проведенных исследований установлено:

- 1) Сегнетоэлектрические покрытия имеют зернистую структуру, причем размер зерен колеблется в широких пределах (от единиц до сотен микрометров) в зависимости от состава пленки и режимов ее изготовления;
- 2) максимальная остаточная поляризация и коэрцитивная сила (ширина петли) наблюдается в образце с содержанием компонентов, масс. %: ДМФА-76, Sr-4, Bi-14, Ta-6;
- 3) максимальное значение остаточной поляризации $P_{\text{ост}}$ достигается в выше указанном образце при среднем размере зерна 89 нм и численно равно 2 мКл/см^2 (Рис. 1).

Литература:

1. Струков Б.А. Физические основы сегнетоэлектрических явлений в кристаллах /Б.А. Струков, А.П. Леванюк. – М.: Наука, 1995. –292 с.
2. Струков Б.А. Сегнетоэлектричество в кристаллах и жидких кристаллах: природа явления, фазовые переходы, нетрадиционные состояния вещества //Соросовский образовательный журнал. – №4.– 1996.– С. 81–89.
3. Голосов Д.А., Завадский С.М., Колос В.В., Турцевич А.С. Сегнетоэлектрические свойства пленок легированного ниобием танталата стронция-висмута / Д.А. Голосов, С.М. Завадский, В.В. Колос, А.С. Турцевич //Физика твердого тела, 2016, том 58, вып. 1, – С. 51–55.

ВУЛКАНИЗАЦИЯ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКА ФЕНОЛОФОРМАЛЬДЕГИДНЫМИ СМОЛАМИ

А.А. Сементовская

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

Фенольная вулканизация является перспективным методом отверждения каучуков для снижения жесткости полимерной матрицы термостойких композиционных материалов триботехнического назначения. Преимущество такого подхода заключается в хорошей совместимости компонентов, а именно каучуковой и фенольной фаз, а также в исключение из состава композита разупрочняющих металл контактных компонентов, в частности, серы.

Цель работы: изучение процесса вулканизации каучука фенолоформальдегидными смолами различного типа.

Для исследования использовали масло- и бензостойкий бутадиен-нитрильный каучук, фенолоформальдегидную смолу новолачного типа (Н) и фенолоформальдегидную смолу резольного типа (Р), и два растворителя: этилацетат (ЭА) и метилэтилкетон (МЭК). Дополнительно были применены катализатор и ускорители вулканизации.

Были разработаны три группы составов связующего: на основе каучука и смолы новолачного типа, каучука и смолы резольного типа, каучука и смеси смол. Изготовление составов осуществляли методом растворения отдельных компонентов и последующем их смешиванием друг с другом. После смешивания, каждый состав помещали в открытые металлические формы и подвергали ступенчатому нагреву до температуры 140°C в течение 5 часов.

Структурные изменения в исследуемых системах изучали методами ИК спектроскопии (ИК-Фурье спектрометр Nicolet 5700), динамического механического анализа (DMA Q600), а также набуханием в бензине. Метод ДМА позволяет получить информацию об изменении механических характеристик под действием динамической нагрузки и контролируемой температуры. Измерения проводили на различных частотах, что позволяет характеризовать вибродемпфирующие свойства материала. Прохож-

дение реакции определяли по снижению интенсивностей пиков характерных групп исходных компонентов. По результатам ИК спектроскопии взаимодействие между каучуком и смолами было обнаружено для образцов, составы которых представлены в табл. 1.

Таблица 1. Составы образцов, подготовленных с использованием смол, катализатора и добавок

№	Растворитель	Смола, масс. %	Катализатор, масс. %	Ускорители реакции, масс. %
1	МЭК	Н, 50	—	—
2	ЭА	Н, 50	5	—
3	МЭК	Р, 50	5	—
4	МЭК	Р, 50	5	5
5	ЭА	Н, 25 + Р, 25	—	—
6	ЭА	Н, 25 + Р, 25	5	—
7	МЭК	Н, 25 + Р, 25	5	—
8	МЭК	Н, 25+Р,25	5	5

Установлено, что вулканизация каучука фенолоформальдегидными смолами проходит по механизму Ван-дер-Меера, согласно которому образование поперечных связей происходит с отщеплением атома водорода от метиленовой группы, находящейся в молекуле каучука в аллильном положении [5]. Предполагается, что составы, в которых прошла реакция вулканизации, обладают хорошими механическими и химическими свойствами. Для сравнения показателей был приготовлен образец на основе каучука и серы, в котором массовая доля серы составила 4% от массы каучука.

Экспериментально показано, что наилучшими механическими свойствами обладают составы на основе БНК и резольной смолы, а также смеси смол в метилэтилкетоне. Данные образцы имеют более высокое значение механических характеристик, чем базовый состав с серой и другие исследуемые смеси. Результаты динамического механического анализа приведены в табл. 2.

Таблица 2. Значение модуля упругости (МПа) смесей на различных частотах в зависимости от температуры

Частота, Гц	1				10			
Т, °С	40	100	160	180	40	100	160	180
Номер образца								
3	19	15	12,5	12,2	23	18	15	14
7	28	15	12	10	32	21	13	12
8	120	70	40	35	140	80	50	40
Сера 4%	2,7	1,2	0,5	0,5	3,5	2	1	1

Установлено, что каучук, вулканизированный фенолоформальдегидными смолами, обладают более высокой стойкостью к действию углеводородных неполярных растворителей, например, степень набухания составов на основе БНК и ФФС на 7–13 % ниже, чем для образца на основе каучука и серы (табл. 4).

Таблица 4. Набухание образцов в бензине в течение 20-ти суток

Номер образца	Сера 4 %	3	7	8
Степень набухания, масс. %	50,0	42,86	37,5	40,0

Таким образом, вулканизация бутадиен-нитрильного каучука фенолоформальдегидными смолами является перспективным методом получения прочной и формостабильной полимерной матрицы высоконаполненных фрикционных материалов.

Литература:

1. Кноп А., Шейб В. Фенольные смолы и материалы на их основе. — М.: Химия, — 1983, — С. 54–65.
2. Гармонов И.В. Синтетический каучук. — Л.: Химия.—1976. — С. 450.
3. Аверко-Антонович Л.А. и др. Химия и технология синтетического каучука / Л.А. Аверко-Антонович, Ю.О. Аверко-Антонович, И.М. Давлетбаева, П.А. Кирпичников. — М.: Химия, КолосС.— 2008. — 357 с.
4. A. Saffar, A. Shojaei. Effect of rubber component on the performance of brake friction materials. / Wear. — V. 274. — 2012. — P. 286–297.
5. Van der Meer S./ The Vulcanization of Rubber With Phenol Formaldehyde Derivatives. / Recueil des Travaux Chimiques. — V. 63,— 1944. — P. 147.

ПОРИСТОЕ МЕТАЛЛ-ПОЛИМЕРНОЕ ПОКРЫТИЕ

А.В. Смирнов, И.В. Синёв, И.Д. Осыко

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского,
Саратов, Российская Федерация*

Изменение состава композитов на основе полимерной матрицы наполненной металлическими микрочастицами позволяет в широком диапазоне управлять акустическими свойствами такого материала [1, 2]. Это позволяет применять их в качестве демпфирующих и согласующих покрытий, а также в качестве сенсорных слоев в приборах, работающих на поверхностных волнах [3–4]. Применение полимерных слоев в биосенсорах требует высокой адсорбционной способности их поверхности по отношению к биологическим объектам. Одним из эффективных способов управления адсорбционной способностью является обработка поверхности в плазме [5–7].

В данной работе представлен метод формирования пористого металлополимерного композиционного покрытия на основе полистирола и вольфрама, перспективного для применения в качестве сенсорного слоя в акустических биодатчиках. Показано, что обработка в аргоновой плазме приводит к увеличению шероховатости поверхности и проявлению микродоменной структуры.

Методика эксперимента.

В качестве материала наполнителя использовался порошок вольфрама со средним размером частиц 0,9 мкм производства Кировградского завода твёрдых сплавов. В качестве материала матрицы использовался полистирол марки 500 производства ОАО «Нижекамскнефтехим». Исходный материал, представленный гранулами со средним размером 4 мм, измельчался посредством многостадийной обработки в планетарной микромельнице (Fritsch, Germany), средний размер полученного порошка составил 2,5 мкм. Далее порошки перемешивались с добавлением CCl_4 . Полученная смесь наносилась на пластину монокристаллического кремния путем набрызгивания через маску с помощью аэрографа. После нанесения поверхность высушивалась в потоке воздуха. Модифицирование поверхности образцов проводилась в плазме высокочастотного (ВЧ) разряда в камере вакуумной установки ORION-40T (VTC, Южная Корея). Образец располагался на мишени магнетрона в зоне эрозии. Вскрытие пор осуществлялось посредством травления в разряде кислорода, при мощности разряда 200 Вт и времени обработки 120 с. Модифицирование внутренней поверхности пор осуществлялась аргоновой плазме при мощности разряда 100 Вт и времени обработки 10 с. Расход кислорода и аргона составлял 50 и 100 мл/мин соответственно. Морфологический анализ проводился с использованием электронного растрового микроскопа Mira II (Tescan, Чехия).

Результаты и обсуждение.

На рисунке 1 представлена микрофотография скола полученной плёнки. Фотография получена в двух режимах: SE-вторичных электронов и BSE-отражённых электронов. BSE режим позволяет определить наличие включений микрочастиц вольфрама. Толщина плёнки составляет 160 ± 20 мкм на длине скола 10 мм. Объём плёнки представлен изолированными пораами схожими по форме и размеру. Процесс образования пор можно объяснить быстрым испарением растворителя с поверхности пленки и её отвердеванием. При этом в объеме пленки продолжает оставаться большое количество растворителя. В дальнейшем испарение растворителя приводило к уменьшению объема полимерной матрицы и образованию пор.

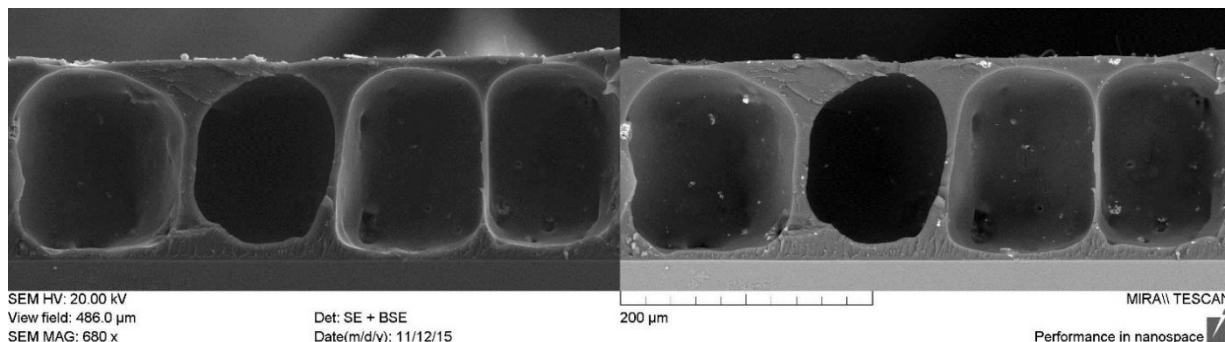


Рис. 1. Микрофотография скола образца полученного композиционного покрытия.
Слева в режиме SE, справа BSE.

На рисунке 2 представлено изображение внутренней поверхности пор после их модифицирования в плазме аргона. Поверхность представлена цепочечными микродоменными структурами. Травление в плазме аргона, вероятно, способствовало удалению материала с меньшей плотностью выявляя структуру объёма. Ширина пор на поверхности колеблется в пределах от 100 до 350 нм.

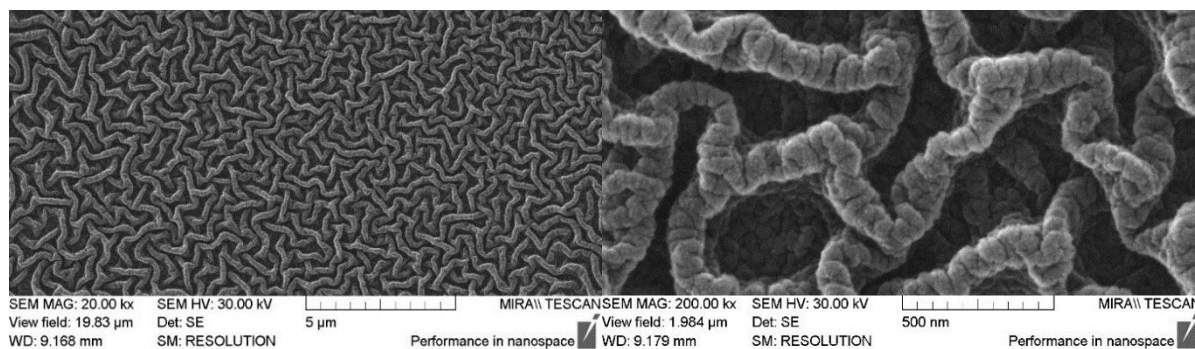


Рис. 2 Микрофотографии внутренней поверхности пор
после обработки в плазме аргона при разном увеличении

Таким образом, представленная технология позволяет формировать металл-полимерное композиционное покрытие, имеющее перспективы применения в качестве сенсорного слоя в акустических датчиках биологических объектов. Например, для экспресс анализа микробиологической обстановки проточных вод. Возможность изменения количества металлического наполнителя позволяет изменять акустические свойства материала и подбирать необходимые параметры композиционного покрытия. Субмикронный размер пор обеспечивает иммобилизацию в них бактериофагов, размер которых варьируется в пределах от 20 до 200 нм (в зависимости от штамма), тогда как наличие глубоких пор позволит снизить вероятность вымывания фагов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-00633 мол_а, № 16-07-00821 и при поддержке Совета по грантам Президента РФ (СП-677.2015.4)

Литература:

1. Ремпель А.А. Нанотехнологии, свойства, и применения наноструктурированных материалов // Успехи химии. 2007. № 76. Т.5. С. 474–500.
2. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология / под ред. Берлина А.А. СПб: ЦОП Профессия, 2011. 560 с.
3. Akdogan E.K., Allahverdi M., A.Safari, Piezoelectric Composites for Sensor and Actuator Applications // IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control. – 2005(52).– №5.– p.746–775.
4. Смирнов А.В., Синёв И.В., Шихабудинов А.М Акустические свойства композита 0-3 на основе вольфрама и полистирола // Журнал радиоэлектроники, № 12, 2012. С.13.
5. Paul Kah, Raimo Suoranta, Jukka Martikainen, Carl Magnus. Techniques for joining dissimilar materials: metals and polymers // Rev.Adv.Mater.Sci. – 2014(36), С. 152–164.
6. Смирнов А.В., Синёв И.В. Капсулирование микрочастиц вольфрама в полистирол // Тезисы докладов международной научно-технической конференции — Гомель: ИММС НАНБ, 2015. С. 172.
7. Osada Y., De Rossi D.E.(ed.). Polymer sensors and actuators.—Springer Science&Business Media, 2013. — 420 p.

МИКРОСТРУКТУРА ТОНКИХ ПЛЕНОК $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ НА ГИБКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОДЛОЖКАХ

А.В. Станчик¹, С.А. Башкиров¹, В.А. Филипеня², К.А. Уразов³

¹Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению, Минск, Беларусь; alena.stanchik@bk.ru

²«Белмикросистемы» ОАО «ИНТЕГРАЛ», Минск, Беларусь

³Казахстанско-Британский технический университет, Алматы, Республика Казахстан

Благодаря своим оптическим и электрическим свойствам полупроводниковый материал $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ (CZTSe) является перспективным для использования в качестве поглощающего слоя в тонкопленочных фотопреобразователях (ТФП). Использование гибких металлических подложек позволяет расширить возможности использования ТФП в промышленной и космической отрасли из-за их легкого веса, гибкости, высокой удельной мощности, а также радиационной стойкости [1]. Целью данной работы является исследование фазового, элементного состава и морфологии тонких пленок CZTSe на гибких подложках (молибденовая (Mo) и танталовая (Ta) фольги).

Тонкие пленки CZTSe получены путем селенизации электрохимически осажденных прекурсоров Cu-Zn-Sn. Прекурсоры Cu-Zn-Sn послойно осаждались с последовательностью слоев Cu/Sn/Cu/Zn. Предварительный отжиг прекурсоров Cu-Zn-Sn проведен в атмосфере 95 % Ar+5 % H₂ при температуре 350 °C в течение 30 мин. Селенизацию отожженных прекурсоров Cu-Zn-Sn проводили при температуре 580 °C [2]. Фазовый состав материалов исследовался на дифрактометре Rigaku Ultima IV на излучении CuK_α ($\lambda=1.5418 \text{ \AA}$). Анализ фазового состава производился с использованием базы Joint Committee on Powder Diffraction Standard и Crystallography Open Database. Морфологию поверхности пленок CZTSe исследовали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на электронном микроскопе Hitachi S-806. Элементный состав пленок определяли методом рентгеноспектрального микроанализа (PCM) с помощью CAMECA SX-100.

Согласно данным PCM анализа пленок CZTSe атомное соотношение $[\text{Cu}/(\text{Zn}+\text{Sn})]$ составило для пленки на Mo подложке 0,93 и на Ta подложке— 0,69. Рентгеноспектральные исследования показали, что в составе осажденных прекурсоров Cu-Zn-Sn, наряду с фазами Cu, Sn и Zn, присутствуют также интерметаллические фазы $\gamma\text{-Cu}_5\text{Zn}_8$, $\eta\text{-Cu}_{6,26}\text{Sn}_5$ и $\epsilon\text{-CuZn}_5$ (рис. 1а, 2а). Предварительный отжиг электроосажденных прекурсоров Cu-Zn-Sn в восстановительной атмосфере приводит к образованию новой фазы $\beta\text{-Cu}_3\text{Sn}$, увеличению интенсивности дифракционных пиков фаз $\gamma\text{-Cu}_5\text{Zn}_8$, $\eta\text{-Cu}_{6,26}\text{Sn}_5$ и уменьше-

нию интенсивности чистого Sn (рис. 1б, 2б). Результаты рентгеновского исследования селенизированных прекурсоров Cu-Zn-Sn указывают на формирование поликристаллической пленки CZTSe (рис. 1б, 2б). На рентгенограммах пленок CZTSe в обоих случаях (на Mo и Ta фольге) присутствуют пики основной фазы $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$, а также MoSe_2 или TaSe_2 (на соответствующих подложках) и ZnSe . На рентгенограмме пленки CZTSe на Ta-фольге присутствует также рефлексы низкой интенсивности от фазы CuSe .

