

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
Государственный комитет по науке и технологиям Республики Беларусь
Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований
Президиум Гомельского филиала НАН Беларуси
Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ И ТРИБОЛОГИЯ
(ПОЛИКОМТРИБ-2013)

Гомель • Беларусь
24—27 июня 2013 г.
Тезисы докладов



ГОМЕЛЬ • 2013

УДК 620.22-419:678.01-621.891

ПОЛИКОМТРИБ-2013: Тезисы докладов международной научно-технической конференции — Гомель: ИММС НАНБ, 2013. — 305 с.

ISBN 978-985-6477-43-3

В сборнике представлены тезисы докладов участников международной научно-технической конференции **«Полимерные композиты и трибология»**, посвященные современным проблемам физики и физической химии полимерных композиционных материалов, эффективных технологий получения полимерных композитов и изделий из них, оценки эксплуатационных свойств полимерных материалов и их применению в различных отраслях народного хозяйства, фундаментальным и прикладным проблемам современной трибологии, включая трибофизику, трибомеханику и трибоматериаловедение.

Редакционная коллегия: В.Н. Адери́ха, С.П. Богданович, Е.Н. Волнянко, П.Н. Гракович, А.Я. Григорьев, С.Ф. Ермаков, С.Ф. Жандаров, С.В. Зотов, Л.Ф. Иванов, И.Н. Ковалёва, В.Н. Коваль, Ю.М. Кривогуз, Е.Ф. Кудина, С.С. Песецкий, В.П. Селькин, В.П. Сергиенко, В.А. Смуругов, В.Е. Старжинский, Е.М. Толстопятов, В.А. Шелестова, С.В. Шилько, В.М. Шаповалов, Р.А. Шулдыков

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	i
ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ	3
Моделирование фрикционного взаимодействия высокоэластичных материалов И.Г. Горячева	5
Multifunctional Interphase Engineering in Composites E. Mäder, S.-L. Gao, J. Zhang, N. Wiegand	6
Реакционная экструзия в технологии полимерных материалов С.С. Песецкий, Ю.М. Кривогуз	7
Масштабный фактор в трибологии Н.К. Мышкин, А.И. Свириденко, А.Я. Григорьев	8
Перспективные фрикционные материалы полученные методами порошковой металлургии А.Ф. Ильющенко	9
Актуальные проблемы трибологии и вытекающие задачи для смежных наук Ю.М. Плескачевский	10
Исследование наноразмерных самосмазывающихся соединений дисульфида молибдена и графита А.П. Краснов, А.С. Голубь, В.Н. Адери́ха, А.В. Наумкин, О.В. Афоничева, А.С. Юдин, Н.Д. Лененко, В.А. Мить	11
Мезомеханика и компьютерный дизайн полимерных микро- и нанокомпозитов С.В. Шилько, Ю.М. Плескачевский, С.В. Панин	12
СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ. Секция 1. Структура и свойства полимерных компози- тов	13
Механические свойства нанокомпозитов полиамид ПА6 — терморасширенный графит В.Н. Адери́ха, В.А. Шаповалов, О.В. Афоничева, А.С. Юдин	15
Исследование химической стойкости органопластиков на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена А.И. Буря, М.И. Губская, А.Н. Коробочка, А.Б. Лысенко	16
Коррозионная стойкость композиционных покрытий на основе сплава цинк-никель, сформированных при воздействии рентгеновского излучения Н.Г. Валько, Д.В. Лавыш	17
Полифункциональные модификаторы алкидных смол А.И. Глоба, Э.Т. Крутько	18
О влиянии коротких стекловолокон на молекулярно-структурные параметры механические и реологические свойства полиэтилентерефталата В.В. Дубровский, В.Н. Коваль, Т.М. Абрамова, С.С. Песецкий	19
Исследование физико-механических свойств модифицированных эпоксидиановых покрытий М.В. Журавлева, Т.А. Жарская, Э.Т. Крутько	20
Исследование термической деформации порошковых фенольных олигомеров в зависимости от предварительной термообработки А.Л. Зайцев, Д.Г. Соколовский, Н.А. Кутепова	21

Влияние природы отвердителя на структуру и свойства покрытий из порошковых полиэфирных красок	
Т.Н. Кухта.....	22
Основные параметры для определения долговечности полимерного покрытия	
Т.Н. Кухта.....	23
Корреляция электрических, гальваномагнитных и магнитных свойств композитов, полученных имплантацией ионов переходных металлов в полимерные пленки	
М.Г. Лукашевич	24
Термостабилизация композиции из отходов пенополиуретанов	
А.К. Матвеев, А.К. Новиков, К.С. Матвеев	25
Адсорбция фосфорсодержащих присадок на поверхности железа	
Ю.Ф. Мигаль, М.А. Савенкова, Д.Н. Солодовникова.....	26
Наполнение сверхвысокомолекулярного полиэтилена модифицированным каолинитом	
А.А. Охлопкава, Л.А. Никифоров, Р.В. Борисова	27
Исследование процессов разделения фаз в системе полиэтилен-олифа методом ИК-спектроскопии	
Л.С. Пинчук, А.С. Неверов, Е.В. Шукова	28
Коллоидобразование в органозолях Sn(II), используемых для активации поверхности полиэфирных материалов	
О.В. Рева, В.В. Богданова, З.В. Шукело, Л.В. Радкевич	29
Реологические модели маслянных суспензий холестерических жидких кристаллов и углеродных наночастиц	
С.А. Сергеев, Е.В. Березина	30
Термохимические процессы в композите на основе полимерной матрицы и наноструктурных волокон ZrO₂, HfO₂	
Т.М. Ульянова, Н.П. Крутько	31
Влияние добавок слоистых глинистых силикатов на свойства гермослоев бескамерных шин	
В.Д. Федоров, П.В. Васильев, Т.П. Валенчиц, В.Н. Коваль, З.В. Коптелова	32
Влияние высокого давления на действие присадок — антиоксидантов	
В.А. Фейзова, К.С. Лебединский, Д.Ю. Марченко	33
Влияние ионов Cu²⁺, Zn²⁺, Mn²⁺ на водопоглощение полиэлектролитных гидрогелей на основе гидролизата полиакрилонитрильного волокна	
Е.К. Фомина, Л.П. Круль, Е.В. Гринюк, О.В. Якименко.....	34
Исследование состава макромолекулярных металлокомплексов в полиэлектролитных гидрогелях на основе функционализированных полиакриламидами, сшитых ацетатом хрома (III)	
О.В. Шахно, Л.П. Круль, Е.В. Гринюк, Г.В. Бутовская, Е.Д. Скаковский, Л.Ю. Тычинская	35
Исследование реологических, релаксационных и механических свойств материалов на основе полибутилентерефталата и его смесей с полиэфирными термоэластопластами, содержащих удлинитель цепи	
В.В. Шевченко.....	36
Фуллерены C₆₀ в полимерной матрице	
Э.М. Шпилевский, С.А. Филатов, Г. Шилагарди	37
СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ. Секция 2. Основы трибологии.....	39
Friction Coefficient during Reciprocating Sliding of UHMWPE in Ringer's Solution	
Fatima Zivic, Miroslav Babic, Slobodan Mitrovic, Dragan Adamovic.....	41
К вопросу движения тела с преобразованным сухим трением	
В.И. Бахшалиев, Ф.Э. Асланзаде, Т.А. Гаджиев	42