Из представленных СЭМ-изображений пленок CZTSe (рис.3) видно, что происходит формирование различных морфологий в зависимости от элементного состава. Установлено, что для пленок с стехиометрическим соотношением металлов (~ 1) формируется мелкозернистая структура с наличием единичных крупных зерен (рис. 3а), а в случае обедненных медью – крупнозернистая структура (рис. 3б), что согласуется с работами [3–4].

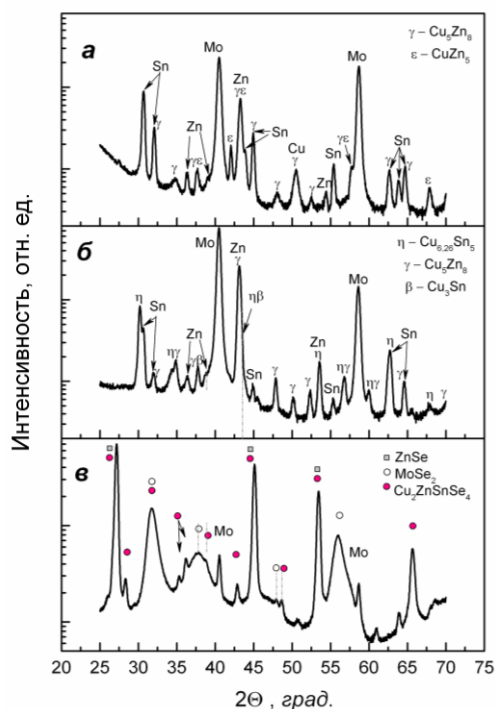


Рис. 1. Рентгенограммы Cu-Zn-Sn прекурсоров (а – осажденных, б –предварительно отожженных) и CZTSe пленок (в) на Mo-фольге

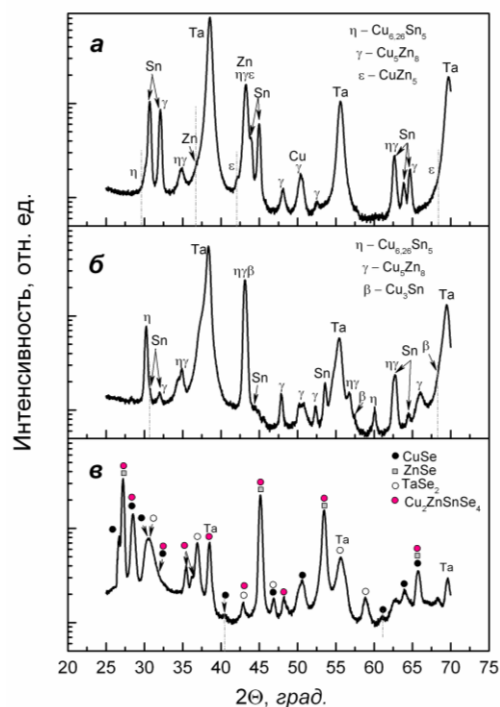


Рис. 2. Рентгенограммы Cu-Zn-Sn прекурсоров (а – осажденных, б –предварительно отожженных) и CZTSe пленок (в) на Ta-фольге

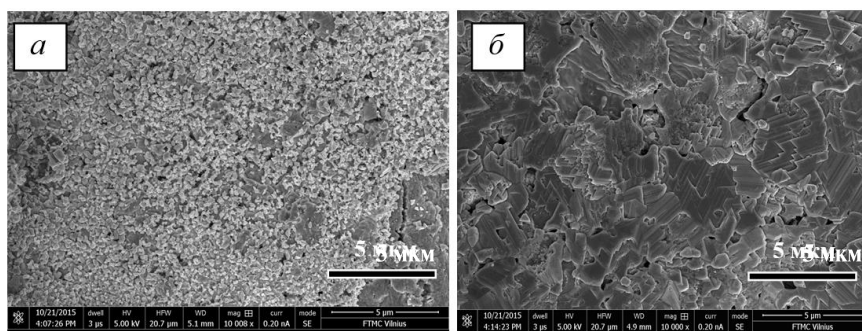


Рис. 3. СЭМ-изображения CZTSe пленок на Mo (а) и Ta (б) фольге

Таким образом, показано, что тонкие пленки CZTSe полученные путем селенизации электрохимически осажденных прекурсоров Cu-Zn-Sn на гибких металлических подложках из Mo и Ta фольги обладают поликристаллической структурой. Установлено, что фазовый состав и морфология пленок CZTSe зависят от соотношения металлов в пленке.

Работа выполнена при поддержке ГПНИ «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии» (Задание 1.06) и МОН Республики Казахстан (грант №0200/ГФ4).

Литература:

1. Green M.A., Emery K., Hishikawa Y., Warta W., Dunlop E.D. Solar cell efficiency tables (version 47) // Prog. Photovolt: Res. Appl. — 2016 (24), 3–11.
2. Башкиров С.А., Гременок В.Ф., Станчик А.В., Тиванов М.С. Микроструктура электроосажденных прекурсоров Cu-Zn-Sn для солнечных элементов на основе $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ // XXVI-й Российский симпозиум по растровой электронной микроскопии и аналитическим методам исследования твердых тел. — 2016, 46–47.
3. Xie H., Dimitrievska M., Fontane X., Sanchez Y., Lopez S., Izquierdo V., Bermudez V., Perez A., Saucedo E.. Formation and impact of secondary phases in Cu-poor Zn-rich $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_{1-y}\text{Se}_y)_4$ ($0 \leq y \leq 1$) based solar cells // Solar Energy Materials & Solar Cells. — 2015 (140), 289–298.
4. Yoo H., Kim J.H.. Growth of $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ thin films using sulfurization of stacked metallic films // Thin Solid Films. — 2010 (518), 6567–6572.

РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧНОГО АНТИПИРЕНА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ПОНИЖЕННОЙ ГОРЮЧЕСТИ

В.В. Тимошенко¹, А.М. Валенков¹, Д.Л. Подобед²

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

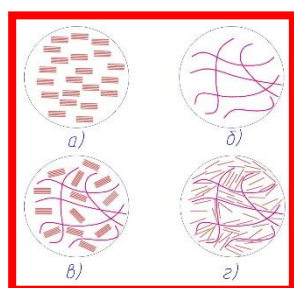
²*Гомельский филиал УО «Университет гражданской защиты МЧС Беларуси»,
Гомель, Беларусь; F_Heart_@tut.by*

Проблема снижения пожарной опасности полимерных и композиционных материалов нашла отражение не только в ужесточении требований к их горючести в процессе производства, эксплуатации и переработки, но и в их экологичности [1].

Существует три основных направления снижения пожарной опасности полимеров: синтез малогорючих базовых полимеров, химическая и физическая модификация полимеров, применение замедлителей горения (антипиренов). Первое направление реализуется в полимерах двух типов. К первому относятся полимеры, при термодеструкции которых образуются негорючие газы (фтор-, хлор-, азот-, кремнийсодержащие полимеры). Ко второму типу относят высокотермостойкие гетероциклические полимеры (полисульфоны, полифениленсульфоксиды, полиимиды и т.п.). Второе направление основано на химической и физической модификации карбоцепных полимеров путем, например, проведения реакций хлорирования (бромирования) или обработкой поверхности полимера каким-либо энергетическим источником. Однако высокая стоимость затрат на организацию производства новых негорючих полимеров или разработку технологий модифицирования ограничивает области их практического использования. Кроме того, поскольку полиолефины не содержат функциональных групп, возможности их химической модификации существенно ограничены. В связи с этим наиболее эффективным способом снижения горючести полимерных материалов остается третье направление — применение специальных добавок — антипиренов, которые вводятся в расплав полимера на стадии изготовления композита в концентрации до 60 % (масс.) и выше.

Применение того или иного антипирена зависит от его дополнительных характеристик [2]. Обычно используются комбинации антипиренов, обладающие синергическим эффектом. Но в итоге проблема выбора антипирена сводится к решению задачи оптимального сочетания параметров «экологичность — эффективность — цена — совместимость».

В настоящее время в области снижения горючести полимеров активно развивается направление, связанное с разработкой композитов наполненных высокодисперсными частицами. Структура полимера, модифицированного добавками наноразмерной органоглины, приведена на рис. 1.



- а – слоистая структура бентонита;
 б – структура макромолекул полимера;
 в – структура композита с неинтеркалированным бентонитом;
 г – структура композита с интеркалированным бентонитом

Рис. 1. Структура полимера, модифицированного добавками органоглины

Полимерные композиты как новейший тип функциональных материалов особенно востребованы в последнее время в самых разнообразных отраслях применения пластмасс, что является следствием проявления неординарных свойств, обусловленных наноразмерностью их компонентов [3]. Так посредством получения композитов с использованием слоистых силикатов удается улучшить термическую стабильность полимеров и придать им относительную стойкость к горению. Это является радикальным путем решения проблемы снижения горючести полимеров при использовании антипиренов, который не приводит к существенному загрязнению окружающей среды.

В рамках выполнения диссертационных работ проводятся исследования по получению органоглин из слоистых силикатов и использованию их в качестве антипиренов для различных полимерных материалов. В качестве основы антипирена применяется бентонитовая (кальцевая) глина отечественного происхождения, состав которой приведен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав бентонитовой глины (масс. %)

SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Др.
58	30,68	6,63	3,12	1,14	0,43

Для обеспечения совместимости с полимерной матрицей проводилось ее модифицирование. В качестве модификатора применяются soapстоки жирных кислот, являющиеся промежуточным продуктом жировых производств Республики Беларусь (ТУ 10-04-02-80-91). Основной процесс технологии получения органоглин заключался в диспергировании глины в планетарной мельнице в присутствии добавок soapстока и расसेве материала. Полученный антипирен дисперсностью 40–100 мкм вводился в состав полимерного композита в процессе экструзионной переработки. В ходе эксперимента определялось оптимальное содержание антипирена. Образцы полимерных лент толщиной 1–3 мм с добавками полученного антипирена получали на технологическом экструзионном оборудовании.

Анализ полученных результатов исследований показал возможность снижения горючести полимерных материалов с использованием разработанных антипиренов. Это позволит заменить галогенпроизводные антипирены, являющиеся эффективными, но высокотоксичными веществами и составит альтернативу наиболее масштабно используемым гидроксидам алюминия и магния, которые ухудшают механические свойства полимеров, а также расширить области применения полимерных и композиционных материалов.

Литература:

1. Валетндинов, Р.И. Перспективные антипирены на основе фосфористого водорода. Межвуз. Сб. науч. Тр. Горючесть полимерных материалов / Валетндинов, Р.И. – Волгоград, 1987. – С.43–56.
2. Карлик, В.М., и др. Состояние и перспективы развития работ по антипиренам. Тез. док. V Все-союз. совещ., Саки, 1981. Черкасы, 1981. – 42 с.
3. Бобрышева С. Н., Буякевич А. Л., Боднарчук В. Б., Кашлач Л. О. Дисперсные системы в технологиях предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций./ ЧС: образование и наука, №1(6), 2011, – С.59–68.

РАЗРАБОТКА НОВЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИНТЕРЬЕРОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

А.С. Тулейко, С.Н. Бухаров

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

В настоящее время звукопоглощающие композиты на основе льняных и полимерных волокон являются основным материалом, используемым ведущими мировыми производителями автомобилей в качестве вибро- и шумопоглощающих деталей интерьеров и подкапотного пространства машин. В РФ и РБ для этих целей используются жесткие или вспененные пластики, которые обладают весьма низкими звукопоглощающими и динамическими характеристиками, а также экологическими показателями.

Эффективное звукопоглощение в кабинах автотракторной техники существенно снижает уровень шума, оказывающего вредное влияние на организм человека, и уменьшает утомляемость водителя и пассажиров. Одним из требований, предъявляемых к конструкции кабин автотранспорта, тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин, является достаточная обзорность, что определяет высокую степень остекления кабины и уменьшение площади звукопоглощающих конструкций. Этим обуславливается необходимость повышения звукопоглощающих свойств шумопонижающих деталей интерьера кабины в широком диапазоне частот.

В рамках настоящей работы разработаны звукопоглощающие композиционные материалы на основе льняных и полимерных волокон и изделия из них (шумопонижающие панели) для интерьеров тракторов «Беларус» (модели: 923.6, 2022, 1522, 1523, 3022, 3522). Основные физико-механические и виброакустические характеристики разработанных материалов представлены в таблице 1.

На основании результатов исследования динамических механических характеристик оптимизированы составы композитов и отработаны технологические режимы получения прессованных изделий (деталей интерьера) из них. Показано, что наилучшие механические показатели в части конструкционной жесткости и демпфирующей способности обеспечивает комбинированная двухслойная структура из композитов LPPV (лён+полипропиленовое волокно) и LBKV (лён+би-компонентное полиэфирное волокно). Динамический модуль упругости данного композита во всем диапазоне эксплуатационных температур в сравнении с известными зарубежными аналогами выше в 3,2–4,6 раза.

Для исследования частотных зависимостей коэффициентов звукопоглощения и звукоизоляции многослойных структур применен разработанный в ИММС НАН Беларуси программный пакет и экспериментальное оборудование производства компании Брюль и Кьер. Проводилось численное моделирование многослойных шумопонижающих конструкций интерьера, включающих каркасный (прессованный), звукопоглощающий (непрессованный) и декоративно-защитные слои из разработанных композитов на основе льняных и полимерных волокон.

В отделе ИММС НАН Беларуси, аккредитованном на соответствие требованиям СТБ ИСО/МЭК 17025 в области виброакустических измерений, проведены опытно-полевые испытания (ходовые) колесного трактора «Беларус 1523В» в части определения уровня внутреннего шума на рабочем месте водителя. Измерения шума проведены в соответствии с ГОСТ 12.1.050-86 «Методы измерения шума на рабочих местах» с установленными в кабине трактора серийными деталями интерьера, а также установленными взамен серийных деталей опытными образцами деталей обшивки его колесных ниш (деталь МТЗ 2522П 670233-02), изготовленных в ОДО «Полидрев» (г. Гомель) из разработанных в ИММС НАН Беларуси звукопоглощающих композитов ВК-4 и ВК-7 на основе льняных и полимерных волокон производства ОАО «Белфа» (г. Жлобин).

Таблица 1. Основные физико-механические и виброакустические характеристики разработанных композиционных материалов

№	Наименование показателя	ТНПА на методы испытаний	Значение показателя
1	Поверхностная плотность, кг/м ²	ГОСТ 3811	0,60–1,3
2	Коэффициент теплопроводности, Вт/мК	СТБ 1618	0,038–0,041
3	Разрывная нагрузка, Н: по длине по ширине	ГОСТ 15902.3	117–188 80–123
4	Неровнота по массе, %, не более	ГОСТ 15902.2	10
5	Нормальный коэффициент поглощения (α_0) в диапазоне частот 500–2000 Гц	СТБ 1438	0,55–0,95
6	Коэффициент механических потерь	СТБ 1438	0,110–0,144
7	Огнеопасность	ГОСТ 30879	неогнеопасный
8	Грибостойкость, балл	ГОСТ 9.0824	1

По результатам ходовых акустических испытаний определены уровни снижения шума на рабочем месте водителя в кабине трактора при применении разработанных материалов. Установлено, что при выполнении трактором транспортной работы (движение с постоянной максимальной скоростью на 4-й передаче) в кабине с серийной шумоизоляцией уровень шума на рабочем месте водителя не соответствует требованиям действующих нормативов (ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН от 16.11.2011 № 115) к уровню шума на рабочих местах. Превышения предельно допустимых уровней шума в октавных полосах частот составляют: 125 Гц – 2 дБ, 250 Гц – 2 дБ, 500 Гц – 3 дБ, 1000 Гц – 5 дБ, по уровню звука – 3 дБА. Результаты измерений в кабине с установленными взамен серийных деталей опытными образцами деталей обшивки колесных ниш из звукопоглощающего композита ВК-4 показали снижение уровней шума на 3–5 дБ в октавных полосах частот в диапазоне 500–2000 Гц. Уровень шума на рабочем месте водителя в кабине с установленными опытными образцами деталей интерьера соответствует требованиям ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН от 16.11.2011 № 115.

Экологические преимущества разработанных композитов заключается в отсутствии канцерогенной и токсичной пыли с острыми краями при разрыве, изгибе, растрескивании конструкций; в возможности вторичной переработки и отсутствии санитарных ограничений по использованию для технических нужд; в повышении комфорта за счет низкой теплопроводности материала; в отсутствии каких-либо вредных или токсичных летучих веществ при лучевом и конвективном нагреве. Основным преимуществом является частичная биоразлагаемость разрабатываемых композитов и переход материала из объемной монолитной в сыпучую волокнистую форму, что также существенно упрощает его утилизацию.

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ СМЕСЕВЫХ ОТХОДОВ ПОЛИМЕРОВ

Е.З. Хрол, А.Ф. Петрушеня

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

Цель. Отходы полимерных материалов зачастую утилизируются неэффективно — путем захоронения на полигонах. Таким образом, например, утилизируется часть смесевых полимерсодержащих отходов, образующихся в ОАО «Белцветмет» в результате измельчения аккумуляторных батарей. В работе была поставлена задача разработки композиционных материалов, содержащих такие неперерабатываемые полимерсодержащие отходы, из которых можно было бы получать новую продукцию. Это позволит не только достичь экономического эффекта, но и снизить степень воздействия предприятия на окружающую среду.