Разложение силы граничного, смешанного и гидродинамического трения скольжения в степенной ряд по величине тензора напряжений третьего тела (смазочной среды) в трибозазоре С.Б. Булгаревич, М.В. Бойко	43
Исследование трения качения на поверхности стали с различной твердостью в режиме pre-rolling И.З. Джилавдари, Н.Н. Ризноокая	44
Применение фрикционных маятниковых подшипников скольжения для сейсмической изоляции Ю.Н. Дроздов, В.А. Надеин, В.Н. Пучков	45
Взаимодействие атомов с поверхностью зерен в стали и его влияние на износостойкость В.И. Колесников, Ю.Ф. Мигаль, Е.С. Новиков	46
Алгоритмические и аппаратно-программные средства жизнеобеспечения бортовых автомобильных трибосистем Л.Г. Красневский	47
Оценка триботехнических свойств эпоксидных углепластиков, модифицированных раствором теломеров тетрафторэтилена А.В. Морозов, А.М. Мезрин, Б.Я. Сачек	48
Применение рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии для анализа поверхностей трения А.В. Наумкин, А.П. Краснов	49
Влияние субструктурных превращений при трении закаленной стали на формирование фрикционных связей и износостойкость В.В. Шевеля, В.П. Олександренко, Г.С. Калда, Ю.С. Соколан	50
Температурная зависимость диссипативных свойств фрикционного контакта В.В. Шевеля, А. Трытек, В.А. Кирилков, Ю.С. Соколан	51
СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ. Секция 3. Технологии и методы получения полимерных композитов	53
Непрерывные хроматографические методы и системы газоаналитического контроля З.Л. Баскин	55
Модификация структуры и свойств антифрикционных термопластов равноканальной многоугловой экструзией В.А. Белошенко, Ю.В. Возняк	56
Кинетика электроосаждения покрытий цинк–кобальт в поле рентгеновского излучения Н.Г. Валько, А.П. Чернецкий	57
Использование свойств препрегов в технологическом процессе изготовления оболочек из композиционных материалов Ю.В. Василевич, В.М. Сахоненко, К.А. Горелый, Е.В. Малютин, Е.Ю. Неумержицкая	58
Методы изготовления элементов силового набора из композиционных материалов Ю.В. Василевич, В.М. Сахоненко, К.А. Горелый, Е.В. Малютин, Е.Ю. Неумержицкая	59
Армированные стеклянными сетками напорные трубы большого диаметра, получаемые методом навивки В.В. Коврига, Н.В. Бисерова, В.В. Швабауэр	60
Клеи-расплавы на основе дисперсно-наполненных термопластов А.В. Кравцевич	61
Функционализация смеси полипропилена и сополимеров этилена с высшими α-олефинами в процессе реакционной экструзии Ю.М. Кривогуз, О.А. Макаренко	62
Непрерывное литье эвтектического силумина с наноструктурным кремнием Е.И. Марукович, В.Ю. Стеценко, А.П. Гутев, Р.В. Коновалов	63

Влияние технологических параметров переработки на механические свойства полимер-минеральных материалов	
К.С. Носов, Е.М. Лапшина, В.И. Ткачѐв	64
Разделение смеси полимеров методом флотации	
Е.В. Опимах, А.Э. Левданский	65
Методика модификации половолоконных мембран с использованием межфазной поликонденсации	
Е.С. Пикуцкая, А.В. Бильдюкевич	66
Получение дисперсий многостенных углеродных нанотрубок	
Т.В. Плиско, А.В. Бильдюкевич	67
Огнезащищенный материал на основе полиолефинов и азот-фосфорсодержащих замедлителей горения	
О.В. Рева, В.В. Богданова, Э.В. Шукело, Л.В. Радкевич	68
Технологические свойства каучуков на основе органических окисей	
А.В. Румянцева, Г.М. Хвостик, С.К. Курлянд, В.И. Клочков, Г.П. Петрова	69
Исследование влияния азот-фосфорсодержащих замедлителей горения на физико-химические свойства и огнестойкость пенополиуретана марки «Изолан-125»	
М.М. Тихонов, О.В. Рева	70
Роль частоты тока при плазменной полимеризации	
Е.М. Толстопятов	71
Новые сополимеры полифенилен-1,3,4-оксадиазола	
В.С. Яценко, Д.А. Василевский, В.Г. Петушок, В.К. Ольховик	72
СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ. Секция 4. Трибоматериаловедение	73
Investigation of Tribocontact of Piezoelectric Actuator	
J. Padgurskas, A. Žunda, A. Andriušis, D. Metrikaitė, V. Jankauskas, R. Rukuiža, R. Bansevicius	75
Современные композиционные материалы на основе полиуретановых термопластов триботехнического назначения. особенности применения и работоспособность	
В.Н. Анисимов	76
Влияние импульсного магнитного поля на изменение структуры и износостойкости гальванических покрытий	
А.Г. Анисович, В.В. Ажаронк, Л.В. Доготарь, В.Ф. Гологан, Д.М. Кроитору	77
Оценка параметра порядка мезогенного смазочного слоя поляризационным методом	
Е.В. Березина, А.В. Волков, В.А. Годлевский, Д.С. Фомичев	78
Оптимизационный процесс при расчете молекулярной динамики смазочного слоя	
Е.В. Березина, В.А. Годлевский, Д.С. Фомичев	79
Кинетика изнашивания шариков в четырехшариковой машине трения в присутствии жидкого и консистентного смазочного материала	
С.Б. Булгаревич, М.В. Бойко, К.С. Лебединский, Д.Ю. Марченко	80
Исследование эксплуатационных характеристик органопластиков на основе полиоксадиазольного волокна	
А.И. Буря, Н.Г. Черкасова, Н.В. Ильющенок	81
Влияние смазочных масел на трение стали по композиционному покрытию керамика + монокристаллический углерод	
И.А. Буяновский, А.Н. Большаков, В.А. Левченко, В.Н. Матвеев	82
Влияние плазмохимического модифицирования поверхности полидисперсных частиц структурированного углерода на механические и триботехнические характеристики полиамидных покрытий	
А.М. Валенков	83

Адаптивные механизмы структурно-термической приспособляемости силикатных покрытий К.Н. Долгополов, Д.Н. Любимов, Е.А. Глазунова	84
Исследование трибологических свойств композиционных материалов на основе Si и Al, армированных сверхупругими твердыми углеродными частицами, полученными из фуллеренов под давлением Е.И. Дроздова, И.Н. Потапова, О.П. Черногорова, Е.А. Екимов	85
Структурообразование бинарной дисперсной фазы пластичных смазок, модифицированных наноразмерными добавками В.И. Жорник, А.В. Ивахник	86
Разработка методики полигонных испытаний труб на гидроабразивный износ и оценка перспектив расчёта износостойкости по данным сопротивления резанию В.В. Коврига, А.А. Шмелёв, Е.М. Желваков, А.Л. Качалина, И.В. Зайчикова, С.С. Пендик	87
Разработка конструкции герметизирующего устройства, оптимизированной по критериям контактного взаимодействия и износа О.В. Кропотин	88
Изнашивание алмаза в инструменте при обработке художественного стекла В.Я. Лебедев, А.М. Кузей	89
Механические и триботехнические свойства полиамида, наполненного нанопорошком диоксида кремния С.И. Микулич, Г.А. Жогло	90
Исследование СОТС с присадками мезогенных соединений при сверлении и развёртывании отверстий В.В. Новиков, Е.Е. Нуждина, М.С. Маршалов	91
Принципы оптимизации содержания присадок мезогенных соединений в СОТС для металлообработки В.В. Новиков, С.А. Сырбу, М.С. Маршалов	92
Влияние термического расширения органических фрикционных материалов на механизм высокотемпературного изнашивания А.К. Погосян, Н.Г. Меликсетян	93
Разработка антифрикционных органоволокнитов на основе технических тканей для тяжело-нагруженных пар трения А.Г. Пономаренко, А.Г. Калмыкова, Т.А. Ширяева, С.Б. Зайченко	94
Материаловедческие решения задачи снижения вибрации и шума фрикционных узлов трения машин В.П. Сергиенко, С.Н. Бухаров	95
Теоретико-экспериментальное исследование разрушения при трении покрытий на основе многокомпонентных оксидов Е.В. Торская, К.С. Кравчук, Н.Н. Фролов	96
СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ. Секция 5. Медико-биологические аспекты применения полимерных композитов	97
Оценка эффективности применения полимерных покрытий для модификации хирургических нитей А.Л. Башлакова, Н.П. Глазырин	99
Анализ вклада цитоскелета в структурно-механическую неоднородность поверхностного слоя клеток, оцененную по параметрам сил трения между острием АСМ-зонда и поверхностью клетки Н.И. Егоренков, М.Н. Стародубцева	100

О механизме высвобождения антибактериальных препаратов из композиционных покрытий на основе полиуретана с добавками поли-L-лактида	
Л.А. Марченко, Г.В. Бутовская, Л.П. Круль, А.А. Рогачёв, М.А. Ярмоленко, А.В. Рогачёв, Д.В. Тальский, Н.Ю. Бойцова, В.А. Осипов	101
Дисперсные субстанции из триглицеридов и производных полигексаметиленгуанидина для защиты смазочных охлаждающих жидкостей от биоповреждений	
И.С. Михаловский, В.А. Тарасевич, В.Е. Агабеков, Е.Н. Волнянко, М.В. Самойлов	102
Создание функционально-активных текстильных материалов	
И.Л. Поболь, В.Н. Кохнюк, А.М. Прудник, Е.Г. Замостоцкий	103
Приоритетные и мнимые проблемы в трибологии эндопротезов суставов	
В.В. Савич	104
Межфазные взаимодействия фосфатов декстрана с противоопухолевым веществом проспидином	
С.О. Соломевич, П.М. Бычковский, Т.Л. Юркштович, Н.В. Голуб, В.А. Алиновская, Р.И. Костерова ...	105
СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ. Секция 6. Фторполимеры: получение, исследования, применение	107
Effects of Radiation, Iodination and Ionization on the Opto-Electrical Properties of Natural and Synthetic Polymer Composites	
М.М. Hossain, M.R. Akter, N.K. Zahan, M.R. Alam	109
Промышленный технолого- и эколого-аналитический контроль в фторорганическом производстве Кирово-Чепецкого химического комбината	
З.Л. Баскин	110
Смена технологической парадигмы в производстве высокопрочных триботехнических фторкомпозитов	
В.В. Воропаев, С.В. Авдейчик, А.А. Скаскевич, В.А. Струк, Г.Н. Горбацевич	111
Применение композиционных материалов Флувис и Суперфлувис в компрессоростроении	
П.Н. Гракович, В.А. Шелестова, С.Г. Данченко, А.В. Смирнов, И.А. Шкурский	112
Мелкодисперсный фторопласт-4 для функциональных покрытий	
Л.Ф. Иванов, Л.А. Калинин, В.Ю. Сериков	113
Антифрикционный нанокомпозит на основе политетрафторэтилена	
О.В. Кропотин, Ю.К. Машков, О.А. Кургузова	114
Исследование нанокомпозитов на основе ПТФЭ и Al₂O₃	
А.А. Охлопкава, А.Г. Аргунова	115
Придание улучшенных и специальных свойств синтетическим волокнистым материалам на основе их модифицирования фторполимерами	
Н.П. Пророкова, В.М. Бузник	116
Трибологическое поведение и структура композитов на основе политетрафторэтилена и терморасширенного графита	
В.М. Шаповалов, А.В. Наумкин, А.С. Юдин	117
СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ. Секция 7. Механика полимерных композитов и моделирование	119
Effect of Particle Size Distribution of Two-Component Composites on Their Stress-Strain State	
T.V. Ryabchenko, H. Choe	121
Analysis of a Pull-Out Test with Real Specimen Geometry	
S.F. Zhandarov, E. Mäder	122
Тепловое расширение органопластиков на основе полиамида-6	
А.И. Буря, Э.В. Ткаченко	123

Моделирование масштабной зависимости прочности волокон С.Ф. Жандаров, В.Н. Докучаев	124
Упругие свойства тканых композитов на полимерной основе с дисперсными антифрикционными добавками В.И. Колесников, В.В. Бардушкин, А.П. Сычев, А.А. Сычев, В.В. Даньков	125
Контакт цилиндра с ортотропной полуплоскостью (слоем) из волокнистого композита В.В. Можаровский, Н.А. Марьина	126
Деформация частиц порошка титана стальным пуансоном и пуансоном с эластичной облицовкой В.В. Савич, А.И. Шелухина, С.А. Пронкевич, В.М. Горохов	127
Исследование акустических характеристик звукопоглощающих композитов на основе льняных и полимерных волокон В.П. Сергиенко, С.Н. Бухаров, Н.В. Якимович	128
Конечноэлементный гидродинамический анализ узлов трения с использованием программных продуктов «BVFEM» И «ANSYS» С.В. Шилько, Е.М. Петроковец, М.В. Зернин, А.В. Мишин, Н.Н. Рыбкин	129
Экспериментальная оценка величины коэффициента звукопоглощения внутренних поверхностей салона транспортных средств Н.В. Якимович	130
СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ	131
Wear behaviour of the Polyimide Composites Reinforced with Different Fibres Irina Hussainova, Gai Zhao, Maksim Antonov	133
Nano-Hole Formation in Dye-Filled Polymer Film and Multilayered System by 405 nm Laser Irradiation L. Ivanov, K. Grytsenko, Yu. Kolomzarov, P. Lytvyn, V. Ksianzou, S. Schrader, A. Kryuchin, I. Gorbov, O. Tolmachev, Yu. Slominsky	134
Polymeric dye films by gas phase deposition E. Tolstopyatov, K. Grytsenko, Yu. Kolomzarov, P. Lytvyn, O. Navozenko, S. Schrader, O. Tolmachev, Yu. Slominsky, O. Sakhno	135
Технологические аспекты формирования зоны контакта компактно-пористых материалов В.М. Александров	136
Модифицирующие добавки к полиэтилену на основе возобновляемого лесохимического сырья М.П. Бей, А.Ф. Петрушеня, В.В. Яценко, А.П. Ювченко, Ю.Н. Жидков, Н.В. Пучкова	137
Смазочные материалы на гидратированных кальциевых мылах с использованием побочных и промежуточных продуктов нефтепереработки и многоатомных спиртов А.Л. Богданов, С.Ф. Ермаков, Р.А. Шулдыков	138
Фотохромные AgCl содержащие золи (золи Г.А. Браницкого) Г.А. Браницкий	139
Полимерные композиционные материалы на основе модифицированной полиамидом феноло-формальдегидной матрицы, армированной дискретными комбинированными волокнистыми наполнителями М.В. Бурмистр, В.С. Бойко, Е.А. Липко, К.О. Герасименко	140
Исследования влияния дисперсных наполнителей на механические свойства эпоксидных композиций С.Н. Бухаров, Э. Мачановский	141
Формирование поверхности трения антифрикционных органоластов Д.И. Буяев, А.С. Юдин, А.А. Захаров, О.В. Афоничева, А.П. Краснов	142
стойкость к истиранию резин с высокодисперсными добавками К.В. Вишневецкий, Ж.С. Шашок, Н.Р. Прокопчук, Ю.В. Баранова	143