Материалы и методы.

В качестве объектов исследования в работе использовались смесевые полимерсодержащие отходы, получаемые при измельчении аккумуляторных батарей. Такие отходы можно разделить на две группы: отходы, получаемые при измельчении корпусов аккумуляторных батарей (КАБ); отходы, получаемые при измельчении внутренних компонентов батарей (ПОАБ). Состав отходов двух указанных типов и перспективы использования их для производства изделий неответственного назначения были оценены ранее [1, 2]. Были проанализированы также физико-механические свойства композиций, полученных на базе этих отходов [3, 4]. Было выявлено, что приемлемыми характеристиками обладают композиции на основе КАБ, содержащие до 20 мас.% ПОАБ. Такие композиты могут использоваться для целей формования новых изделий технического назначения.

На следующем этапе была поставлена задача повышения эксплуатационных характеристик композитов за счет их модифицирования. В качестве модифицирующих добавок в работе использовались термостабилизатор ПО АО-11 (ОДО «Поликонта») и меловая добавка EFPP 1001 (ОДО «Поликонта»), которые вводились в полимерные композиции в количестве 3 и 5 мас. %. Сравнение композитов в работе проводилось по таким характеристикам, как предел прочности при растяжении, относительное удлинение при разрыве и твердость по Шору (шкала *D*). Образцы для проведения испытаний получались методом литья под давлением на термопластавтомате Kuasy 60/20. Эффективность термостабилизатора в композиционных материалах оценивалась по степени сохранения прочностных характеристик материала после ускоренного термического старения.

Результаты и их обсуждение.

В результате проведения исследований было выявлено, что при введении в полимерные композиционные материалы модифицирующих добавок их прочностные характеристики сохраняются на приемлемом уровне (табл. 1). Кроме того, композиции, содержащие в своем составе термостабилизатор, сохраняют свои характеристики даже после ускоренного старения при температуре 150 °С в течение 15 ч, 30 ч и даже 45 ч (табл. 2). Это говорит о том, что изделия, полученные из указанных композиций, смогут надежно эксплуатироваться в реальных условиях.

Таблица 1. Характеристики исследуемых композиций

№ композиции	Содержание ПОАБ, мас. %	Содержание меловой добавки, мас. %	Содержание термостабилизатора, мас. %	Предел прочности при растяжении, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Твердость по Шору (шкала <i>D</i>)
1	5	—	—	21,44	6,76	61,2
2	5	3	3	19,09	6,81	61,2
3	5	5	—	20,04	8,75	59,8
4	10	—	—	18,54	8,44	60,7
5	10	3	3	17,28	7,33	58,5
6	10	5	3	18,60	5,23	59,9

Таблица 2. Характеристики композиционных материалов после ускоренного старения (150 °С)

№ композиции	Прочность при растяжении после старения в течение 15 ч, МПа	Прочность при растяжении после старения в течение 30 ч, МПа	Прочность при растяжении после старения в течение 45 ч, МПа
1	16,23	17,67	16,94
2	15,92	16,59	17,26
3	14,31	16,66	16,85
4	17,51	15,40	18,69
5	14,41	16,35	16,51
6	14,13	14,81	15,37

Таким образом, предложенные композиции вполне могут использоваться для производства изделий технического назначения, к которым не предъявляется особенно жестких требований.

Литература:

1. Карпович О. И., Калинка А. Н., Спиглазов А. В., Мелюх Е. П. Перспективы использования смешанных полимерных отходов аккумуляторных батарей для формования изделий // Труды БГТУ. Химия, технология органических в-в и биотехнология. — 2012 (151), № 4, С. 3–6.
2. Карпович О. И., Ревяко М. М., Хрол Е. З., Дубина А. В. Состав и структура полимерсодержащих отходов ОАО «Белцветмет» // Труды БГТУ. Химия, технология органических в-в и биотехнология. — 2015 (177), № 4. — С. 74–77.
3. Карпович О. И., Наркевич А. Л., Хрол Е. З., Петрушеня А. Ф., Поженко Я. И. Физико-механические свойства композиционных материалов на основе полимерсодержащих отходов, образующихся в ОАО «Белцветмет» // Труды БГТУ. Химия, технология органических в-в и биотехнология. — 2015 (177), № 4. — С. 78–82
4. Пучинская Е. П., Хрол Е. З., Петрушеня А. Ф. Вторичная переработка полимерсодержащих отходов // Сборник материалов шестьдесят девятой всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием — Ярославль, 20 апреля 2016 г. / Министерство образования и науки РФ [и др.]; редкол.: И.Г. Абрамов [и др.]. — Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2016. — Электронное издание — С. 929–933.

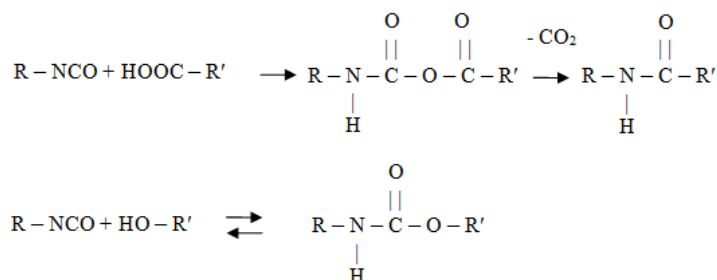
СМЕСИ ПОЛИАЛКИЛЕНТЕРЕФТАЛАТОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ В РАСПЛАВЕ ИЗОЦИАНАТНЫМИ УДЛИНИТЕЛЯМИ ЦЕПИ

В.В. Шевченко

*Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь;
mpri.shevchenko@gmail.com*

Полиалкилентеревфталаты (ПАТ) — полиэтилентеревфталат (ПЭТ), полибутилентеревфталат (ПБТ), полиэфирные термоэластопласты (ПТЭП), их смеси — при переработке из расплава могут подвергаться термо-, механо- и гидролитической деструкции, что негативно сказывается на их технологических и эксплуатационных свойствах. Одним из путей повышения стойкости полиэфирных материалов к деструкции является введение добавок удлинителей цепи (УЦ), в роли которых могут выступать изоцианаты. Поскольку для практического применения особый интерес представляют смеси ПАТ, отличающихся по структуре макромолекул, твердости и другим техническим характеристикам, было изучено влияние добавок УЦ на структуру и свойства смесей разнородных ПТЭП, а также ПБТ/ПТЭП и ПЭТ/ПБТ.

Изоцианаты потенциально могут относительно легко химически взаимодействовать в расплаве с концевыми гидроксильными (преимущественно) и карбоксильными группами, образуя амидные группы [1]:



Поскольку в структуре макромолекул ПБТ, ПЭТ и ПТЭП имеются однотипные концевые группы (—ОН и —СООН), то следует ожидать, что в расплавах их смесей могут протекать реакции удлинения

цепи не только между макромолекулами гомополимеров, но и перекрестные реакции с участием концевых групп разнородных макромолекул.

Одним из важных следствий реакций удлинения цепи полиэфиров, протекающих в расплаве, является повышение их молекулярного веса, в результате чего происходит снижение значений показателя текучести расплава (ПТР) полимера (рис. 1) или рост вязкости расплава и раствора.

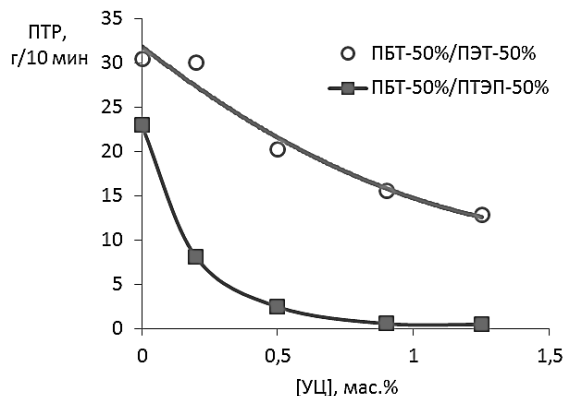


Рис. 1. Зависимость ПТР смесевых композиций от концентрации УЦ

По данным дифференциальной сканирующей калориметрии добавки УЦ оказывают сильное влияние на кристаллизруемость полиэфиров в смесях. Общей тенденцией независимо от типа полиэфира и фазовой структуры смеси является снижение температуры кристаллизации и степени кристалличности компонентов, вероятно, из-за ограничения молекулярной подвижности вследствие роста молекулярного веса полиэфиров и интенсификации межцепных взаимодействий.

УЦ оказывает сильное влияние на характер деформационных кривых при растяжении. При увеличении его концентрации повышаются значения верхнего и нижнего пределов текучести. Одновременно возрастает ударная вязкость по Шарпи на образцах с надрезом, в том числе в области отрицательных температур (при -40°C) [2].

Таким образом, используя малые количества добавок изоцианатных УЦ можно направленно влиять на молекулярную структуру комплекс технологических и эксплуатационных свойств полиэфирных смесей.

Литература:

1. Inata H, Matsumura S. Chain extenders for polyesters. I. Addition type chain extenders reactive with carboxyl end groups of polyesters // J Appl Polym Sci. — 1985 (30), 3325–3337.
2. Pesetskii S.S., Shevchenko V.V., Koval V.N. Effect of isocyanate chain extender on the structure and properties of the blends of poly(butylene terephthalate) and thermoplastic polyester elastomer // Journal of Thermoplastic Composite Materials — Published online May 13, 2016, doi 0892705716646419.

РАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ ФИЛЬТРУЮЩИХ ВОЛОКНИСТО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Шумская В. Ю., Калинин Л.А.

*Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси,
Гомель, Беларусь; viktoria-shumsk@mail.ru*

Практически в любом современном производстве и технологическом процессе присутствуют системы фильтрации, очистки и подготовки сырья и технологических продуктов. Огромная конкуренция на рынке фильтровальных материалов и оборудования требует разработки новой наукоемкой продукции, позволяющей поддерживать в оптимальном состоянии баланс «цена — качество».

Современные фильтрационные устройства используют известные материалы — сетки, ткани, бумагу, войлок, пористые материалы из металлических порошков, керамику и т.п. Традиционные фильтрующие материалы оптимизированы для фильтрации какой-либо одной фазы — либо твердых частиц, либо аэрозолей, либо паров жидкостей. Однако они малоэффективны в случаях разделения двух-трех фаз из потока жидкости или газа. Невозможно с их помощью и разделить, например, несмешивающиеся жидкости — воду и углеводородные топлива или масла. Для этой цели приходится использовать последовательно с фильтром силовые осадители (гравитационные, центробежные и т.п.), а это приводит к существенному возрастанию энергозатрат, материалоемкости и сложности оборудования. Невозможно традиционными фильтрующими материалами одновременно эффективно фильтровать даже твердые частицы в широком диапазоне размеров — 0,1...100 мкм.

В этой связи актуальной и важной научно-прикладной задачей является создание новых пористых полимерных материалов для эффективной очистки многофазных сред (дизтопливо, бензин — вода и механические примеси; воздух — туман масла, воды или кислоты и механические примеси и т.д.) и оборудования для их производства.

Целью работы было изучение фильтрующих свойств полимерных волокнисто-пористых материалов различных типов, отличающихся пористостью, морфологией и структурой.

Для изучения этого процесса была проведена серия экспериментов, моделирующих несколько важных для фильтрующих элементов процессов: самоочистку от загрязнителя и способность отсекаать и коалесцировать капельную влагу из газовой смеси.

Самоочистка фильтрующего элемента заключается в стекании масла по поверхности волокнисто-пористого материала и удаления загрязнителя из фильтрующего элемента.

Способность улавливать капельную влагу, заключается в придании материалу гидрофобных свойств и правильном расположении его в конструкции фильтрующего элемента.

Для изучения стекания масла исследовались образцы из иглопробивного арселенового материала «Филарс», синтепона на основе волокна из ПЭТФ, иглопробивного материала из ПЭТФ, волокнисто-пористого фторопласта «Грифтекс» и группы 5 видов волокнисто-пористых материалов (ВПМ) из полипропилена, полученных методом пневмоэкструзии (melt-blown) различной плотности и структуры. Для каждого материала предварительно определялась поверхностная плотность, толщина, пористость. Использовались масла: вакуумное марки ВМ-4 (ТУ 38.401-58-3-90), промышленное масло — И-20 (ТУ 0253-043-48120848-2005), турбинное — ТП-22 (ТУ У 23.2-30802090-015-2003).

Регистрировалась скорость движения масла как вдоль, так и поперек волокон ВПМ. Эксперименты проводились в одинаковых климатических условиях.

При изучении движения масла вдоль волокон ВПМ образец в течение 30 мин пропитывался в ёмкости с маслом. Заполненный маслом образец подвешивался на установленный на весах штатив и фиксировалась скорость убыли массы образца. Скорость протекания масла, поперек волокон, через слой ВПМ изучалась на ячейке в виде цилиндра высотой в 200 мм с перфорированной нижней частью, вокруг которой был, обернут слой ВПМ. Масло наливалось в ячейку до примерно постоянного уровня, а вытекающее масло собиралось в установленный на весах стакан.

Для изучения гидрофобных свойств волокнисто-пористых материалов был проведен модельный эксперимент, заключающийся в измерении высоты водяного столба, для материалов с различной толщиной гидрофобного слоя, который обеспечивался за счет нанесения слоя волокнисто-пористого материала «Грифтекс».

Установлено, что скорость вытекания масла из слоя носит экспоненциальный характер и зависит от поровой структуры материала и её устойчивости. Наиболее легко отдают масло жесткие материалы типа термоскрепленного полипропилена из относительно толстых волокон. Характерно, что по мере вытекания масла во всех образцах остается «масляная ванна», в которой практически все поры заполнены маслом, а ее высота зависит от поровой структуры и может колебаться от 10 до 100 мм. Мягкие

материалы, в которых волокна не скреплены между собой, при пропитывании маслом за счет действия капиллярных сил резко сжимаются, что приводит к существенному снижению пористости.

Установлено, что нанесение волокнисто-пористого материала «Грифтекс» позволяет в широких пределах варьировать гидрофобные свойства материала, добиваясь высоких водоупорных свойств (10...100 см водяного столба).

Таким образом, для эффективного функционирования, фильтрующий элемент, должен быть изготовлен из максимально жесткого ВПМ состоящего из скрепленных между собой волокон. Нанесение разных толщин волокнисто-пористого материала «Грифтекс», позволяет варьировать свойства гидрофобности фильтрующего материала. Полученные данные помогут разрабатывать фильтрующие элементы, обладающие оптимальными для каждого конкретного технологического процесса величинами ресурса и степени очистки.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФОТОЛЮМИНОФОРОВ НА ОСНОВЕ ИНДАТА ЛАНТАНА, ЛЕГИРОВАННОГО ИОНАМИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Е.К. Юхно, Л.А. Башкиров, М.И. Жданеня

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь; Palma-2010@yandex.ru

Твердые растворы на основе LaInO_3 , легированного ионами редкоземельных элементов Pr^{3+} , Sm^{3+} , Tb^{3+} , являются перспективными фотолюминофорами для изготовления светодиодов белого света. Однако ИК-спектры поглощения, тепловое расширение и термическая стабильность твердых растворов на основе индата лантана, обладающего фотолюминесцентными свойствами, исследованы недостаточно, хотя одним из важнейших требований к таким материалам является высокая термическая стабильность.

Твердофазным методом из оксидов La_2O_3 , In_2O_3 , Sm_2O_3 , Tb_2O_3 , Pr_6O_{11} , Sb_2O_3 получены твердые растворы $\text{La}_{0,98}\text{Sm}_{0,02}\text{InO}_3$, $\text{La}_{0,93}\text{Tb}_{0,07}\text{InO}_3$, $\text{La}_{0,977}\text{Pr}_{0,003}\text{Sm}_{0,02}\text{InO}_3$, $\text{La}_{0,92}\text{Sm}_{0,02}\text{Tb}_{0,06}\text{InO}_3$, $\text{La}_{0,917}\text{Pr}_{0,003}\text{Sm}_{0,02}\text{Tb}_{0,06}\text{InO}_3$, $\text{La}_{0,98}\text{Sm}_{0,02}\text{In}_{0,98}\text{Sb}_{0,02}\text{O}_3$, $\text{La}_{0,93}\text{Tb}_{0,07}\text{In}_{0,98}\text{Sb}_{0,02}\text{O}_3$, $\text{La}_{0,977}\text{Pr}_{0,003}\text{Sm}_{0,02}\text{In}_{0,98}\text{Sb}_{0,02}\text{O}_3$, $\text{La}_{0,92}\text{Sm}_{0,02}\text{Tb}_{0,06}\text{In}_{0,98}\text{Sb}_{0,02}\text{O}_3$, $\text{La}_{0,917}\text{Pr}_{0,003}\text{Sm}_{0,02}\text{Tb}_{0,06}\text{In}_{0,98}\text{Sb}_{0,02}\text{O}_3$. Рентгеновские дифрактограммы получали на дифрактометре D8 ADVANCED с использованием CuK_α -излучения. Инфракрасные (ИК) спектры в интервале волновых чисел $250\text{--}650\text{ см}^{-1}$ записывали на ИК-Фурье спектрометре NEXUS фирмы THERMO NICOLET. Тепловое расширение керамических образцов исследовали в интервале температур $400\text{--}1100\text{ К}$ при помощи кварцевого dilatометра. Кривые дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), термогравиметрического и дифференциального термогравиметрического анализов (ТГ, ДТГ) снимали на дериватографе TGA/DSC1/1600 фирмы METTLER TOLEDO Instruments (Швейцария) в статической воздушной атмосфере в интервале температур $300\text{--}1265\text{ К}$ при линейном режиме нагрева образцов со скоростью 10 град/мин .