Применение сплава $CuSi_3$ в качестве антифрикционного материала при восстановлении шнеков экструдеров	
А.М. Власовец, В.Я. Лебедев	144
Разработка трехкомпонентного смесительно-дозировочного устройства для реализации модификации полиуретановых компонентов наноразмерными соединениями	
С.В. Выдумчик, Т.Г. Павлюкевич, С.А. Островский, М.А. Ксенофонтов	145
Исследование формуемости, усадки и коробления термопластов, перерабатываемых по экструзионно-прессовой технологии	
С.А. Герасименко	146
Механические свойства пленок на основе белка протамина сульфата и полисахаридов	
К.С. Гилевская, Е.В. Скопцов, В.Е. Агабеков	147
Отверждаемая термостойкая композиция	
А.И. Глоба, Э.Т. Крутько, И.И. Глоба	148
Эффективность защиты ценных бумаг модифицированными волокнами	
В.А. Гольдаде, Н.В. Кузьменкова, В.Е. Сыцко, Е.С. Гараева, М.А. Ковалевич	149
Композиционные материалы и технология изготовления беспилотных летательных аппаратов	
А.И. Гордиенко, А.Г. Бакаев, Р.Я. Синдаров	150
Экспериментальное обоснование применения волокнисто-пористого фторопласта «Грифтекс» для герметизации раневой поверхности печени	
П.Н. Гракович, В.В. Кудло, И.Г. Жук, И.С. Цыдик, Н.И. Прокопчик	151
Формирование полимерных порошковых покрытий с градиентным наполнением пластичными металлами	
А.Я. Григорьев, Е.Э. Дмитриченко, И.Н. Ковалева, Г. Вишневская-Вейнерт	152
Ni-P+ПТФЭ покрытия в слабонагруженных узлах трения	
Д.М. Гуцев	153
Огнестойкие безгалогенные композиты на основе полиамида 6	
А.А. Давыдов	154
Динамические механические свойства сегментных сополиэфиримидов	
А.Л. Диденко, В.Е. Смирнова, А.В. Зарбуев, В.Е. Юдин, В.М. Светличный, В.В. Кудрявцев	155
Исследование влияния конфигурации маслоотводящих канавок на фрикционные свойства материала на основе меди (МК-5)	
А.А. Дмитриевич, Д.И. Сарока, А.В. Лешок	156
Применение модифицирующей добавки для улучшения прочностных свойств эластомерных композиций	
Р.М. Долинская, Т.Д. Свидерская, Н.Р. Прокопчук	157
Высоконаполненные бемитом композиционные материалы на основе термопластичных полимеров	
В.И. Дубкова, Н.П. Крутько, Л.В. Судник, В.С. Нисс, В.Г. Комаревич	158
Битумно-полимерная композиция для получения светопоглощающего покрытия солнечного коллектора	
В.П. Дубодел, В.М. Шаповалов, И.И. Злотников	159
Влияние кратности переработки из расплава на свойства полиэтилентерефталата, армированного короткими стеклянными волокнами	
В.В. Дубровский	160
Высококочувствительный емкостной преобразователь для измерения электрических показателей композиций на основе вторичных полимерных материалов	
В.И. Зубко, Д.В. Зубко	161

Подшипники скольжения на основе антифрикционных металлополимерных материалов с многослойной структурой поверхности скольжения П.Г. Иваночкин, Н.А. Мясникова, А.В. Смелов	162
Инжекционное формование керамики с использованием термопластичного полимера А.Ф. Ильющенко, С.Г. Барай, С.Б. Виолентий	163
Исследование триботехнических свойств фрикционных материалов на основе целлюлозных волокон А.Ф. Ильющенко, А.А. Дмитриевич, Д.И. Сарока, Е.В. Голод, А.Н. Роговой, П.Н. Криволапов	164
Моторное масло с минеральной присадкой для приработки двигателей внутреннего сгорания (ДВС) Е.В. Карпинчик, В.Е. Агабеков, М.М. Мовсумзаде, В.С. Комаров	165
Модификация резин в среде полиметилсилоксанов А.В. Касперович, В.В. Мяделец	166
Исследование стойкости к истиранию полиуретановых компаундов С.А. Кижаяев, Н.М. Евдокименко, В.А. Студинский	167
Исследование стойкости полиуретановых компаундов к действию жидких агрессивных сред С.А. Кижаяев, Н.М. Евдокименко, В.А. Студинский	168
Триботехнические свойства полимерных композитов на основе ПА-6 с объемным наполнением наночастицами меди и кобальта И.Н. Ковалева, F. Zivic	169
Конденсированный фосфат никеля-цинка — новая противоизносная и противозадирная присадка к пластичным смазкам В.И. Колесников, В.В. Авилов, Ю.Ф. Мигаль, М.А. Савенкова	170
Использование полимерных волокнистых материалов для очистки жидкостей от долгоживущих радионуклидов А.Г. Кравцов, С.В. Зотов, А.В. Зубарева	171
Получение лиофилизированных порошков полисахаридных наночастиц в присутствии криопротекторов А.Н. Красковский, В.И. Куликовская, Т.Г. Шутова, В.Е. Агабеков	172
Пленкообразующие композиции на основе сложных олигоэфиров Э.Т. Крутько, Е.Ф. Кудина, А.В. Зенькова	173
Влияние модификации на сорбционную способность пенополиуретановых композитов М.А. Ксенофонтов, Л.Е. Островская, В.С. Васильева	174
Особенности воздействия изoeлектрического нагрева на водный раствор силиката натрия Е.Ф. Кудина, В.Ф. Бабахин	175
Оценка и обеспечение эквивалентности натуральных и лабораторных трибоиспытаний В.Г. Кудрицкий, В.Л. Басинюк, Е.И. Мардосевич	
Механизм износа алмаза при контактном взаимодействии алмаз-алмаз А.М. Кузей	177
Триботехнические свойства порошковых БрОФ10-1+WC-Co покрытий для узлов трения технологического оборудования А.В. Купреев, Ю.Л. Бобарикин, А.Н. Швецов, С.В. Шишков	178
Особенности проведения триботехнических испытаний композитов на основе ПТФЭ А.В. Купреев, К.В. Пантелеев, С.Г. Данченко, С.М. Мартыненко, И.В. Царенко	179
Дисперсионные среды для абразивной обработки металлов на основе водных бинарных композиций ПЭГ — ПАВ П.Н. Логвиненко, Л.О. Карсим, Г.Е. Глиевая, С.В. Рябов	180