Анализ рентгеновских дифрактограмм (рис. 1а) показал, что полученные керамические образцы твердых растворов на основе индата лантана LaInO_3 , легированного ионами Sm^{3+} , Pr^{3+} , Tb^{3+} , Sb^{3+} , имели кристаллическую структуру орторомбически искаженного перовскита. Образцы твердых растворов на основе LaInO_3 , легированного ионами Sm^{3+} , Tb^{3+} , парами ионов $\text{Pr}^{3+}\text{--}\text{Sm}^{3+}$, $\text{Sm}^{3+}\text{--}\text{Tb}^{3+}$, тремя ионами $\text{Pr}^{3+}\text{--}\text{Sm}^{3+}\text{--}\text{Tb}^{3+}$ (рис. 1а, кривые 1–5), были однофазными, а образцы твердых растворов на основе LaInO_3 , легированного ионами $\text{Sm}^{3+}\text{--}\text{Sb}^{3+}$, $\text{Tb}^{3+}\text{--}\text{Sb}^{3+}$, $\text{Pr}^{3+}\text{--}\text{Sm}^{3+}\text{--}\text{Sb}^{3+}$, $\text{Sm}^{3+}\text{--}\text{Tb}^{3+}\text{--}\text{Sb}^{3+}$, $\text{Pr}^{3+}\text{--}\text{Sm}^{3+}\text{--}\text{Tb}^{3+}\text{--}\text{Sb}^{3+}$ (рис. 1а, кривые 6–10), содержали примесную фазу LaSbO_3 . Так как концентрация легирующих ионов Pr^{3+} , Sm^{3+} , Tb^{3+} , Sb^{3+} в исследованных твердых растворах незначительная, то параметры кристаллической решетки для всех исследованных твердых растворов на основе индата лантана отличаются незначительно от параметров кристаллической решетки для LaInO_3 . Сравнение ИК-спектров всех полученных твердых растворов (рис. 1б) показывает, что в исследуемом интервале волновых чисел $250\text{--}650\text{ см}^{-1}$ они отличаются незначительно. На ИК-спектрах присутствуют полосы поглощения, обусловленные валентными колебаниями связей In (Sb)–O ($547\text{--}552\text{ см}^{-1}$, $491\text{--}494\text{ см}^{-1}$)

и La (Pr, Sm, Tb)—O ($387\text{--}397\text{ см}^{-1}$, $344\text{--}358\text{ см}^{-1}$). Введение в твердые растворы на основе LaInO_3 , легированного ионами Sm^{3+} , Tb^{3+} , парами ионов $\text{Pr}^{3+}\text{—}\text{Sm}^{3+}$, $\text{Sm}^{3+}\text{—}\text{Tb}^{3+}$, тремя ионами $\text{Pr}^{3+}\text{—}\text{Sm}^{3+}\text{—}\text{Tb}^{3+}$, дополнительно 2 мол. % ионов Sb^{3+} практически не оказывает влияния на значения минимумов полос поглощения валентных колебаний связей In (Sb)—O, при этом частоты валентных колебаний связей La (Pr, Sm, Tb)—O при $393\text{--}397\text{ см}^{-1}$ незначительно уменьшаются, а частоты валентных колебаний при $344\text{--}352\text{ см}^{-1}$ немного увеличиваются.

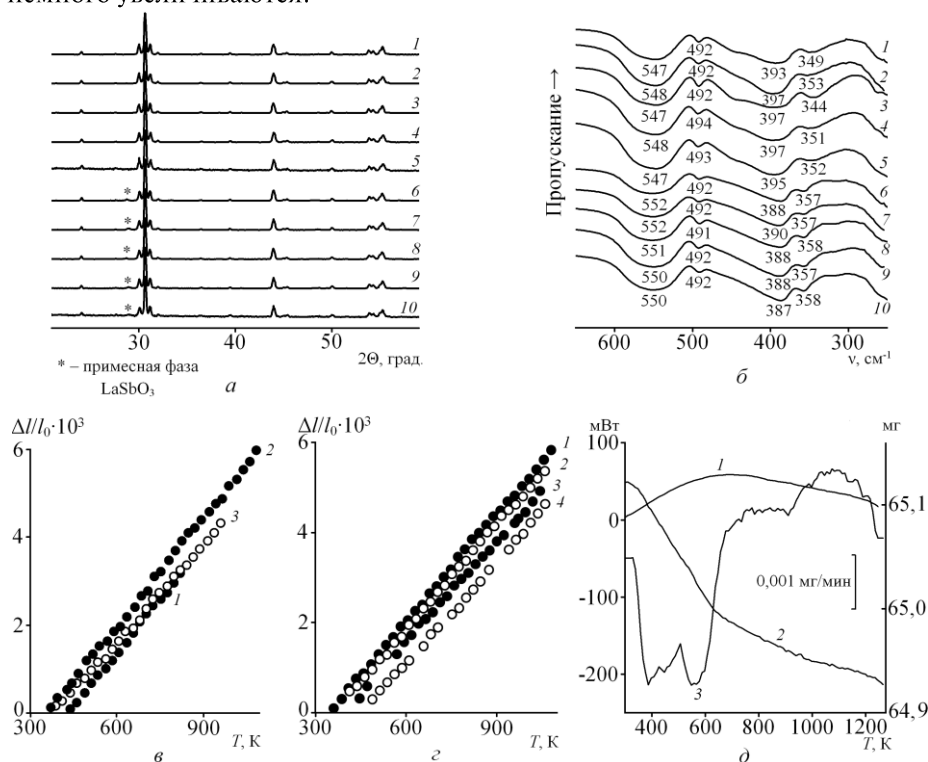


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы (а), ИК-спектры поглощения (б) твердых растворов $\text{La}_{0.98}\text{Sm}_{0.02}\text{InO}_3$ (1), $\text{La}_{0.93}\text{Tb}_{0.07}\text{InO}_3$ (2), $\text{La}_{0.977}\text{Pr}_{0.003}\text{Sm}_{0.02}\text{InO}_3$ (3), $\text{La}_{0.92}\text{Sm}_{0.02}\text{Tb}_{0.06}\text{InO}_3$ (4), $\text{La}_{0.917}\text{Pr}_{0.003}\text{Sm}_{0.02}\text{Tb}_{0.06}\text{InO}_3$ (5), $\text{La}_{0.98}\text{Sm}_{0.02}\text{In}_{0.98}\text{Sb}_{0.02}\text{O}_3$ (6), $\text{La}_{0.93}\text{Tb}_{0.07}\text{In}_{0.98}\text{Sb}_{0.02}\text{O}_3$ (7), $\text{La}_{0.977}\text{Pr}_{0.003}\text{Sm}_{0.02}\text{In}_{0.98}\text{Sb}_{0.02}\text{O}_3$ (8), $\text{La}_{0.92}\text{Sm}_{0.02}\text{Tb}_{0.06}\text{In}_{0.98}\text{Sb}_{0.02}\text{O}_3$ (9), $\text{La}_{0.917}\text{Pr}_{0.003}\text{Sm}_{0.02}\text{Tb}_{0.06}\text{In}_{0.98}\text{Sb}_{0.02}\text{O}_3$ (10); температурные зависимости относительного удлинения $\Delta l/l_0$ твердых растворов $\text{La}_{0.98}\text{Sm}_{0.02}\text{InO}_3$ (1), $\text{La}_{0.92}\text{Sm}_{0.02}\text{Tb}_{0.06}\text{InO}_3$ (2), $\text{La}_{0.917}\text{Pr}_{0.003}\text{Sm}_{0.02}\text{Tb}_{0.06}\text{InO}_3$ (3) (е); $\text{La}_{0.93}\text{Tb}_{0.07}\text{InO}_3$ (1), $\text{La}_{0.98}\text{Sm}_{0.02}\text{In}_{0.98}\text{Sb}_{0.02}\text{O}_3$ (2), $\text{La}_{0.977}\text{Pr}_{0.003}\text{Sm}_{0.02}\text{InO}_3$ (3), $\text{La}_{0.917}\text{Pr}_{0.003}\text{Sm}_{0.02}\text{Tb}_{0.06}\text{In}_{0.98}\text{Sb}_{0.02}\text{O}_3$ (4) (з); кривые ДСК (1), ТГ (2), ДТГ (3) для твердого раствора $\text{La}_{0.98}\text{Sm}_{0.02}\text{InO}_3$ (д)

Полученные dilatометрическим методом температурные зависимости относительного удлинения $\Delta l/l_0$ керамических образцов на основе LaInO_3 , легированного ионами Sm^{3+} , Pr^{3+} , Tb^{3+} , Sb^{3+} (рис. 1в, з), показывают, что в интервале температур $400\text{--}1100\text{ К}$ относительное удлинение при повышении температуры увеличивается практически линейно. Это указывает на отсутствие в исследованных твердых растворах каких-либо фазовых переходов в указанном интервале температур. По полученным температурным зависимостям относительного удлинения керамических образцов с использованием метода наименьших квадратов рассчитаны средние значения коэффициентов линейного теплового расширения этих образцов. Установлено, что из-за незначительного содержания ионов Sm^{3+} , Pr^{3+} , Tb^{3+} , Sb^{3+} в твердых растворах на основе индата лантана их коэффициенты линейного теплового расширения отличаются между собой незначительно и имеют значения $(7,34\text{--}8,53) \cdot 10^{-6}\text{ К}^{-1}$. На кривых ДСК (рис. 1д) для исследованных твердых растворов на основе индата лантана отсутствуют тепловые эффекты, что подтверждает вывод об отсутствии протекания в указанных образцах в исследованном интервале температур каких-либо фазовых переходов первого рода, сделанный на основании линейного характера температурных зависимостей относительного удлинения $\Delta l/l_0$ образцов. Общая потеря массы в интервале

температур 300–1265 К для всех исследованных образцов составляет не более 0,72 мас. %. Таким образом, в работе показано, что исследованные твердые растворы на основе индата лантана, легированного ионами Sm^{3+} , Pr^{3+} , Tb^{3+} , Sb^{3+} , в интервале температур 400–1100 К являются термостабильными, что свидетельствует о перспективности их использования в качестве фотолуминофоров для изготовления светодиодов белого света.

«ONE-POT» МЕТОД СИНТЕЗА ПОЛИАРИЛЕН-1,3,4-ОКСАДИАЗОЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИФЕНИЛ-4,4'-ДИКАРБОНОВОЙ КИСЛОТЫ

В.С. Ященко, В.К. Ольховик

Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь; Yashchenko-Vladimir@tut.by

Поли(1,3,4-оксадиазолы) (ПОД-полимеры) благодаря уникальному сочетанию механической прочности, термостабильности, гидролитической устойчивости и специфических оптических и электронных свойств продолжают активно изучаться. Они используются в производстве средств профессиональной защиты, материалов для фильтрации горячих газовых сред, термоизоляции, армирования резиновых и других композиционных материалов [1], изучается возможность их применения в электрооптических и электролюминесцентных устройствах [2].

Ранее нами было показано, что сополимеры поли(1,3,4-оксадиазол-2,5-ди- или-1,4-фенилена), содержащие в полимерной цепи 15...25 % фрагментов 5,5'-диоксидибензотиофенилена (ДБТ), обладают улучшенными физико-механическими характеристиками по сравнению с гомополимером на основе терефталевой кислоты, выпускаемого на предприятии ОАО «СветлогорскХимволокно» под маркой «Арселон®» [3]. Синтез этих ПОД-сополимеров проводился сополиконденсацией терефталевой (ТФК), 5,5'-диоксидибензотиофен-3,7'-дикарбоновой кислот и сульфата гидразина в олеуме при 120°C. Поскольку одним из методов получения 5,5'-диоксидибензотиофен-3,7'-дикарбоновой кислоты является взаимодействие бифенил-4,4'-дикарбоновой кислоты (БФДК) с олеумом, представлялось интересным изучить возможность совмещения процессов получения 5,5'-диоксидибензотиофен-3,7'-дикарбоновой кислоты и последующей поликонденсации с терефталевой кислотой (ТФК) и гидразин сульфатом в олеуме (разработать «one-pot» метод синтеза).

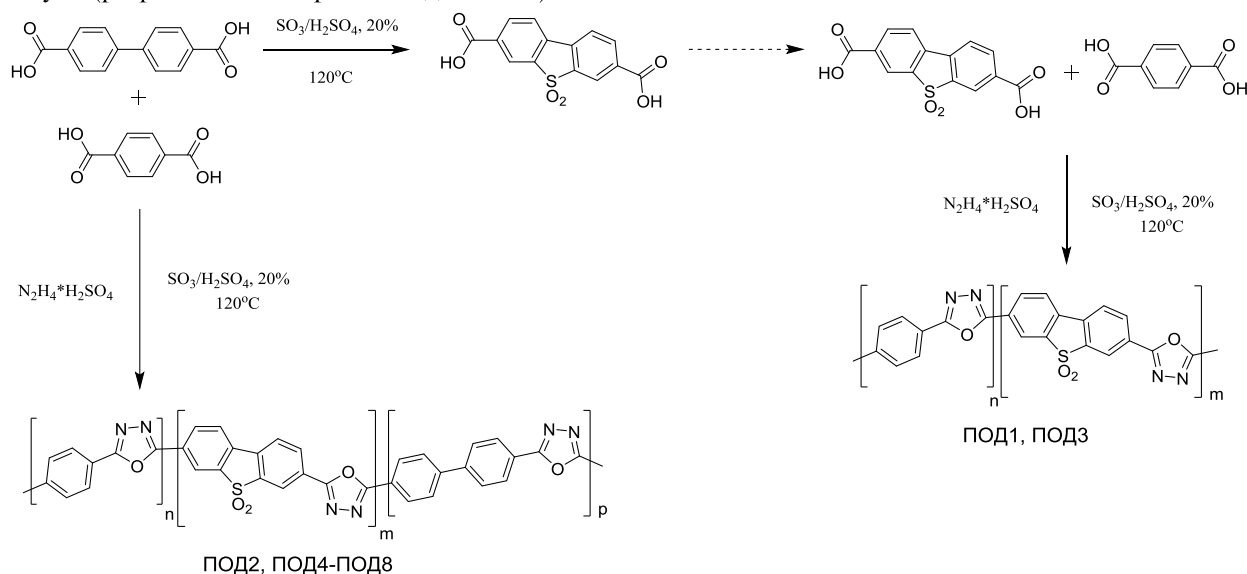


Рис. 1. Схема синтеза ПОД-полимеров на основе бифенил-4,4'-дикарбоновой кислоты

С этой целью отрабатывались два режима проведения поликонденсации. Первый — поликонденсация ТФК, БФДК и сульфата гидразина в олеуме проводилась по стандартной методике, заключающейся в нагревании раствора реагентов в олеуме при 120°C (сополимер ПОД2). Во втором варианте первоначально готовился раствор БФДК, который прогревался при 120°C, затем, после охлаждения, добавлялись остальные компоненты, и поликонденсация проводилась по стандартной методике (сополимер ПОД1). Для сопоставления свойств новых ПОД-сополимеров, соотношение мономеров в реакционной смеси было аналогично описанному ранее сополимеру, содержащему в своей структуре 19 мас. % ДБТ (ПОД3) [3]. Данные ЯМР-, ИК-спектроскопии и элементного анализа свидетельствуют об идентичности полученных сополимеров ПОД1 и ПОД3. В случае ПОД2 только небольшая часть БФДК превращалась в ДБТ (степень конверсия БФДК в ДБТ не превышала 1,7 %) и ПОД-сополимер представлял собой макромолекулу, содержащую комбинацию *n*-фениленовых, бифенильных и 5,5'-диоксодибензотиофениленовых фрагментов. Исследование физико-механических характеристик показало, что сополимеры ПОД2, содержащие дополнительный бифенильный фрагмент, характеризуются меньшей эластичностью (модуль упругости в два раза больше) при тех же прочностных характеристиках. Было отмечено, что при синтезе ПОД2 реакция поликонденсации (увеличение вязкости реакционного раствора) начинается при более низкой температуре (95°C), вероятно, говорит о более высокой реакционной способности БФДК. Используя эту особенность, была предпринята попытка синтеза сополимеров поли-*пара*-фенилен-1,3,4-оксадиазола, содержащих в полимерной цепи в качестве дополнительных только бифенильные фрагменты. С целью минимизировать побочный процесс образования ДБТ, поликонденсацию проводили при более низкой температуре (100–105°C) и без предварительного прогрева БФДК в олеуме. Исследования ПОД-сополимеров на основе бифенил-4,4'-дикарбоновой кислоты проводилось на пяти образцах (ПОД4–ПОД8). Поликонденсация начиналась при более низких температурах, однако, при увеличении количества БФДК в реакционной смеси наблюдалось снижение скорости поликонденсации, что, вероятно, говорит о протекающем параллельно образованию ДБТ. На основании данных элементного анализа и ИК-спектроскопии было установлено, что все полученные образцы представляли собой тройные сополимеры, содержащие комбинацию *n*-фениленовых, бифенильных и 5,5'-диоксодибензотиофениленовых фрагментов. Содержание 5,5'-диоксодибензотиофениленовых фрагментов зависело от содержания БФДК в мономерной смеси и пропорционально увеличивалось с ростом концентрации БФДК. Была предпринята попытка синтеза гомополимера на основе БФДК (ПОД9). С целью минимизации процесса образования ДБТ реакцию проводили ниже 100°C, вместо стандартных условий (120°C). Однако элементный анализ ПОД9, показал, что и в этих условиях степень «сульфирования» БФДК достигала 61 %, что свидетельствует о прохождении во время поликонденсации сложно контролируемой конверсии БФДК в ДБТ.

Таким образом, варьируя условия проведения сополимеризации ТФК, БФДК и сульфата гидразина в олеуме, был реализован «one-pot» методе синтеза новых сополимеров поли-*пара*-фенилен-1,3,4-оксадиазола нерегулярного строения, полимерная цепь которых может содержать как дополнительный 5,5'-диоксодибензотиофениленовый, так и комбинацию *n*-фениленового, дибензотиофенового и бифенильного фрагментов.