Радиочастотный метод борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями в нефтедобывающей промышленности В.А. Ломач, В.А. Банный, А.В. Макаревич	181
Биодеградируемые нано- и микрогели на основе фосфатов крахмала: получение и физико-химические свойства В.О. Мирончик, Т.Л. Юркштович, Н.В. Голуб, П.М. Бычковский, В.А. Алиновская, Р.И. Костерова, С.О. Соломевич, Н.К. Юркштович	182
Новый теплостойкий эпоксидный углепластик для пар трения-скольжения Э.С. Митрофанова, А.В. Студенцева, В. И. Румянцев, В.К. Крыжановский	183
Разработка композиционного полимерного материала и технологии для защитной пластмассовой оплетки А.К. Новиков, А.В. Сиканевич, А.А. Давыдов, Н.Ф. Соловей	184
Влияние наполнителей на физико-химические свойства инсектицидных полимерных пленок К.С. Носов, Е.В. Лашкина, О.А. Ермолович	185
Влияние органоглин на свойства натурального каучука и шинных резин С.С. Песецкий, Ж.С. Шашок, П.В. Васильев, К.В. Вишнеvский, С.П. Богданович, В.Д. Федоров	186
Электретный эффект при крейзинге полиэтилентерефталатных волокон Л.С. Пинчук, А.А. Шевцов, К.В. Овчинников, С.В. Зотов	187
Трибохимические процессы и их влияние на фрикционные свойства антифрикционных полимеров А.К. Погосян, А.Н. Карапетян, К.В. Оганесян	188
Долговечность эластомерных композиций, содержащих фторорганическую добавку В.Д. Полоник, Н.Р. Прокопчук, Ж.С. Шашок	189
Разработка метода получения капролактама из отходов производства полиамида-6 В.П. Прокопович, И.А. Климовцова	190
Получение полимерных композиционных сцинтилляторов на основе стирола и борорганических соединений В.П. Прокопович, И.А. Климовцова, И.И. Уголев	191
Полимерные материалы на основе молочной кислоты для производства композитов А.А. Рыбаков, Т.В. Пырх, М.В. Стефаненко, Л.А. Щербина, Ю.М. Можейко	192
Исследование деформации полиакрилонитрильных волокон в процессе термоокисления А.А. Рыбаков, Л.А. Щербина, И.А. Будкуте, Ю.В. Огулик, Н.Н. Свинцицкая	193
Повышение износостойкости деталей щелевых уплотнений центробежных насосов методом электроэрозионного легирования их поверхности В.П. Селькин, С.В. Сосновский, А.С. Михневич	194
Трибологические свойства монослоев Ленгмюра – Блоджетт триакоктановой кислоты А.Е. Соломянский, Г.К. Жавнерко, В.Е. Агабеков	195
Изнашивание деталей щелевых уплотнений рабочих колес магистральных насосов и основные пути снижения его интенсивности С.В. Сосновский, В.П. Селькин	196
Композитные пленки полиэтилена с бинарным наполнителем Д.Э. Темнов, Е.Е. Фомичева, В.В. Бурда, Ю.А. Гороховатский	197
Использование минеральных ископаемых республики в качестве антипиренов для полимерных материалов В.В. Тимошенко, С.Н. Бобрышева, Д.Л. Подобед	198
Влияние наполнителей на термоокислительную стойкость полиэтилена, стабилизированного промышленным антиоксидантом фенольного типа В.В. Тимошенко, Д.Г. Лин, Е.В. Воробьева	199

Влияние состава и условий формирования стеклокристаллических люминофорных покрытий на их характеристики	
О.В. Урецкая, Н.Е. Дробышевская, Е.Н. Подденежный, Е.Е. Трусова, Н.М. Бобкова	200
Полиэлектrolитные гидрогели на основе гидролизата полиакрилонитрильного волокна, сшитого продуктами термического разложения персульфата аммония	
Е.К. Фомина, О.В. Кастюкевич, Л.Б. Бражникова, Е.А. Семененко, Ю.И. Матусевич, А.П. Майсеёнок	201
Модификация поверхности полимеров при радиационной обработке	
А.А. Харченко, Д.И. Бринкевич, М.Г. Лукашевич, В.Б. Оджаяев	202
Моделирование температурного поля в паре трения при неидеальном тепловом контакте	
М.Ю. Целуев	203
Модель пропитки древесины вязкой жидкостью под давлением	
А.Е. Чаадаев, В.И. Лисицын	204
Поляризационные свойства многослойных композиционных покрытий на основе диазопроизводного салициловой кислоты и органических полимеров	
Ж.Д. Чапланова, А.А. Муравский, В.Е. Агабеков, В.С. Микулич, Е.А. Грачева	205
Исследование электрофизических свойств эмульсий углеводов	
А.Л. Чеховский, Е.А. Цветкова, В.А. Гольдаде	206
Влияние добавок полидисперсных частиц структурированного углерода на водопоглощение полиамидных покрытий машиностроительного назначения	
В.М. Шаповалов, А.М. Валенков, В.М. Цырульник	207
Механизм влияния активных медьсодержащих наполнителей на эффективность ингибирования полиолефинов промышленными антиоксидантами	
В.М. Шаповалов, Д.Г. Лин, Е.В. Воробьева	208
Анализ напряженно-деформированного состояния композита при взаимодействии матрицы и зерен наполнителя	
А.О. Шимановский, Г.М. Кузёмкина, Ю.М. Плескачевский, О.И. Якубович	209
Гелеобразующие композиции на основе сополимеров акриламида и акрилата натрия	
Л.Б. Якимцова, С.Н. Ларикова, Д.А. Господарев, А.В. Макаревич	210
ЗАОЧНЫЕ ДОКЛАДЫ	211
Особенности образования наноструктур в полиимид-фторопластовых композиционных материалах при ударно-волновой обработке	
Н.А. Адаменко, А.В. Казуров, И.В. Сергеев, П.А. Бессонов	213
Влияние наноприсадок на триботехнические характеристики смазочных материалов	
О.Б. Аكوпова, Н.В. Усольцева, М.В. Якемсева, А.А. Гвоздев	214
Исследование влияния бентонита на структуру политетрафторэтилена	
Е.С. Афанасьева, С.А. Слепцова	215
Окислительные процессы в Ti-пленках при отжиге на воздухе	
Д.А. Багрец, В.В. Рубаник	216
Атмосферостойкие свойства огнезащитно-огнетушащих суспензий на основе трепела и бентонита	
В.В. Богданова, О.И. Кобец, А.А. Людко	217
Синтетические антипиреновые составы для сэвилена	
В.В. Богданова, Л.В. Радкевич	218
Метод определения долговечности материалов для изделий легкой промышленности	
В.Д. Борозна, Ю.М. Кукушкина, А.Н. Буркин	219
Композиты на основе ПТФЭ и базальтового волокна	
С.В. Васильев, А.А. Охлопкова, Е.В. Панова	220

Структурные исследования полимер — силикатных композитов триботехнического назначения Ф.Д. Васильева, С.А. Слепцова	221
Термостойкие композиционные материалы полученные на основе аминоксодержащих кремний-органических соединений М.Г. Велиев, О.В. Аскеров, М.И. Шатинова, А.Ф. Гулиева	222
Особенности получения алкидно-стирольных смол Е.И. Винглинская, Н.Р. Прокопчук, А.Л. Шутова	223
Разработка самосмазывающихся триботехнических материалов на основе политетрафторэтилена и модифицированных цеолитов О.В. Гоголева, П.Н. Петрова	224
Металлополимерный композит с памятью формы со специализированной коммунтирующей фазой В.В. Гончаренко, П.И. Лобода, И.О. Микулёнок, М.В. Гончаренко, Г.В. Герасимов, Ю.Ф. Евдокименко, Д.Г. Швачко	225
Новые низкомолекулярные формы, выделенные из ультрадисперсного политетрафторэтилена О.М. Горбенко, Л.Н. Игнатъева, В.Г. Курявый, Д.В. Маштальяр, А.Д. Павлов, В.М. Бузник	226
Хелатные волокнистые иониты Фибан X-1 И X-2 для очистки воды В.И. Грачек, А.А. Шункевич, Р.В. Марцынкевич, О.И. Исакович, Е.И. Вечер	227
Нанокompозиты для узлов трения Н.В. Губанова	228
Синтез сополимера на основе п-(2-этоксиметил) циклопропилстирола и малеинового ангидрида К.Г. Гулиев, Г.З. Пономарева, Р.В. Джафаров, А.Т. Алыев, А.А. Нагиева	229
Термоэластопластичные композиции на основе смеси полиэтилена, полипропилена и межфазных добавок З.Н. Гусейнова, С.А. Рзаева	230
Получение полиэлектролитных гидрогелей на основе высокомолекулярного карбоксилированного полиакриламида Т.Г. Данилович, Е.В. Гринюк, М. Газинежад	231
Исследование функциональных свойств и структуры поверхности композиционных абразивных материалов на основе полимерной матрицы Т.Г. Данилович, Е.А. Семененко, Н.С. Хомич, О.П. Корогода, А.Н. Хамутовский	232
Создание высоконаполненных композиций на основе вторичного полиэтилена и песка «Гызылджа» В.Д. Джафаров, Г.Р. Бабаева	233
Технология продления ресурса трибосистем с помощью наномодификатора фуллерен C₆₀ Н.Ф. Дмитриченко, О.Н. Билякович, А.Н. Савчук, О.А. Миланенко, В.И. Лизанец	234
Массивы углеродных нанотрубок на гибкой полимерной подложке для сенсоров деформации А.Б. Зимин, Б.Г. Шулицкий, Л.Я. Портнов, А.Н. Егоров	235
Улучшение межфазного взаимодействия компонентов композиционного материала, армированного арамидным волокном А.Р. Ибатуллина	236
Полимеры и ТБК активные продукты В.А. Игнатенко, А.В. Лысенкова, Б.К. Кузнецов	237
Композиционные материалы на основе новых эпоксидных смол Н.Я. Ищенко, А.З. Чалабиева	238
Мониторинг микроструктуры целлюлозы в древесине в неоднородном температурном поле Н.С. Камалова, Н.Ю. Евсикова, В.И. Лисицын, Н.Н. Матвеев, В.В. Саушкин	239

Влияние природы отвердителя на диэлектрические свойства полимеров на основе поливинилтетразола	
Р.А. Кастро, Е.Н. Лушин	240
Определение температуры стеклования поли-N-метилаллил-5-винилтетразола методом диэлектрической спектроскопии	
Р.А. Кастро, Е.Н. Лушин	241
Структурно-механические исследования полимер-силикатных композитов триботехнического назначения	
Ю.В. Кириллина, С.А. Слепцова	242
Вероятностная модель старения полимерной изоляции	
В.В. Киселевич	243
Ахроматические поляризаторы на основе йодсодержащих ПВС-композиций	
Т.Г. Космачева, Н.А. Иванова, В.Е. Агабеков, О.А. Дайнеко	244
Базальтовые пластики, модифицированные (алкокси, аминоалкокси) производными титана	
С.Н. Кузьменко, Н.Я. Кузьменко, П.И. Баштанчикк, Н.Н. Ласковенко	245
Влияние полифункциональных добавок на структуру и свойства композитов на основе бинарных смесей эластомеров	
Н.И. Курбанова, А.М. Кулиев, Д.С. Гулиева, Ф.С. Гулиева	246
Наноструктурированные полиуретановые системы	
Н.Н. Ласковенко, Е.В. Лебедев	247
Технология изготовления полимерных деталей автомобиля	
С.А. Леонов	248
Водно-органические композиции для придания огнебиозащитных свойств древесине	
Н.К. Лунева, Т.И. Езовитова	249
Композиционный материал для огнезащиты металлической конструкции	
Н.К. Лунева, Т.И. Езовитова	250
Изучение эффективности альгинатсодержащей антирефлюксной композиции <i>in vitro</i>	
М.В. Макаренко, С.А. Усанов	251
Исследование мезо-фенилзамещенного <i>Water</i> как молекулярного ротора для контроля вязкости золь-гель систем	
Ю.С. Марфин, Д.А. Меркушев, Г.А. Левшанов, Е.В. Румянцев, Е.В. Антина	252
Гибридные материалы на основе полимерных матриц с включением комплексов дипирролилметенов	
Ю.С. Марфин, Е.В. Румянцев, Е.В. Антина	253
Исследование воздействия деструктирующих факторов на материалы из отходов	
А.К. Матвеев	254
Фоточувствительный материал на основе сополимера, модифицированного акриловой кислотой	
Ю.И. Матусевич, Л.П. Круль	255
Пленкообразующие сополимеры малеинового ангидрида и защитные покрытия на их основе	
Л.В. Медякова, А.Ч. Аббасова, С.М. Мамедова, С.С. Гасанова, М.Ш. Султанова	256
Светочувствительные полимерные пленки на основе сополимеров аллилциннамата	
Л.В. Медякова, Э.А. Ибадов	257
Влияния свойств и выбор композиционных материалов для трубопроводов на основе их напряженного состояния	
В.В. Можаровский, С.А. Марьин	258
Функционализированные жидкие каучуки, как модификаторы полимерных композиций	
В.Д. Мышак, В.В. Семиног, В.П. Бойко, Е.В. Лебедев	259

Привитой блоксополимер на основе функционализованного сополимера этилена с винилацетатом и жидкого каучука как компатибилизатор резинопластов	
В.Д. Мышак, Е.Н. Сирый, В.К. Грищенко, Е.В. Лебедев	260
Особенности получения высокопористых материалов с использованием СВЧ энергии	
А.В. Павленок, Е.Н. Подденежный, А.А. Бойко	261
Гибридные органо-неорганические композиты, обладающие холинэстеразной активностью: получение и электролитная активация	
В.В. Паентко, Ю.В. Матрунчик, А.К. Матковский	262
Разработка новых антифрикционных теплоаккумулирующих полимерно-металлических материалов	
Е.А. Памфилов, Е.В. Алексеева	263
Механокомпозиты — эффективные наполнители для разработки полимерных композитов триботехнического назначения	
П.Н. Петрова, А.А. Охлопка, Т.А. Исакова	264
Фазовый состав и механические свойства бинарнолегированных углеродных покрытий	
Д.Г. Пилипцов, А.В. Рогачёв, Н.Н. Федосенко, А.С. Руденков	265
Влияние износа торцовых фрез на шероховатость обработанной поверхности	
Д.Ю. Пименов	266
Композиционные материалы на основе бутадиен-стирольного каучука, содержащие органические порошкообразные добавки	
И.Н. Пугачева, С.С. Никулин, В.А. Седых	267
Синтез нанокпозиционных покрытий на основе полимеров: молекулярная структура и свойства	
А.А. Рогачёв, М.А. Ярмоленко, Д.Л. Горбачев, А.В. Рогачёв, Д.В. Тапальский	268
Фторполимерные пленки с химически модифицированной поверхностью: электретенные свойства	
А.А. Рычков, А.Е. Кузнецов, Д.А. Рычков, В.А. Иванов, О.В. Кужельная	269
Новые химически активные разбавители для эпоксидных смол	
Ш.Ф. Садыгов, Н.Д. Ищенко, С.С. Гасанова, Х.Г. Назаралиев	270
Некоторые механические характеристики и сегрегационные процессы в приповерхностных слоях железнодорожного колеса	
А.В. Сидашов, А.Т. Козаков	271
Модификация резины уплотнительного назначения нанодисперсными графитами	
М.Д. Соколова, М.Л. Давыдова	272
Исследование распределения частиц сверхвысокомолекулярного полиэтилена в полимерэластомерном композите	
М.Д. Соколова, Н.В. Шадрин, А.А. Дьяконов	273
Исследование структуры и свойств вторичных вулканизатов на основе бутадиен-нитрильного каучука	
Е.С. Суздальцева, В.И. Клочков, Н.В. Андреева, А.Д. Беглецова, С.К. Курлянд	274
Адгезионные и триботехнические свойства модифицированных тонкослойных покрытий на основе ароматического полиамида фенилон	
В.И. Сытар, А.В. Клименко, М.В. Бурмистр, А.Н. Дудка	275
Влияние термической обработки на триботехнические свойства композиционных материалов на основе фенилона	
В.И. Сытар, И.М. Кузьяев, А.В. Лободенко, М.Н. Кудынец	276
Антифрикционные фторопластовые композиты для работы во влажных средах	
А.А. Томас, А.Ф. Будник, К.В. Берладир, В.А. Свицерский	277