Литература:

1. Janietz S., Anlauf S. A new class of organosoluble rigid-rod fully aromatic poly(1,3,4-oxadiazole)s and their solidstate properties, 1. Synthesis // *Macromol. Chem. Phys.* — 2002 (203), iss. 2. — P. 427–432.
2. Yang N.C., Park Y.H., Suh D.H. Synthesis and Properties of New Ultraviolet–Blue–Emissive Fluorene-Based Aromatic Polyoxadiazoles with Confinement Moieties // *J Polym Sci Part A: Polym Chem* — 2003 (41) — P. 674–683.
3. Yashchenko V. S., Vasilevskii D. A., Bezruchenko V. S., Dokuchaev V. N., Ol'khovik V. K. New high-tensile thermally stable copolymers of poly (p-phenylene-1,3,4-oxadiazole) // *Polymer Science Series B.* — 2014 (56), iss. 3. — P. 307–313.

**ИССЛЕДОВАНИЕ МАСКИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛЕНКАМИ
НАНОПОРИСТОГО АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ**

М.Ф.С.Х. Аль-Камали

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Минск, Беларусь; tarwan.ye2@gmail.com*

Введение.

В настоящее время активно развиваются методы создания наноструктурированных материалов, основанные на использовании процессов шаблонного формирования и самоформирования. Одним из материалов, вызывающих практический интерес, является пористый анодный оксид алюминия. Мембраны на основе нанопористого оксида алюминия востребованы в нанотехнологии, микробиологии и ядерной физике, поскольку они обладают рядом уникальных физических и оптических свойств, а также механической прочностью, термической стабильностью и химической стойкостью [1–3].

В современной технике для визуализации теплового изображения объектов используются два типа тепловизоров: охлаждаемые тепловизоры, работающие в коротковолновом диапазоне (3–5 мкм), и неохлаждаемые тепловизоры в средневолновом диапазоне (8–14 мкм). Для обнаружения и идентификации таких тепловых объектов, как человек, спектральная длина волны теплового излучения которого составляет 9,3 мкм, применяются неохлаждаемые тепловизоры. Наряду с развитием технологий теплового сканирования ведется интенсивный поиск новых материалов, позволяющих рассеивать и поглощать тепловое излучение и, таким образом, обеспечить скрытность объектов от наблюдения в ИК–диапазоне.

Цель.

В данной работе исследовалось влияние маски из нанопористого анодного оксида алюминия на тепловую контрастность излучения человека (ладонь человека) на экране неохлаждаемого тепловизора.

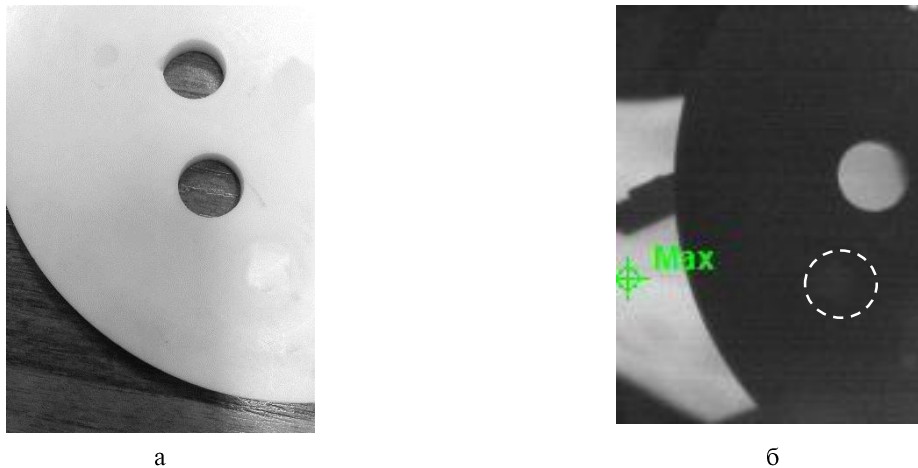
Материалы и методы.

Для исследования картины теплового поля при проведении экспериментов использовали неохлаждаемый тепловизор (Infrared imaging camera system MobIR 4). Для создания тепловых пятен с температурой человека мы использовали фторопластовую пластину с двумя отверстиями размером 14 мм. Фторопластовая пластина размещалась над ладонью человека, пропуская тепловое излучение только в сквозные отверстия. Используемые в качестве маски пленки нанопористого анодного оксида алюминия получали методом анодирования алюминиевой фольги толщиной 100 мкм в 0,4 М водном растворе щавелевой кислоты в потенциостатическом режиме при 60 В.

В экспериментах пленки нанопористого анодного оксида алюминия помещались на фторопластовую пластину над одним из отверстий. Фторопластовая пластина располагалась таким образом, чтобы маска из нанопористого анодного оксида алюминия была удалена на расстоянии 3–5 мм от биологического объекта. В наших экспериментах второе отверстие, через которое тепловое излучение проходило без препятствий, являлось контрольным, чтобы можно было оценить эффект маскирования. Один из результатов исследований представлен на рисунке 1.

Результаты и их обсуждение.

Проведенные тепловые исследования показали, что температура ладони, измеренная снаружи, и через отверстие на фторопластовой пластине практически одинаковая ($\Delta T \sim 0,6^\circ\text{C}$). Небольшая разница в значениях объясняется неоднородностью распределения тепла по всей ладони.



а — фотография фторопластовой пластины с двумя отверстиями;

б — тепловизионная картина фторопластовой пластины с тепловыми пятнами от биообъекта с маскированием одного отверстия пленкой нанопористого анодного оксида алюминия

Рис. 1. Результаты тепловизионных исследований

Температура на поверхности фторопластовой пластины составляла около $30,3^\circ\text{C}$, а в отверстии с тепловым излучением от ладони $34,5^\circ\text{C}$. Представленные результаты тепловизионных исследований показали, что пленка нанопористого оксида алюминия, расположенная на фторопластовой пластине толщиной 5 мм, обеспечивает эффективное экранирование теплового излучения тела человека. При этом регистрируемое изменение разницы температур от биообъекта при наличии и отсутствии анодной пленки составляет не менее 4–5 градусов. Несмотря на оптическую прозрачность в видимом диапазоне, пленки нанопористого анодного оксида алюминия заметно ослабляют пропускание излучения в среднем ИК диапазоне ($\lambda = 8\text{--}14\text{ мкм}$), что может позволить использовать их в качестве фильтров для поглощения излучения биообъектов.

Проведенные исследования показали, что пленки нанопористого анодного оксида алюминия имеют хорошие теплоизоляционные и экранирующие свойства для ИК излучения в области длин волн 6–16 мкм и могут быть использованы в качестве теплозащитных экранов для сглаживания контраста тепловых излучений объекта и окружающего фона и для повышения эффективности тепловой маскировки объектов. В результате нагретый объект на тепловом фоне теряет контрастность и становится малозаметным.

Литература:

1. Masuda H., Abe A., Nakao M., et. al Ordered mosaic nanocomposites in anodic porous alumina // Journal of Advanced Materials. 2003. № 15(2). P.161–164.
2. Напольский К.С. Синтез пространственно-упорядоченных металл-оксидных нанокompозитов на основе пористого оксида алюминия. Описание задач спецпрактикума «Методы получения и анализа неорганических материалов. М.: МГУ, 2011, 31 с.
3. Врублевский, И.А. Структура пленок пористого оксида алюминия, формируемых в электролитах на основе органических кислот / И.А. Врублевский, С.К. Дик, А.С. Терех и др. // Проблемы физики, математики и техники. — 2012. — Т. 12, № 3. — С. 101–105.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ НАПРАВЛЕННО-АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИТОВ

А.Л. Башлакова

*Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси,
Гомель, Беларусь; depa10@mail.ru*

Цель.

Развитие машиностроения во многом определяется возможностями деформационного анализа элементов конструкций. В этой связи востребованы экспериментальные данные о механических свойствах высокопрочных конструкционных материалов, к которым относятся направленно-армированные композиты.

Целью работы является определение упругих характеристик направленно-армированных полимерных композитов в виде углепластиков и стеклопластиков, производимых на предприятиях РБ и РФ.

Методика исследования.

В докладе описана методика определения модуля упругости и коэффициента Пуассона высоко-модульных направленно-армированных полимерных композиционных материалов. Особенности механических испытаний подобных жестких материалов заключаются в необходимости регистрации весьма малых деформаций. С этой целью в работе применялся метод электротензометрии. Для измерения поперечных и продольных деформаций в зоне однородного напряженного состояния (в середине рабочей части образцов №№ 2–4) в соответствующих направлениях устанавливались тензорезисторы (2ПКП-10-100В, сопротивление $R = 98,80\text{--}99,09$, коэффициент тензочувствительности $K = 2,02$), подключенные по четверть мостовой схеме [1]. Определение модуля Юнга и коэффициента Пуассона производилось по ГОСТ 25601-80. В качестве регистрирующей аппаратуры была использована цифровая тензометрическая станция TS32L1-02 (ИПФ НАН Беларуси), обеспечивающая регистрацию статических деформаций с точностью 10^{-6} м/м в диапазоне 20000 единиц относительной деформации.

Для создания одноосного напряженного состояния в зоне тензометрирования использовали способ испытания материала при растяжении [2].

Обсуждение результатов.

Результаты испытаний на растяжение образцов №2 с углом армирования 0000|0000 в виде полосок с размерами $250 \times 20 \times 1$ мм приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры и результаты испытаний образцов №2

№	b , мм	h , мм	σ , МПа	$\Delta_{\text{пр}} (\times 10^{-6})$	$\Delta_{\text{поп}} (\times 10^{-6})$	E , ГПа	ν
1	20	1	43	120	32	358	0,36
2	20	1	50	150	40	333	0,37
3.1	20	1	50	150	35	333	0,23
3.2			50	155	40	320	0,26
3.3			50	150	30	333	0,20
3.4			50	145	30	344	0,21
3.5			50	145	30	344	0,21

Средние значения модуля упругости и коэффициента Пуассона равны $E=320$ ГПа $\nu=0,32$ соответственно.

На одном образце была выполнена серия из 5-и повторных испытаний 3.1-3.5 для оценки влияния повторного нагружения на определяемые механические характеристики.

Результаты испытаний на растяжение образцов №3 с углом армирования 90 0 +45 -45|-45 +45 0 90 и размерами 250×18×1 мм, изготовленные в виде лопаток, приведены в таблице 2. Начальная расчетная длина образца (расстояние между захватами) – 80 мм. Средние значения модуля упругости и коэффициента Пуассона равны $E=120$ ГПа $\nu=0,36$ соответственно.

Таблица 2. Параметры и результаты испытаний образцов №3

№	b , мм	h , мм	σ , МПа	$\Delta_{\text{прод}} (*10^{-6})$	$\Delta_{\text{сж}} (*10^{-6})$	E , ГПа	ν
1	15	1	56	470	170	119	0,36
2	15	1	80	750	280	106	0,37
3	15	1	67	550	160	120	0,29
4	15	1	65	500	200	130	0,40

Результаты испытаний на трехточечный изгиб образцов №4 с углом направления волокон 0 90 +45 -45|-45 +45 90 0 и размерами 100×15×1 мм в виде полоски приведены в таблице 3. Расчет модуля Юнга проводился по формуле (1)

$$E = \frac{3Fl}{2\Delta\epsilon bh^2}, \quad (1)$$

где F – усилие, l – расстояние между опорами, h – толщина образца, $\Delta\epsilon$ – деформация, b – ширина образца.

Таблица 3. Параметры и результаты испытаний образцов №4

№	b , мм	h , мм	F , Н	$\Delta_{\text{прод}} (*10^{-6})$	$\Delta_{\text{попер}} (*10^{-6})$	E , ГПа	ν
1	15	1	40	1190	110	215	0,1
2	15	1	40	1470	120	174	0,1
3	15	1	40	1470	115	174	0,1
4	15	1	40	1200	115	213	0,1
5	15	1	40	1250	110	204	0,1

Средние значения модуля упругости и коэффициента Пуассона равны $E=196$ ГПа $\nu=0,10$ соответственно.

Вывод.

Таким образом, в результате исследований, реализована методика, позволяющая получить уточненные значения модулей упругости армированных композитов.

Литература:

1. Методы и средства определения полей деформаций и напряжений: Справочник. – М.: Машиностроение, 1983. – 248 с., ил.
2. Способ испытания материала при растяжении: пат. 6144 Респ. Беларусь, МПК7G 01N3/08 / С.В. Шилько, Н.Н. Бодрунов; заявитель Ин-т мех. металлополимер. сист. НАН Беларуси. – № а20000457ВУ; заявл. 13.05.00; опубл. 30.06.04 // Афіц. бюлетэнь / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2004. – № 2. – С. 218–219.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ И КОМПЬЮТЕРНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ РЕШЕНИЯ КОНТАКТНЫХ ЗАДАЧ

М.Ю. Бокий

*Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
Гомель, Беларусь; bakis59300@mail.ru*

Актуальной является проблема создания новых эффективных алгоритмов и на их основе современного прикладного программного обеспечения для решения контактных задач вычислительной механики. В настоящее время для решения контактных задач в рамках конечно-элементной технологии используют алгоритмы, основанные на методе штрафных функций, методе множителей Лагранжа, комбинировании методов штрафных функций и множителей Лагранжа [1], имеются работы, в которых используется понятие «псевдосреды» [2].

Многие контактные задачи при расчетах трибологических систем сводятся к решению интегрального уравнения [3].

$$\int_{-1}^1 \{K_p[\alpha(t-t')] + \{K_r[\alpha(t-t')]\bar{p}(t)\}d\bar{t} = \bar{\theta} - 2yt - t^2, |t| < 1$$

Нашей задачей является: составить алгоритм решения этого интегрального уравнения и сделать оценку точности расчета.

Решение интегрального уравнения сводится к решению системы алгебраических уравнений. Реализация решения системы – используя итерационные методы или метод Гаусса.

$$\sum_{j=2}^{n-1} C_{ij} \bar{p}_j = v_0 - 2yt_i - t_i^2, i=1, 2 \dots n.$$

Здесь

$$C_{ij} = \frac{J_{ij} - J_{ij+1}}{t_{j+1} - t_j} - \frac{J_{ij-1} - J_{ij}}{t_j - t_{j-1}},$$

где

$$J_{ij} = \{L[\alpha(t_i - t_{ij})] + fM[\alpha(t_i - t_{ij})]\} \frac{1}{\alpha^2}.$$

Функции $L(\eta)$ и $M(\eta)$ для ортотропного покрытия имеют вид

$$L(\eta) = (\beta_2^2 - \beta_1^2) \int_0^\infty \frac{Z_p(\beta) \cos(\beta\eta) - 1}{\Delta \beta^3} d\beta,$$

$$M(\eta) = \frac{\beta_1 \beta_2}{S_{22}} \int_0^\infty \frac{Z_r(\beta) \sin(\beta\eta) - \beta\eta}{\Delta \beta^3} d\beta.$$

Особенность данного подхода: коэффициенты в системе представляют собой несобственные интегралы, оценка которых представляет собой дополнительный предмет исследований, так как интегралы меняются от нуля до бесконечности и при этом возникает сингулярность.

Разрабатывается программа для эффективного расчета таких систем.

Литература:

1. Wriggers P. Computational contact mechanics. — England: John Wiley & Sons Ltd, 2002 — 441 p.
2. Бабин А.П., Зернин М.В. Конечно-элементное моделирование контактного взаимодействия с использованием положений механики контактной псевдосреды // Механика твердого тела, 2009, №4, с. 84–107.
3. Можаровский В.В. Влияние трения между цилиндрическим индентором и покрытием из композита на параметры контакта. // Трение и износ, № 6, 1990, с. 1014–1034.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ИСКУССТВЕННЫХ КОЖ

В.Д. Борозна

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

Применение искусственной кожи в производстве изделий легкой промышленности, особенно обувной, с каждым годом увеличивается. Объем производимой обуви с верхом из искусственных кож (ИК) может увеличиться к 2020 году на 2–3 млн. пар в год, что составит 15...20% в общем объеме выпуска обуви в Беларуси. Это связано с низкой ее себестоимостью и возможностью быстро обновлять ассортимент. Однако предприятия столкнулись с трудностями на этапе производства и эксплуатации обуви из ИК. Недостаточные знания о функциональных свойствах, а именно технологических и эксплуатационных, не позволяют реализовать технологический процесс без образования брака и достигнуть высокого качества обуви.

В нормативной базе Республики Беларусь для оценки технологических свойств существует только один стандарт ГОСТ 17316-71 «Кожа мягкая искусственная. Метод определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве» и нет ни одного стандарта на нормируемые значения показателей [1]. В данном стандарте определяется только два показателя: разрывная нагрузка и удлинение при разрыве. Эти показатели не дают полной характеристики материала, поэтому специалистам сложно дать полную оценку его пригодности к производству обуви. Автором статьи предложена методика оценки технологической пригодности материалов на базе существующего стандарта с дополнительным определением показателей. По данной методике необходимо дополнительно определять следующие показатели: коэффициент запаса прочности, коэффициент соотношения остаточных и упругих деформаций, коэффициент потери прочности. На их основе определяется комплексный показатель качества, позволяющий дать адекватную оценку пригодности материала к формованию.

При формовании заготовки верха обуви надо иметь запас прочности, поэтому удлинение материала должно быть в 1,5...2 раза больше, чем требуется для ее посадки [2]. Величина запаса прочности материала зависит также от конструкции заготовки. Данный критерий позволяет дать характеристику материала, т.е. способен ли он выдержать нагрузки, которые прикладываются к нему в процессе формования. Поэтому за минимальное значение деформации материала берем 22,5% для производства обуви внутренним способом формования (это значение в 1,5 раза больше чем максимально возможные нагрузки, возникающие в процессе формования данным способом) и 45 % - при обтяжно-затяжном способе.

$$K_3 \geq 1,5 \cdot \varepsilon_p, \quad (1)$$

где ε_p — относительное удлинение при разрыве, мм.

Критерий запаса прочности позволит нам на стадии подготовки производства правильно оценить возможность использования того или иного материала.

Коэффициент соотношения остаточной и упругой деформации

$$K_d = \frac{\varepsilon_{ост}}{\varepsilon_{упр}}, \quad (2)$$

где $\varepsilon_{ост}$ — относительное остаточное удлинение при формовании (%), $\varepsilon_{упр}$ — относительное упругое удлинение при формовании (%).

Данный коэффициент является оценкой способности материала деформироваться наилучшим образом при определенном способе формования.

Коэффициент сохранения прочности при максимальной деформации заготовки в процессе формования определяется по формуле (3):

$$K_{II} = \frac{P_i}{P_p}, \quad (3)$$

где P_i — прочность материала после его предварительной деформации на определённую величину ε_i при формовании (Н), P_p — прочность контрольного образца не подвергнутого предварительному деформированию (Н).

Этот коэффициент выступает как показатель, оценивающий степень изменения прочностных свойств материалов и может повлиять на их эксплуатационные свойства.

Комплексный показатель K_k оценки способности искусственных кож к формированию внутренним способом рассчитывается как среднее геометрическое значений K_i по формуле 4:

$$K_k = \sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 K_i}, \quad (4)$$

По результатам проведенных исследований значения равнозначных коэффициентов K_i ($i=1-3$) находят исходя из следующих соображений: 1) коэффициент K_1 принимает значение равное 1, если $K_3 \geq 22,5\%$, так как деформация заготовки верха обуви при внутреннем способе формирования не превышает 15 %, и $K_1 = 0$, если $K_3 < 22,5\%$, так как разрыва материала в процессе формирования быть не должно; 2) коэффициент K_2 рассчитываем исходя из значения коэффициента K_d по формуле:

$$K_2 = \frac{0,67 - |K_d - 0,67|}{0,67}, \quad (5)$$

так как K_d должен быть приближённо равен 0,67.

Значения коэффициента K_3 равно соответственно значению K_d .

Для анализа полученных результатов используют способ Харингтона, согласно которому значения коэффициентов по безразмерной шкале желательности распределяются следующим образом: 0,00–0,20 – «очень плохо»; 0,20–0,37 – «плохо»; 0,37–0,63 – «удовлетворительно»; 0,63–0,80 – «хорошо» и 0,80–1,00 – «очень хорошо» [3]. В таблице 1 представлены расчеты по разработанной методике на примере ИК NUBUK.

Таблица 1. Оценка функциональных свойств ИК - NUBUK

	NUBUK 231	NUBUK 412	NUBUK-517	NUBUK-605	NUBUK 606
Разрывная нагрузка P , Н	377	320	410	389	374
Относительное удлинение при разрыве ε_r , %	28	20	30	26	31
Относительное остаточное удлинение $\varepsilon_{ост}$, %	32	22	40	31	27
Коэффициент соотношения остаточной и упругой деформации K_{ε}	0,47	0,28	0,67	0,45	0,37
Коэффициент сохранения прочности K_{σ}	0,98	1,06	0,86	0,95	1,03
Коэффициент K_1	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0
Коэффициент K_2	0,70	0,42	1,0	0,67	0,55
Комплексный показатель K_k	0,69	0,0	0,95	0,86	0,83

Таким образом, разработанная методика позволяет на имеющем оборудовании предприятия без длительных испытаний дать адекватную оценку функциональных свойств ИК и их пригодность для технологического процесса.

Литература:

- ГОСТ 17316-71 Кожа искусственная мягкая. Метод определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве; введ. 1973-01-01. – Москва: Государственный комитет СССР по стандартам, 1998. – 8 с.
- Справочник обувщика (Технология) / Михеева Е.Я., Мореходов Г.А., Швецова Т.П. [и др.] .– Москва : Легпромбытиздат, 1989. – 416 с.
- Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условиях: учеб.пособие / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – Москва: Издательство «Наука», 1976. – 279 с.

О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ВЯЗКОУПРУГОГО ПОВЕДЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТЕЛ ИЗ КОМПОЗИТОВ ПРИ КОНТАКТНОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ

Е.А. Голубева, Р.А. Аль-Абси

*Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
Гомель, Беларусь; alena_golubeva92@mail.ru*

Цель работы.

Рассмотреть математическое моделирование, описание ядер ползучести и релаксации с помощью заданных алгоритмов с дальнейшей реализацией расчета на ПВМ. Обработать результаты эксперимента при контактном деформировании цилиндрического тела с полуплоскости. Создать обобщенный алгоритм для ядер ползучести и релаксации. Разработать программу в среде Delphi.

Метод.

Создается методика и программа расчета нахождения обобщенного ядра ползучести:

$$K(t) = A^* t^{\alpha-1} e^{-\lambda t} E_{\lambda/\alpha}(\beta t^\alpha, \alpha),$$

где обозначение параметров ядра представлено в работе [1].

После необходимых преобразований, согласно [1]. Изображение ядра

$$K(t) = A^* t^{\alpha-1} e^{-\lambda t} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(\beta t^\alpha)^n}{\Gamma[\alpha(1+n)]},$$

может быть представлено в виде:

$$K(s) = \begin{cases} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{A^* \beta^n}{(s + \lambda)^{(1+n)\alpha}}; \\ \frac{A^*}{(s + \lambda)^\alpha - \beta} \text{ при } \frac{\beta}{(s + \lambda)^\alpha} < 1. \end{cases}$$

Применяя преобразование Лапласа-Карсона к экспериментальным данным ползучести:

$$\varepsilon_{\partial}(s_k) = s_k \int_0^{t_n} \varepsilon_{\partial}(t) e^{-s_k t} dt + \int_{t_n}^{\infty} \varepsilon_{\partial}(t) e^{-s_k t} dt,$$

где $\varepsilon_{\partial}(t)$ – экспериментальная функция деформации.

Неизвестные параметры ядра определяются из условия минимума функции

$$\varphi(A^*, \lambda, \alpha, \beta) = \sum_{k=1}^N \left[\varepsilon_{\partial}(s_k) - \varepsilon_0 \left(1 + \frac{A^*}{(s + \lambda)^\alpha - \beta} \right) \right]^2 \rightarrow \min.$$

Анализ полученных результатов и выводы.

Разрабатывается программный модуль в среде Delphi, который осуществляет обработку и нахождение параметров ядра методом наименьших квадратов. Данный подход применяется для обработки экспериментальных результатов при контактном деформировании цилиндрических тел из композитов. Таким образом, математическое моделирование и теоретические методы позволяют определить вязкоупругое поведение цилиндрических тел.

Литература:

1. Можаровский, В.В. Прикладная механика слоистых тел из композитов / В.В. Можаровский, В.Е. Старжинский – Мн., 1988. – 271 с.

ОЦЕНКА ПОЛОЖЕНИЯ ТОЧЕК СТЕКЛООБРАЗОВАНИЯ НА РАЗМЫТЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЗАВИСИМОСТЯХ

В.В. Киселевич

*Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого,
Гомель, Беларусь; valentinkis@list.ru*

Цель.

Оценка характеристических температур стеклообразования на "размытых" температурных зависимостях, построенных в полулогарифмическом масштабе.

Основная часть

В работе [1] была предложена методика определения характеристических температур стеклообразования, унифицирующая правила обработки экспериментальных кривых «типовых» температурных зависимостей с отчётливо выраженным переходом в стеклообразное состояние. Наряду с этим, на практике также часто встречаются «размытые» температурные зависимости, построенные в полулогарифмических координатах (см. рис. 1а).

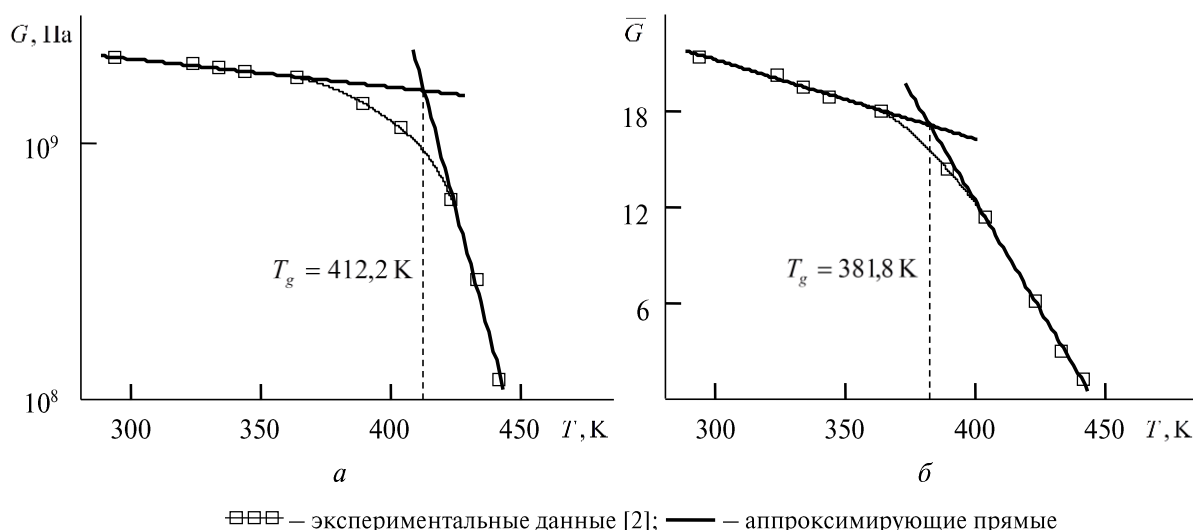


Рис. 1. Температурные зависимости сдвигового модуля упругости полиметилметакрилата в полулогарифмических (а) и приведённых (б) координатах.

Полулогарифмический масштаб применяют, когда отображаемая физико-химическая характеристика (например, модуль упругости G на рис. 1а) претерпевает существенное изменение в небольшом температурном интервале. Однако использование полулогарифмического масштаба сопровождается значительным сжатием отрезка оси значений исследуемой характеристики, что приводит к искажению внешнего вида графической зависимости. В результате возникает соответствующее смещение истинного положения характеристической точки. Поэтому для корректного определения температуры стеклообразования такие зависимости необходимо перестроить в линейных либо приведённых (см. рис. 1б) координатах.

Обработку температурных зависимостей выполняют следующим образом.

1. На новую координатную плоскость переносят точки с исходного графика, оставляя значения абсцисс (температур T) неизменными, а ординаты $\bar{\Phi}$ определяют из выражения

$$\bar{\Phi} = \Phi / \bar{k},$$

где ϕ — экспериментальные значения исследуемой функции в исходной системе координат; $\bar{k}$ — коэффициент приведения, обеспечивающий масштабирование температурной зависимости $\phi(T)$ в вертикальном направлении и принимаемый равным значению функции ϕ , взятому за начало отсчёта на оси ординат исходной координатной системы. Например, на рис. 1а $\phi \equiv G$, $\bar{k} = 10^8$ Па.

2. По обе стороны от изгиба на построенной экспериментальной кривой выделяют квазилинейные участки $[T'_i; T''_i]$, где T'_i и T''_i — начальная и конечная температуры i -го участка, $i = 1$ либо 2. Каждый из этих участков аппроксимируют прямой $f_i(T) = a_{i0} + a_{i1}T$.

3. Находят коэффициенты аппроксимации a_{i0} и a_{i1} .

4. Определяют значение абсциссы точки пересечения линейных экстраполяций квазилинейных участков, т.е. прямых $f_i(T)$:

$$T_g = (a_{10} - a_{20}) / (a_{21} - a_{11}).$$

5. Полученное значение T_g принимают за температуру стеклования.

В качестве иллюстрации в табл. 1 представлены результаты определения температуры стеклования полиметилметакрилата по исходной (рис. 1а) и «приведённой» (рис. 1б) зависимостям.

Таблица 1. Результаты определения температуры стеклования полиметилметакрилата

Свойство	i	Коэффициенты аппроксимации		$[T'_i; T''_i]$, К	δ , %	T_g , К
		a_{i0} , Па	a_{i1} , 10^{-2} Па/К			
G	1	9,653	−0,109	[293; 363]	2,230	412,183
	2	24,814	−3,788	[423; 441]	1,254	
$\bar{G}$	1	35,918	−4,938	[293; 363]	1,765	381,823
	2	120,491	−27,088	[403; 441]	0,268	

Примечание. δ — погрешность аппроксимации.

Как видно из табл. 1, значения T_g , найденные по разным зависимостям, отличаются между собой более чем на 30 К. Причём значение $T_g = 381,823$ К, определённое по рис. 1б, сопоставимо с приводимыми в литературе значениями температуры стеклования полиметилметакрилата (380–390 К) [3], а температура $T_g = 412,183$ К, найденная из рис. 1а, напротив, сильно завышена. Таким образом, для получения корректных результатов при нахождении температур стеклования по зависимостям, построенным в полулогарифмическом масштабе, целесообразно выполнять предварительное приведение координат по описанной методике.

Заключение.

Предложена методика оценки характеристических температур стеклования на "размытых" температурных зависимостях физико-химических свойств веществ.

Литература:

1. Шабловский Я.О., Киселевич В.В. Определение характеристических температур стеклования // Материалы, технологии, инструменты. — 2014 (19), № 4, 86–89.
2. Mott P.H., Dorgan J.R., Roland C.M. The bulk modulus and Poisson's ratio of "incompressible" materials // J. Sound Vibr. — 2008 (312), № 4/5, 572–575.
3. Roland C.M., Hensel-Bielowka S., Paluch M., Casalini R. Supercooled dynamics of glass-forming liquids and polymers under hydrostatic pressure // Rep. Prog. Phys. — 2005 (68), № 6, 1405–1478.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

А.С. Наумович, Е.Н. Марачук

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь; *naumovich21@gmail.com*

Известно много показателей (критериев) оценки степени или скорости коррозии металлов, среди которых качественные и количественные, прямые и косвенные.

Качественные показатели бывают визуальные, микроскопические и макроскопические. В них устанавливается характер коррозионных поражений: изменение внешнего вида поверхности металла, появление продуктов коррозии, изменение цвета и др.

Количественные показатели коррозии делятся на прямые и косвенные. Прямые показатели коррозии: изменение массы образцов; глубина коррозии; доля поверхности, занятая продуктами коррозии; время до появления первого очага коррозии и др. Косвенные показатели коррозии: изменение физико-механических свойств металлов (предела прочности на растяжение или сжатие, относительного удлинения); изменение отражательной способности; изменение электрического сопротивления.

Существенными недостатками существующих методов является низкая точность и высокая сложность в исследовании кинетики коррозионного процесса. Перспективным может стать метод, по которому фиксируется изменение цвета коррозионной среды.

Определение коррозии по прозрачности раствора определяли с помощью специально разработанного устройства, конструкция которого представлена на рис. 1.

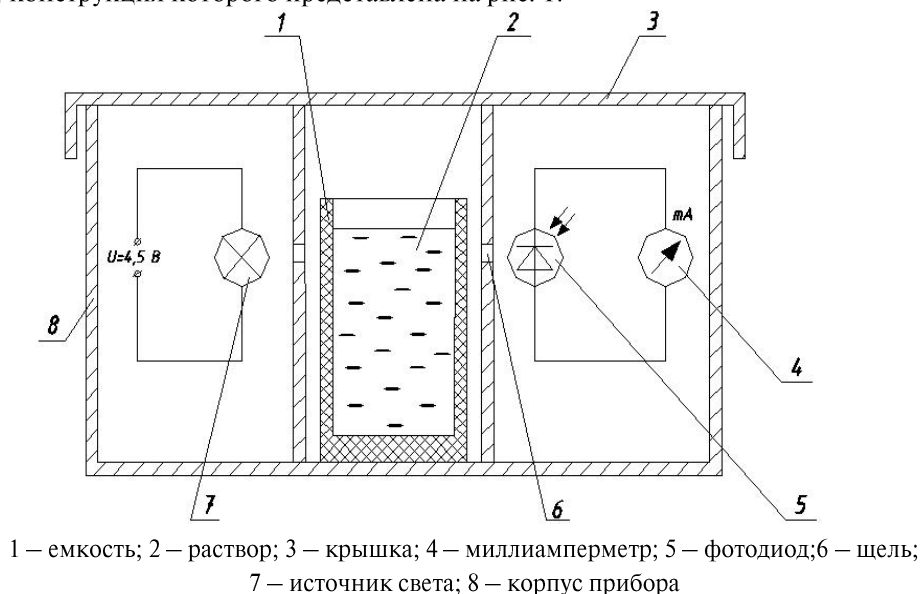


Рис. 1. Схема устройства

Устройство состоит из корпуса с тремя отсеками и крышки. В первом отсеке располагается источник света марки DIP, подключенный к гальваническому элементу напряжением 4,5 В, во втором отсеке — емкость с образцом и соляным раствором, в третьем — фотодиод марки КП-21. При подачи напряжения на источник света, концентрированный световой поток проходит через щель и попадает на раствор, а затем, пройдя раствор, — на фотодиод, который преобразовывает этот свет в фототок. Значение фототока измеряется миллиамперметром. Значение силы тока зависит от наличия продуктов коррозии в растворе. С помощью прибора установлена обратная зависимость между потерей массы образцов и прозрачностью раствора.

Таким образом, разработано устройство для контроля коррозионных процессов, основанное на оценки прочности раствора, воздействующего на металл или защитное покрытие.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛИЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ МЕТАЛЛОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ ПЛОСКИХ ОБРАЗЦОВ

А.В. Омелюсик, А.В. Шмелев

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь; alexlifting@mail.ru

Одно из главных требований, предъявляемых к конструкциям мобильных машин — это обеспечение безопасности пассажиров при аварийных ситуациях, так как аварийные нагрузки приводят к значительным пластическим деформациям кузовных конструкций, вплоть до их разрушения. С целью обеспечения безопасности новая техника проходит испытания по соответствующим видам и схемам нагружения согласно Правилам № 66, 29, 72 и др. Правила допускают проводить виртуальные испытания с помощью современных программных комплексов, таких как LS-DYNA, ABAQUS, MSC Dytran, AutoDyna и другие. Одним из условий получения адекватных результатов моделирования подобных процессов является использование моделей материалов с достоверными, в рамках инженерных расчетов, параметрами. Однако параметры моделей материалов необходимо определять исходя из имеющихся экспериментальных данных [1, 2]. В связи с этим возникает необходимость разработки комплексного подхода к обработке экспериментальных данных с целью определения параметров моделей материалов.