Исследование продуктов износа масломодифицированных композитов из ПТФЭ методом ИК-спектроскопии	
А.Л. Федоров, П.Н. Петрова	278
Влияние легирующих добавок на структуру и трибологические свойства алмазоподобных покрытий	
М.М. Хрущов, Е.А. Марченко	279
Получение композиционных материалов на основе двойной модификации сверхмодульных полиэтиленовых волокон	
М.Ф. Шаехов, И.А. Гришанова, О.С. Мигачева	280
Наполненные композиты на основе привитой винилциклопропанкарбоновой кислоты к полипропилену	
Р.З. Шахназарли, Н.Я. Ищенко, А.М. Гулиев.....	281
Экспресс-диагностика трибосопряжений в ДВС автотранспортной техники	
Д.А. Шмельков, Р.Г. Нигматуллин, Л.Ш. Шустер, И.Р. Нигматуллин	282
Применение вторичного полипропилена в эластомерных композициях в качестве модифицирующей добавки	
Е.И. Щербина, Р.М. Долинская, Т.Д. Свидерская.....	283
Физико-механические характеристики композита полимер — многостенные углеродные нанотрубки	
М.В. Якемсева, Н.В. Усольцева.....	284
АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ	285

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ И ТРИБОЛОГИЯ
(ПОЛИКОМТРИБ-2013)
24—27 июня 2013 г., Гомель, Беларусь

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФРИКЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОЭЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

И.Г. Горячева

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва, Россия; goryache@ipmnet.ru

Введение

Основным источником возникновения силы трения при контактном взаимодействии высокоэластичных материалов является упругий гистерезис, имеющий место в поверхностных слоях взаимодействующих тел при их циклическом деформировании. Для моделирования фрикционного взаимодействия таких материалов используются модели несовершенного упругих тел, в частности, модели вязкоупругого материала [1].

В докладе излагаются некоторые математические модели для изучения количественных зависимостей характеристик трения высокоэластичных материалов от механических свойств взаимодействующих тел, их структуры, макро- и микро- геометрии, нагрузки и скорости относительного скольжения, свойств поверхности и промежуточной среды.

Постановки контактных задач

Рассматриваются контактные задачи в двумерной и трехмерной постановках о скольжении с постоянной скоростью V системы недеформируемых неровностей или жесткого индентора с регулярным поверхностным рельефом по вязкоупругому основанию. Механические свойства основания описываются моделью Кельвина с одним или со спектром времен релаксации:

$$\sigma_i + \frac{\lambda_i}{1 + \alpha_i} \frac{d\sigma_i}{dt} = \frac{E_{1i}}{1 + \alpha_i} \left(\varepsilon + \lambda_i \frac{d\varepsilon}{dt} \right)$$

$$p = \sum_{i=1}^n \sigma_i$$

где p — давление, ε — деформация, α_i , λ_i , E_{1i} ($i = 1, \dots, n$) — параметры модели. В качестве условий на границе раздела взаимодействующих тел рассматриваются граничное трение, наличие адгезионных сил или несжимаемой жидкости в зазоре между телами (рис. 1).

Решение поставленных пространственных контактных задач с использованием метода полос [2] сведено к двумерным задачам в квазистатической постановке. Для их анализа применены аналитические методы.

Результаты и их обсуждение

Анализ полученных решений показал, что распределение контактных давлений, размер фактической области контакта и сила трения существенно зависят от параметров рельефа поверхности и условий взаимодействия. В частности, показано, что наличие адгезионных сил в зазоре между телами приводит к росту силы трения, в то время как наличие в зазоре несжимаемой жидкости ее уменьшает. При этом зависимость силы трения от скорости имеет немонотонный характер.

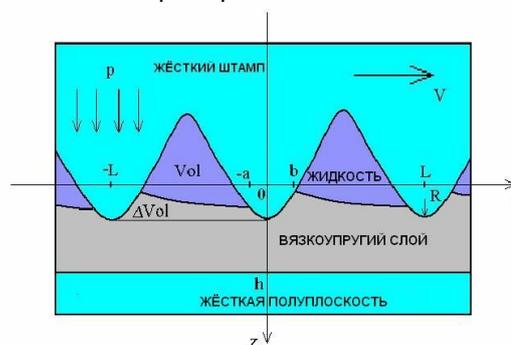


Рис. 1. Схема контакта жесткого индентора с регулярным рельефом и вязкоупругого слоя

Полученные результаты могут быть использованы для управления силой трения при различных условиях взаимодействия.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 11-01-00650 и 12-08-90434).

1. Goryacheva I.G. Contact Mechanics in Tribology, Dordrecht/Boston/London, Kluwer Academic Publishers. — 1998
2. Kalker J.J. Three-Dimensional Elastic Bodies in Rolling Contact. Series: Solid Mechanics and Its Applications. — 1990 (2), Hardcover
3. Шептунов Б.В. Ноздрин М.А., Горячева И.Г. Контактная задача о скольжении штампа по вязкоупругому основанию // Трение и износ. — 2013 (33), № 3
4. Горячева И.Г., Маховская Ю.Ю. Моделирование трения на различных масштабных уровнях // Известия РАН. Механика твердого тела. — 2010, № 3, 117—127
5. Горячева И.Г., Шпенев А.Г. Моделирование скольжения штампа с регулярным рельефом подошвы по вязкоупругому основанию при наличии жидкой смазки // Прикладная математика и механика. — 2012 (74), № 5, 754—763

MULTIFUNCTIONAL INTERPHASE ENGINEERING IN COMPOSITES

E. Mäder^{1,2}, S.-L. Gao¹, J. Zhang¹, N. Wiegand¹¹Dept. Composite Materials, Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden, Germany; emaeder@ipfdd.de²Institute of Materials Science, Technische Universität Dresden, Germany

Abstract

The formation of a multifunctional composite interphase through an isotropic ultrathin network of carbon nanotubes (CNTs) will be reported. The CNTs initially were deposited onto the glass fibre surfaces and then the CNTs-glass fibres were embedded into the polymeric matrix, so that the network of CNTs concentrates an electric pathway in the interphase region between the fibre and polymeric matrix. The semiconductive interphase demonstrates a high sensitivity to the micro stress/strain. The strain sensitivity factor of CNTs-glass fibre is much higher than that of conventional metallic material, which offers a unique opportunity as an *in-situ* micro sensor. Besides sensing the structural health of composites, the semiconductive interphase with microcrack could be used as a new concept of an electromechanical switch. Further, we found that the interphase is very sensitive to various transitions of polymers.

Experimental

CNT-networks were formed on glass fibre surfaces by aqueous dispersion with 0.05 wt% MWCNTs (NC3101, Nanocyl S.A., Belgium) either by dip-coating or electrophoretic deposition [1]. The coated samples were dried at 40 °C in a vacuum oven for 8 h. In Fig. 1, scanning electron microscopy (SEM) images show the morphology of CNT networks on the glass fibre surface.