В современном мире, благодаря своей широкой базе встроенных моделей материалов, большую популярность в области явного моделирования приобрел программный комплекс LS-DYNA. В нем используются модели материалов различной сложности. Простые модели, типа билинейной, требуют минимального количества параметров, но являются наименее достоверными. Сложные модели включают в себя параметры, определить которые затруднительно из-за необходимости проведения специализированных, трудоемких и дорогостоящих экспериментов. Результаты наблюдений показывают, что при динамическом нагружении конструкций транспортных средств можно допустить независимость деформации материала от скорости и температуры. В связи с этим, для решения данного типа задач целесообразным является использование распространенной полилинейной модели материала *MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY (024).

В LS-DYNA в качестве характеристик материала задаются истинные значения напряжений и пластических деформаций. Поэтому при обработке экспериментальных данных сначала необходимо перейти от условных деформаций и напряжений к истинным. В результате пересчета получается зависимость, не учитывающая факт локального образования шейки, активное формирование которой происходит на участке от предела прочности до момента разрушения. Поэтому определение параметров модели материала предлагается выполнить по трем точкам, с учетом того, что задаются только пластические деформации от точки предела текучести и имеющие эффективные значения.

1. Точка со значением предела текучести:

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \sigma_T, \\ \varepsilon_1 &= 0.\end{aligned}\tag{1}$$

2. Значение точки соответствует временному сопротивлению и началу образования шейки. Для данной точки определяем значения по формулам [3]:

$$\begin{aligned}\sigma_2 &= \sigma_B(1 + \delta_B), \\ \varepsilon_2 &= \ln(1 + \delta_B) - \frac{\sigma_2}{E}.\end{aligned}\tag{2}$$

где σ_B — временное сопротивление, полученное в эксперименте; E — Модуль Юнга, полученный в эксперименте; δ_B — инженерные деформации образца, соответствующие временному сопротивлению, полученные в эксперименте.

3. Участок образования шейки. Шейка образуется вплоть до разрушения образца, поэтому значениеточкибудет соответствовать моменту разрушения [4]:

$$\sigma_3 = \frac{\sigma_k}{\left[\sqrt{1 + \frac{R}{h}} \ln \left(\frac{\sqrt{1 + \frac{R}{h}} + 1}{\sqrt{1 + \frac{R}{h}} - 1} \right) - 1 \right]}, \quad (3)$$

$$\varepsilon_3 = \ln\left(\frac{1}{1 - \psi}\right) - \frac{\sigma_3}{E}.$$

где σ_k — напряжение разрушения образца, полученное в эксперименте; h — половина ширины в шейке образца; R — радиус кривизны контура шейки в точке наименьшего поперечного сечения.

Радиус кривизны контура шейки в точке наименьшего поперечного сечения R может быть определен графическим способом. Контрастное фотоизображение образца после испытаний импортируется в графический редактор, позволяющий получить измерения соответствующих параметров. По фотоизображению определяются относительные геометрические параметры образца. Абсолютная величина одного из параметров (ширина рабочей части) находится путем прямого измерения, например, при помощи штангенциркуля или микрометра, а неизвестный параметр находится на основании составленной пропорциональной зависимости.

После получения предварительной кривой деформирования задаются дополнительные, уточняющие точки на участке от предела текучести до временного сопротивления. Для определения точек используются уравнения (2).

Для апробации предложенной методики были проведены испытания плоских образцов материала Сталь20. Затем в программеLS-PrePost дляконечно-элементной модели образца были заданы свойства материала и симитированы условия нагружения.

Оценка достоверности определения параметров модели материала выполняется по соответствию зависимости нагрузки, возникающей в результате реактивного действия, от относительной деформации образца, т.е. выполняется переход к условным характеристикам материала, регистрируемым в ходе эксперимента.

Результат моделирования характеристик материала Сталь20 показывает высокую сходимость с результатами натурных экспериментов. При этом определение промежуточных точек на участке от предела текучести до временного сопротивления позволило получить кривую деформирования более плавной и повысить точность расчетов.

Литература:

1. Садырин А.И. Компьютерные модели динамического разрушения конструкционных материалов: Учебно-методическое пособие. — Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2010. — 35 с.
2. Форенталь, М.В. Динамика деформирования и разрушения пластин при высокоскоростном нагружении ударником со сложной структурой: дис. ... канд. техн. наук: 01.02.06 / М.В. Форенталь. — Челябинск, 2010. — 174 с.
3. Лопатина, Е.С. Механические свойства металлов. Конспект лекций / Е.С. Лопатина, А.А. Ковалева, В.И. Аникина // ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» [Электронный ресурс]. — 2008. — Режим доступа: http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/1822/u_lectures.pdf
4. Остсемин, А.А. К анализу напряженного состояния в эллиптической шейке образца при растяжении // Проблемы прочности. — 2009, — №4. С. 19–28.

ГВГ ПЛОСКОЙ ПОЛЯРИЗОВАННОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНОЙ ОТ ПОВЕРХНОСТИ КОНЕЧНОГО ЦИЛИНДРА В СЛУЧАЕ НАКЛОННОГО ПАДЕНИЯ В ПРИБЛИЖЕНИИ GNLRGD

А.А. Шамына

Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, Гомель, Беларусь; anton.shamyna@gmail.com

Введение.

Явление генерации второй гармоники (ГВГ) исследуется учёными достаточно давно. За почти два десятка лет активной работы над этой темой было написано множество трудов, что позволило использовать это явление на практике для исследования структуры материалов [1]. Одна из последних тенденций в этой теме — это исследование свойств поверхностей посредством регистрации нелинейных эффектов от них. Их особенность состоит в том, что в дипольном приближении нелинейный сигнал от centrosymmetricheskikh сред отсутствует, поэтому нелинейные эффекты чётного порядка в объёме не проявляются, и их можно наблюдать только от поверхности. На практике это явление уже было использовано для получения ориентации молекул, адсорбированных на поверхности сферических частиц, для исследования транспорта веществ через мембраны липосом, для изучения частиц, обладающих полупроводниковыми свойствами.

Постановка задачи

Введём одновременно декартову, цилиндрическую и сферическую системы координат. Ось Oz направим вверх, ось Ox вправо, а ось Oy перпендикулярно им обоим так, чтобы они образовывали правую систему координат. Введём также векторы $\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y, \mathbf{e}_z$ — это единичные орты декартовой системы координат, $\mathbf{e}_\rho, \mathbf{e}_\varphi, \mathbf{e}_z$ — единичные орты цилиндрической системы координат, а $\mathbf{e}_r, \mathbf{e}_\theta, \mathbf{e}_\varphi$ — единичные орты сферической системы координат. Пусть цилиндрическая диэлектрическая частица расположена в центре системы координат и её ось совпадает с осью Oz . Высоту частицы обозначим буквой h , а радиус её основания буквой a . Толщина нелинейного слоя, который покрывает частицу равен $d_0 \ll a$ ($d_0 \ll h$). Показатели преломления для волн на циклической частоте ω и 2ω обозначим $n^\omega = \sqrt{\varepsilon^\omega}$; $n^{2\omega} = \sqrt{\varepsilon^{2\omega}}$. ($\mu^\omega = \mu^{2\omega} = 1$).

Пусть падающая в плоскости Oxz волна задаётся уравнением в системе СГС:

$$\vec{E}^{in}(\vec{r}) = \vec{e}^{in} E_0 \exp(ik^\omega x \sin \theta_{in} + ik^\omega z \cos \theta_{in} - i\omega t). \quad (1)$$

В формуле (1) $\vec{e}^{in} = \frac{-(\cos \theta_{in} \cos \varphi + i\sigma \sin \varphi)\mathbf{e}_\rho + (\cos \theta_{in} \sin \varphi - i\sigma \cos \varphi)\mathbf{e}_\varphi + \sin \theta_{in} \mathbf{e}_z}{\sqrt{1+\sigma^2}}$ — это вектор,

характеризующий поляризацию падающей волны, E_0 — её амплитуда, $k^\omega = (\omega/c)n^\omega$ — модуль волнового вектора в окружающей среде, θ_{in} — это угол между волновым вектором и осью Oz , σ — это отношение меньшей оси эллипса поляризации к большей ($\sigma > 0$ — правая поляризация, $\sigma < 0$ — левая). Согласно обобщённой модели Рэлея-Ганса-Дебая (gNLRGD) [1], падающая волна не рассеивается на частице, но дисперсия учитывается. Модель можно применять, если показатели преломления частицы и окружающей среды близки по значению, а показатель дисперсии ξ близок к единице.

Постановка задачи.

В приближении gNLRGD [2] нелинейная часть поляризации запишется, как

$$P_i^{2\omega}(\vec{x}) = \chi_{ijk}(\vec{x}) E_j^{in}(\vec{x}) E_k^{in}(\vec{x}). \quad (2)$$

В формуле (2) $\chi_{ijk}(\vec{x}) = \chi_1 n_i n_j n_k + \chi_2 n_i \delta_{jk} + \chi_3 (n_j \delta_{ki} + n_k \delta_{ij})$ – это общий вид тензора диэлектрической восприимчивости для некиральной поверхности, зависящий от компонент единичного вектора нормали к поверхности n_i и дельта-символа Кронекера δ_{ij} , $E_j^{in}(\vec{x})$ – это j -я компонента вектора электрической напряженности падающей волны. Тогда поле второй гармоники от боковой поверхности цилиндра в виде:

$$\vec{E}(\vec{r}) = -2\pi i (2\omega / c)^2 \left(\exp(ik^{2\omega} r) / r \right) d_0 a h E_0^2 (1 - \mathbf{e}_r \circ \mathbf{e}_r) \left(\sin(k^\omega h \cos \theta_{in}) / (k^\omega h \cos \theta_{in}) \right) \vec{f}, \quad (3)$$

$$\vec{f} = \vec{v} \left[\left(\vec{e}_\perp^{in} \vec{v} \right)^2 \Gamma_1^{(J)}(q_\perp a) - \left(\vec{e}^{in} \vec{e}^{in} \right) \Gamma_2^{(J)}(q_\perp a) - \left(\vec{e}_\perp^{in} \vec{e}_\perp^{in} \right) \Gamma_4^{(J)}(q_\perp a) \right] - \\ - 2\vec{e}^{in} \left(\vec{e}_\perp^{in} \vec{v} \right) \Gamma_3^{(J)}(q_\perp a) - 2\vec{e}_\perp^{in} \left(\vec{e}_\perp^{in} \vec{v} \right) \Gamma_4^{(J)}(q_\perp a), \quad (4)$$

$$\Gamma_1^{(J)}(z) = \chi_1 J_3(z); \Gamma_2^{(J)}(z) = \chi_2 J_1(z); \Gamma_3^{(J)}(z) = \chi_3 J_1(z); \Gamma_4^{(J)}(z) = \chi_1 (J_1(z) + J_3(z)) / 4, \quad (5)$$

$$\vec{q} = 2\vec{k}^\omega - \vec{k}^{2\omega} = \vec{q}_\perp + \vec{q}_\parallel; \vec{q}_\perp = 2k^\omega \left[(\sin \theta_{in} \cos \phi - \xi \sin \theta) \mathbf{e}_\rho - \sin \theta_{in} \sin \phi \mathbf{e}_\phi \right], \\ \vec{q}_\parallel = 2k^\omega (\cos \theta_{in} - \xi \cos \theta) \mathbf{e}_z, \quad q_\parallel = \vec{q}_\parallel \mathbf{e}_z, \quad q_\perp = |\vec{q}_\perp|, \quad \vec{v} = \vec{q} / |\vec{q}|, \quad \vec{e}_\perp^{in} = (1 - \mathbf{e}_z \otimes \mathbf{e}_z) \vec{e}^{in}, \quad (6)$$

где $J_n(z)$ – это функции Бесселя n -го порядка.

Поле от торцов цилиндра в таком случае находится по формуле

$$\vec{E}(\vec{r}) = 2\pi i \mu^{2\omega} \frac{(2\omega)^2}{c^2} \frac{\exp(ik^{2\omega} r)}{r} d_0 a^2 E_0^2 \sin(q_\parallel h / 2) (J_0(q_\perp a) + J_2(q_\perp a)) (1 - \mathbf{e}_r \otimes \mathbf{e}_r) \times \\ \times \left(\left\{ \left[(\chi_1 + 2\chi_3) (\vec{e}^{in} \mathbf{e}_z)^2 + \chi_2 (\vec{e}^{in} \vec{e}^{in}) \right] \cos \theta + 2\chi_3 (\vec{e}^{in} \mathbf{e}_z) (e_x^{in} \sin \theta \cos \phi + e_y^{in} \sin \theta \sin \phi) \right\} \mathbf{e}_r + \right. \\ \left. + \left\{ - \left[(\chi_1 + 2\chi_3) (\vec{e}^{in} \mathbf{e}_z)^2 + \chi_2 (\vec{e}^{in} \vec{e}^{in}) \right] \sin \theta + 2\chi_3 (\vec{e}^{in} \mathbf{e}_z) (e_x^{in} \cos \theta \cos \phi + e_y^{in} \cos \theta \sin \phi) \right\} \mathbf{e}_\theta + \right. \\ \left. + 2\chi_3 (\vec{e}^{in} \mathbf{e}_z) (-e_x^{in} \sin \phi + e_y^{in} \cos \phi) \mathbf{e}_\phi \right). \quad (7)$$

Поле второй гармоники от конечного цилиндра находится, как сумма полей от боковой поверхности (3)–(6) и от торцов (7) цилиндра.

Заключение.

Дипольное приближение позволило получить аналитическое решение задачи о генерации второй гармоники от поверхности цилиндра конечных размеров. Формулы, описывающие напряжённость поля второй гармоники имеют достаточно сложный вид, но во всех прослеживается линейная зависимость от коэффициентов χ_{1-3} , характеризующих анизотропные свойства нелинейного слоя. Графический анализ показывает, что излучение второй гармоники имеет на диаграмме направленности два главных лепестка и несколько побочных, причём степень направленности растёт с увеличением радиуса основания цилиндра. Увеличение же высоты цилиндра ведёт к тому, что диаграмма направленности сжимается вдоль оси Oz .

Литература:

1. Шен, И. Р. Принципы нелинейной оптики / И. Р. Шен; пер. с англ.; под ред. С.А. Ахманова. – М.: Наука. Главная редакция физ.-мат. литературы, 1989. – 558 с.
2. Size dependence of second-harmonic generation at the surface of microspheres / S. Viarbitskaya, V. Kapshai, P. van der Meulen, T. Hansson // Physical Review A. – 2010. V. 81. – P. 053850.

**ВЛИЯНИЕ ХОЛЕСТЕРИЛОЛЕАТА НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ЖИДКИХ СМАЗОЧНЫХ СРЕД**

А.Л. Богданов

*Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси,
Гомель, Беларусь; al.bogdanov@tut.by*

Эффективная эксплуатация большого количества современных машин и механизмов требует применения жидких смазочных сред, обладающих высокими эксплуатационными характеристиками. Такие жидкие смазки могут быть представлены как широко распространенными высокоочищенными нефтяными, так и синтетическими маслами. В большинстве случаев исходные базовые масла не обладают достаточными характеристиками — химическая стабильность, противоизносные и противозадирные свойства, которые повышаются за счет введения присадок различного типа. Поиск высокоэффективных присадок для жидких смазок — одна из наиболее актуальных задач современной нефтехимической промышленности.

Как показали исследования в качестве противоизносных присадок для смазочных сред возможно использование эфиров холестерина, которые могут эффективно работать в качестве добавки к маслам различного типа. Однако следует отметить значительное влияние на эффективность эфиров холестерина химического состава масел.

Целью работы являлось исследование эффективности эфира холестерина — холестерилолеата в качестве противоизносной присадки для жидких смазочных сред различного состава.

Объектами исследования являлись эфир холестерина — холестерилолеат, вазелиновое, промышленное масло И-40А, нефтяные масла NYNASHP6 и HP12.

В качестве экспериментальных образцов готовили растворы холестерилолеата в указанных выше маслах.

Противоизносные свойства оценивали на четырехшариковой машине трения. Время испытаний каждого образца составило 60 минут, при нагрузке 392 Н. По завершении испытаний производили замер диаметра пятен износа стальных шариков. Эффективность действия присадки оценивали в сравнении с образцом без присадки.

Результаты испытаний приведены на рисунке 1. Из результатов данных испытаний следует, что наиболее эффективно присадка работает на нефтяном масле HP6 и вазелиновом. Наихудший результат у нефтяного масла HP12. Максимальная эффективность присадки составила 36%.

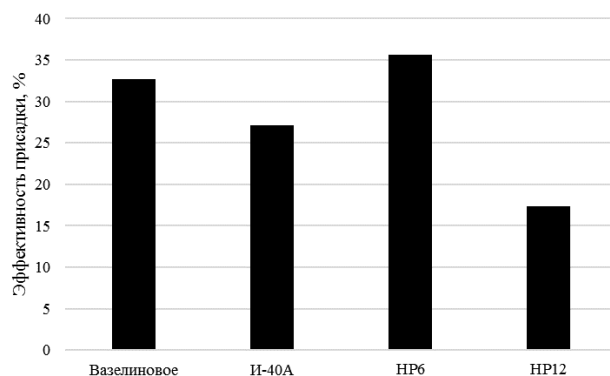


Рис. 1. Эффективность холестерилолеата по результатам испытаний на четырехшариковой машине трения

Однако следует отметить влияние состава масел на растворимость холестерил олеата в них. Установлено, что наиболее полно присадка растворяется в углеводородных маслах (вазелиновое и промышленное), в нефтяных маслах со временем наблюдалось выпадение кристаллов, что ограничивает применение данной присадки для нефтяных масел.

Анализ зависимости эффективности присадки от вязкости исследованных масел показал высокое значение коэффициента корреляции – 0,99. Таким образом эффективность холестерил олеата практически линейно зависит от вязкости базового масла, что и объясняет существенное ухудшение результата испытаний высоковязкого масла НР12 в сравнении с НР6, которое по вязкости сопоставимо с вазелиновым.

В результате проведенных исследований проведена оценка влияния холестерил олеата на триботехнические свойства некоторых жидких смазочных сред. Определена максимальная эффективность присадки для данных смазочных сред, которая составила 36%. Исследована растворимость присадки в маслах различного химического состава. Установлена обратная линейная зависимость эффективности холестерил олеата от вязкости базовых масел.

Триботехнические свойства рафинированных растительных масел

Ф.А. Григорьев¹, И.Н. Ковалева²

¹Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь; tedoz95@gmail.com

²Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси,
Гомель, Беларусь; innakov@tut.by

Введение.

Современные тенденции развития промышленности и транспорта, предусматривают уменьшение экологической нагрузки на природу и урбанистическое пространство обитания человека. В области трибологии эти тенденции поддерживаются исследованиями по использованию биodeградируемых смазочных масел из растительного сырья [1].

Цель.

Проведение сравнительной оценки триботехнических характеристик рафинированных масел из растительного сырья средней климатической полосы. Выбор пищевых масел в качестве объекта исследований объяснялся их более стабильным составом.

Материалы и методы исследований.

Испытывались образцы кукурузного, подсолнечного, рапсового и льняного пищевых масел. Для сравнения было выбрано минеральное масло И-20А (ГОСТ 20799-88). Жирнокислотный состав растительных масел определяли на газовом хроматографе Кристалл-500 (Хроматэк, Россия) в соответствии с ГОСТ 30418–96. Содержание основных трибологически активных элементов устанавливали с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра XEP0S (Spectro, ФРГ). Триботехнические характеристики масел оценивали по ГОСТ 9490–75 на четырёхшариковой машине ЧШМ-К1 (Технопромкомплект, Украина). Кинематическую вязкость находили по ГОСТ 33-2000. Оценку температуры вспышки производили в закрытом тигле с помощью прибора Вспышка-А (БМЦ, Беларусь). Для определения температуры застывания масел использовали дифференциальный сканирующий калориметр Diamond DSC (PerkinElmer, США).

Результаты и их обсуждение.

В таблице 1 представлены основные физико-механические и триботехнические свойства растительных масел.

Таблица 1. Функциональные свойства растительных масел в сравнении с минеральным

Свойства	Масло				
	И-20А	Подсолнечное.	Кукурузное	Рапсовое	Льняное
Физико-механические свойства					
Кинематическая вязкость при 100 °С, мм ² /с	5,3	8,1	8,5	8,6	6,33
Температура вспышки, °С	222	245	232	280	> 280
Температура застывания, °С	–15	–17	–14	–10	–21
Триботехнические характеристики					
Показатель износа (40 кгс)	1,65	0,67	0,73	0,67	0,73
Критическая нагрузка, кгс	40	80	80	80	80
Нагрузка сваривания, кгс	119	126	126	133	168
Индекс задира	15	35	36	33	56

Как можно видеть исследованные растительные масла обладают достаточно близкими показателями физико-технических свойств. Результаты проверки гипотезы о равенстве средних значений их показателей износа свидетельствуют, что они с уровнем значимости 0,01 статистически не различимы. Таким образом, масла из растительного сырья не отличаются по характеристикам, связанным с эффективностью действия поверхностно-активных веществ и диапазоном их работы. Следует отметить существенно лучшие противозадирные свойства растительных масел (нагрузка сваривания и индекс задира) в сравнении с маслом И-20А, особенно у льняного масла.

Несмотря на близость функциональных свойств растительных масел их жирнокислотный состав характеризуется существенными отличиями (таблица 2).

Таблица 2. Состав растительных масел (мас.% жирных кислот с концентрацией более 1%)

	Растительное масло			
	подсолнечное	кукурузное	рапсовой	льняное
С16:0, пальмитиновая	7,6	12,3	6,1	5,6
С18:0, стеариновая	3,5	2,0	1,6	3,4
С18:1, олеиновая	24,8	29,0	54,6	15,3
С18:2, линолевая	61,5	54,2	20,0	14,0
С18:3, линоленовая	—	1,0	10,0	60,5
Средн. длина алкильной группы	17,8	17,8	17,9	17,8
Средн. число ненасыщ. связей	1,51	1,43	1,35	2,5

Однако при анализе данных таблицы 2 необходимо обращать внимание не столько на состав растительных масел, сколько на структурные свойства. Тогда учитывая результаты работы [2], близость антифрикционных свойств исследованных масел, может быть объяснена фактическим равенством средних значений длин алкильных радикалов триглицеридов, входящих в их состав. Хорошие противозадирные свойства льняного, скорее всего, обусловлены высоким значением числа ненасыщенных связей алкильных групп. Активация непредельных связей в результате окисления и термомеханического воздействия при трении положительно влияет на процессы фрикционного взаимодействия за счёт трибополимеризации и образования плёнок на истираемых поверхностях, предохраняющих сопряжение от задира (рис.2).

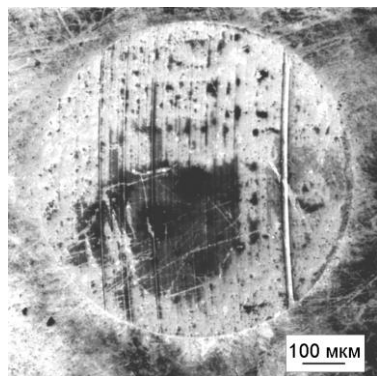


Рис. 2. Пятно контакта при испытаниях образца в среде льняного масла на четырёхшариковой машине при нагрузке 80 кгс

Выводы.

Уменьшение средней длины алкильных радикалов за счёт введения в масла триглицеридов низших непредельных жирных кислот и увеличение среднего числа ненасыщенных связей путём добавления высших ненасыщенных жиров, способно улучшить триботехнические характеристики растительных масел.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке БРФФИ и ГКНТ Беларуси (номер проекта Т15ЛИТ-027).

Литература:

1. Евдокимов А.Ю., Фукс И.Г., Облещикова И.Р. Экологические аспекты химмотологии смазочных материалов. Учебное пособие. – М.: «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2001. — 197 с.
2. Ермаков С.Ф., Шардин В. А., Шулдыков Р. А. Влияние длины алкильного радикала на смазочные и оптические свойства холестерических жидких кристаллов и их смесей // Материалы, технологии, инструменты. — 2007 (12), № 2. — С. 50—55.

ВЛИЯНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ПРОЧНОСТНЫЕ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФРИКЦИОННЫХ КОМПОЗИТОВ

И.М. Крижевский

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

Фрикционные композиты используются в тормозных узлах и трансмиссиях технологических и транспортных машин, основное назначение которых диссипация или передача механической энергии. До 95% диссипируемой механической энергии преобразуется в тепло, локализованное на фрикционном контакте. Для эффективного теплоотвода и снижения тепловой нагруженности узла трения, фрикционные композиты содержат различные теплопроводящие наполнители, например, металлы и их соединения.

Исследовали модельные составы фрикционных композитов на основе фенолформальдегидных смол, минеральных и металлических наполнителей. Изучали влияние металлических наполнителей различного состава, размера и формы частиц «табл. 1».

Таблица 1. Металлические наполнители для фрикционных композитов

Наименование наполнителя	Максимальный размер наполнителя	Форма частиц наполнителя
Бр.НФ2-1	0,063...0,1 мм	сферическая
Фибра 2	2 мм	волокнистая
Фибра 6	6 мм	волокнистая

Цель работы состояла в изучении влияния металлических наполнителей на фрикционно-износные и прочностные характеристики фрикционных композитов.

Трибологические испытания проводили на машинах трения 2070 СМТ–1 без смазочного материала по схеме «вал — частичный вкладыш». Потерю массы определяли с использованием аналитических

весов. Контроль объемной температуры образца осуществлялся на расстоянии $1,0 \pm 0,2$ мм от поверхности трения ХК термпарой. Режимы испытания образцов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Режимы испытания образцов

Режим №	Давление на контакте Р, МПа	Линейная скорость скольжения V, м/с	Длительность испытания, с
1	0,5	1,0	7200
2	2,0	1,0	3600
3	1,0	0,5	7200
4	1,0	2,0	3600

Для определения прочностных характеристик использовали цилиндрические образцы диаметром 16 мм, высотой 25 мм. Механические испытания проводили на машине Instron 5567. Вид испытаний: статическое одноосное сжатие по ГОСТ 4651-82 со скоростью 0,5 мм/мин.

На рис. 1 и рис. 2 представлены зависимости коэффициента трения и интенсивности изнашивания композитов от условий испытаний.

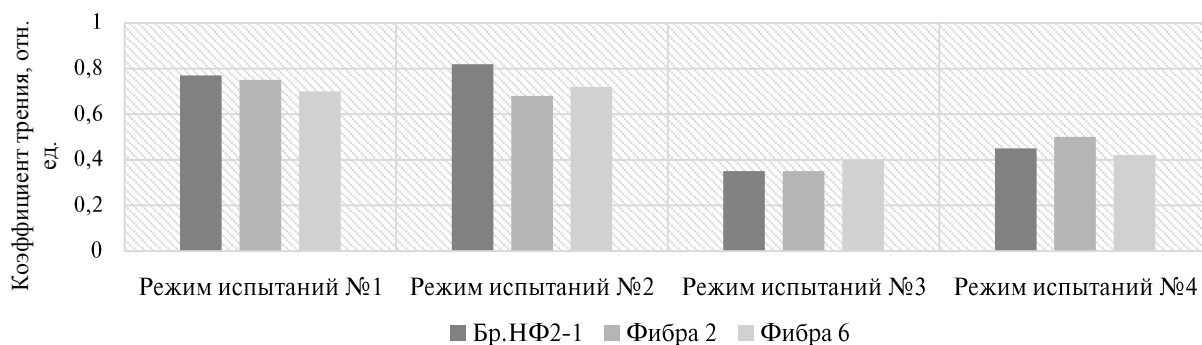


Рис. 1. Установившийся коэффициент трения композитов

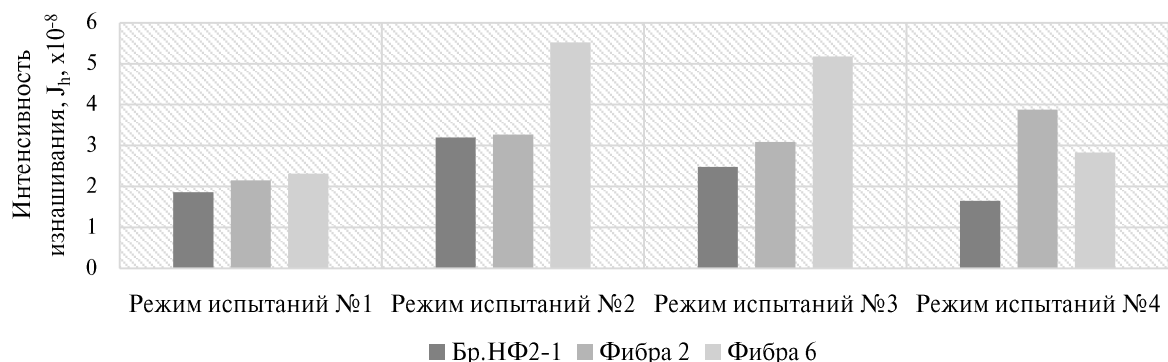


Рис. 2. Интенсивность изнашивания композитов

Выводы.

Установлено, что композиты, наполненные сферическими металлическими частицами, обладают наибольшим коэффициентом трения и максимальной износостойкостью по сравнению с другими исследованными фрикционными композитами. Стабильность коэффициента трения композитов, наполненных фиброй 2 и фиброй 6, меньше, чем у композитов, наполненных Бр.НФ2-1. Показано, что композиты, наполненные сферическими мелкодисперсными частицами Бр.НФ2-1, обладают лучшими прочностными характеристиками, чем композиты, наполненные фиброй. Следовательно, использование крупнодисперсных наполнителей приводит к снижению прочностных характеристик композитов.

ФРИКЦИОННЫЕ КОМПОЗИТЫ ДЛЯ ТОРМОЗНЫХ НАКЛАДОК ДИСКОВЫХ ТОРМОЗОВ БУРОВЫХ УСТАНОВОК

И. Ю. Симонюк, С. В. Шестаков

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

Одной из проблем нефтедобывающих компаний Беларуси и России является отсутствие отечественных производителей расходных материалов и комплектующих для буровых установок, в том числе, тормозных накладок для тормозов буровых лебедок.

Цель работы – разработать фрикционный композиционный материал (ФКМ) с полимерной матрицей для тормозных накладок дисковых тормозов буровых установок зарубежного производства «Drillmes», эксплуатирующихся в Беларуси и Российской Федерации.

Технические требования к разрабатываемому композиционному материалу определяют условия его работы:

- 1) усилие, прилагаемое к тормозной накладке, составляет 52000Н;
- 2) максимальная скорость скольжения накладки по диску – 8 м/с;
- 3) рассеивание тепла при аварийном торможении составляет 378кВт за 5 секунд.

В процессе эксплуатации тормозных накладок возможно попадание в зону трения минеральных масел, сырой нефти, абразивных частиц, буровых растворов и т. д. Эксплуатация может осуществляться при температуре окружающей среды $-50^{\circ}\text{C} \dots 60^{\circ}\text{C}$, в том числе при знакопеременных температурных режимах работы. Спуск труб или их подъем со скважины должны осуществляться плавно, без каких-либо рывков и ускорений, особенно при переходных процессах, следовательно, фрикционные материалы должны обеспечивать стабильность момента трения в широком диапазоне скоростей скольжения и температуры трения.

Для изготовления фрикционных композиционных материалов использовали минеральные и металлические волокна и различные дисперсные наполнители. В качестве полимерной матрицы использовали смесь фенолоформальдегидных смол.

Основные физико-механические характеристики разработанных фрикционных композитов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Физико-механические свойства фрикционных композитов материалов

Наименование показателя	Шифр материала		
	Композит 1	Композит 2	Композит 3
Твердость, НВ	30...34	47...50	30...47
Разрушающее напряжение при сжатии, МПа	58...65	70...83	51...63
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м ⁰ С)	0,47...0,69	0,71...1,08	0,58...0,65
Маслопоглощение, %	1,2...3,6	0,8...1,9	0,8...2,3
Водопоглощение, %	0,1...0,3	0,1...0,4	0,1...0,3
Плотность, кг/м ³	2060...2150	2200...2400	2260...2420

Сравнительные результаты фрикционно-износных испытаний разработанных композитов представлены на рисунке 1, 2.

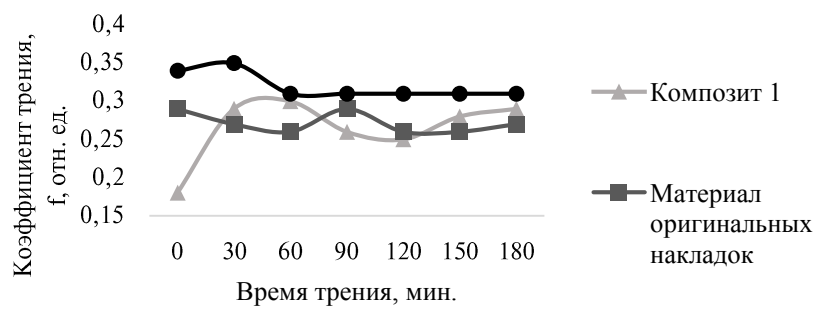


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения фрикционных материалов от времени трения при давлении на фрикционном контакте 0,38 МПа и скорости скольжения 7,25 м/с

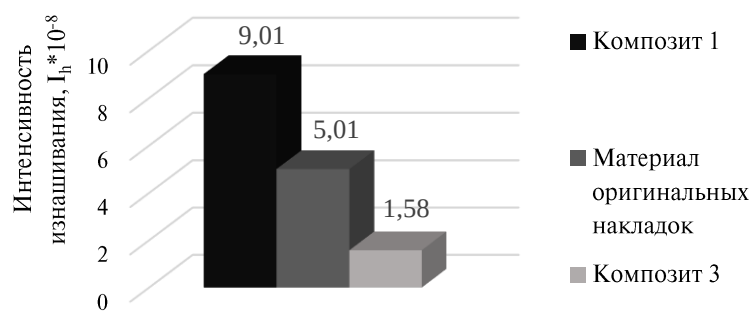


Рис. 2. Зависимость линейной интенсивности износа фрикционных материалов шифров БНФ 158, БНФ ФКП и БНФ 80-05-14 при давлении на фрикционном контакте 1,5 МПа и скорости скольжения 1 м/с

Для проведения испытаний, разработанных фрикционных композиционных материалов, в реальных условиях эксплуатации тормозных накладок дисковых тормозов, был изготовлен комплект тормозных накладок из фрикционного материала шифра «Композит 3» (рисунок 3).



Рис. 3. Тормозная накладка

Испытания разработанных тормозных накладок на разных буровых установках и при различных режимах бурения показали, что разработанный фрикционный композиционный материал по эффективности и износостойкости не уступает оригинальному зарубежному аналогу.

Научное издание

IV Республиканская научно-техническая
конференция молодых ученых

**НОВЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ,
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ
ИССЛЕДОВАНИЯ**

10–11 ноября 2016 г.

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

*Ответственный за выпуск: В.В. Домасик
Составитель: В.В. Шевченко*

Подписано в печать 28.10.16. Формат издания 60×84¹/₈.
Бумага офсетная. Гарнитура Newton. Отпечатано на ризографе.
Усл. печ. л. 9,3. Тираж 30 экз. Заказ №. 13-16

Государственное научное учреждение
«Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси»
Регистрация № 1/244 от 25.03.14
246050 г. Гомель, Беларусь, Кирова, 32а