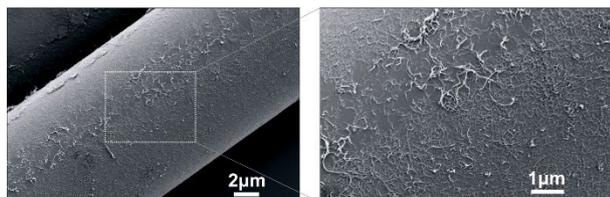


Fig. 1. Morphology of CNT networks on the glass fibre surface

Single CNT-glass fibre model composites with epoxy resin matrix were made adapted to either fragmentation or pull-out tests, as described elsewhere [2]. The samples were isothermally cured at 80 °C for 12 h. The curing of epoxy was determined by the modulated differential scanning calorimetry (DSC, Q2000 MDSC, TA Instruments, USA). For the isothermal curing test, the temperature was raised to 80 °C at 8 K/min and then held for 8 hours. The electrical resistance of the single-fibre model composite under tensile load was monitored simultaneously with mechanical stress-strain behaviour, the test velocity was 0.2 mm/min. A Keithley 2000 digital multimeter and tensile grip were connected electrically using thin copper wires.

Results and discussion

Fig. 2 shows the results of the single fibre pull-out tests for differently treated fibres. Lowest values were determined for the control fibres (unsized) and stepwise increased values for EPD-C (CNT) and EPD-G (GLYMO) treated fibres.

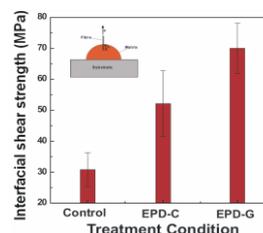
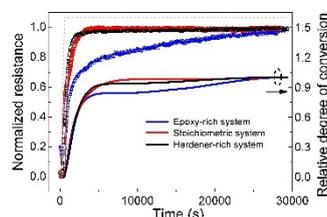


Fig. 2. Interfacial shear strength derived from pull-out tests

The fractional resistance increase demonstrated the semiconductive interphase can be used as *in-situ* interphase sensor to monitor the microcracks in composites. Additionally, we found the interphase sensor also possesses a brilliant ability of early warning, which displays the alarm signal before failure of composites.

The electrical resistance of interphase could characterize the curing process of epoxy. For three different systems, epoxy-rich, stoichiometric and hardener-rich, the resistances increase with the gradually cross-linked networks (Fig. 3). Especially, the nanotube networks are still sensitive to the motion of molecular chains after curing the polymers. We clearly see the β curves resemble to those of normalized resistance R_t , suggesting that the ultrathin CNT networks concentrated in the interphase could work as *in-situ* chemical sensor and R_t could be considered as a cure index.

Fig. 3. Comparison of the resistance variations (thick lines) and the relative degree of conversion β based on DSC test (thin lines) as a function of the isothermal curing time

- Zhang J., Zhuang R.C., Zhang J., Liu J.W., E. Mäder, Heinrich G., Gao S.L. Functional Interphases with Multi-Walled Carbon Nanotubes in Glass Fibre/Epoxy Composites // Carbon. — 2010, 48 (8), 2073—2281
- Zhang J., Liu J.W., Zhuang R.C., Mäder E., Heinrich G., Gao S.L. Single MWNTs-Glass Fibre as Strain Sensor and Switch // Advanced Materials. — 2011, 23(30), 3392—3397

РЕАКЦИОННАЯ ЭКСТРУЗИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

С.С. Песецкий, Ю.М. Кривогуз

Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь;
otdel5mpri@tut.by

В настоящее время происходит быстрое развитие технологий, основанных на использовании реакционных процессов в расплавах полимеров. Этому способствовало обоснование возможности применения экструдера в качестве химического реактора непрерывного действия.

В докладе систематизированы данные о важнейших направлениях работ по описанию особенностей процесса реакционной экструзии (РЭ), дается информация об экструзионных реакторах непрерывного действия, специфике процессов смешения в них, важнейших факторах, влияющих на ход макромолекулярных превращений, типах химических процессов, реализуемых в материальном цилиндре, современном аппаратурном оформлении технологии РЭ.

Охарактеризованы полимеризационные и сополимеризационные процессы в экструзионных реакторах (синтезы полиамидов, полиэфиров, полиуретанов, полилактидов, биополимеров).

РЭ широко применяется для введения различных химически активных атомов или групп в состав макромолекул с целью химического модифицирования уже существующих полимеров. Подобного рода процессы могут быть определены как реакции функционализации полимеров [1].

Особое внимание уделено прививке полярных ненасыщенных мономеров к макромолекулам полимеров и сополимеров олефинов в процессе РЭ. Описаны реакции, протекающие в экструзионном реакторе при прививке мономеров и методы их оценки, побочные реакции и методы управления ими, влияние рецептурных и технологических факторов на химизм протекающих реакций, особенности кинетики и механизма реакций прививки, специфика прививки полярных мономеров к смеси олефиновых полимеров и сополимеров, структура, свойства и применение функционализированных полиолефинов и их смесей.

Приводятся примеры осуществления процессов сшивания полиолефинов и их сополимеров, гетероцепных полиамидов и полиэфиров, динамической вулканизации термопластичных эластомеров, контролируемой деструкции полипропилена, полиэтилентерефталата, биополимеров.

Даны схемы отдельных реакций, протекающие с участием концевых групп полимеров (удлинение цепей гетероцепных термопластов), модификации функциональных групп полимеров (нейтрализация карбоксильных групп, блокирование концевых

функциональных групп). Описаны примеры трансреакций в смесях гетероцепных термопластов (реакции межцепного обмена, формирования интерполимеров, сополиамидов, сополиэфиров и графт-сополимеров).

Описаны специфика твердофазных процессов в экструзионных реакторах, а также реакционной компатибилизации с одновременным повышением ударной вязкости. Приведены примеры эффективных модификаторов ударной вязкости для смесей на основе конструкционных термопластов. Дана информация об использовании технологии РЭ для получения термопластичных нанокомпозитов.

Показано, что благодаря широким возможностям РЭ разработаны и реализуются в промышленном масштабе технология контролируемой деструкции полиэтилентерефталата. При надлежащем аппаратурном обеспечении данный процесс позволяет, используя вторичное полиэфирное сырье в контролируемых и стабильно воспроизводимых условиях непрерывно получать олигомерные продукты с четко фиксируемой молекулярной массой, которые могут быть применены в основном синтезе. На использовании специфических взаимодействий в смесях разнородных несовместимых полимеров основана их компатибилизация. Приводятся примеры, подтверждающие эффективность реакционной компатибилизации в смесях полиалкилентерефталатов и полиамидов с полиолефинами [2].

1. Jurkowski B., Pesetskii S.S., Krivoguz Y.M. Functionalization of olefinic polymer and copolymer in melt // In.: Polyolefin Blends. Edited by D. Nwabunma, T. Kyu. — Willey and Sons. Inc. Hoboken New Jersey. — 2008, ch. 10, 269—304
2. Jurkowski B., Pesetskii S.S. Functionalized polyolefins and aliphatic polyamide blends: interphase interactions, rheology and high elastic properties of melts // In.: Polyolefin Blends. Edited by D. Nwabunma, T. Kyu. — Willey and Sons. Inc. Hoboken New Jersey. — 2008, ch. 18, 527—555
3. Krivoguz Y. M., Pesetskii S.S., Jurkowski, B., Tomczyk T. Structure and properties of polypropylene/low-density polyethylene blends grafted with itaconic acid in the course reactive extrusion // Journal of Appl. Polym. Sci. — 2006 (102), 1746—1754
4. Pesetskii S.S., Jurkowski B., Davydov A.A., Krivoguz Y.M., Bogdanovich S.P. Metal-polymer nanocomposites produced by melt-compounding: interaction of aliphatic polyamide with metal particles // Journal of Appl. Polym. Sci. — 2007 (105), no. 3, 1366—1376
5. Krivoguz Yu.M., Guliev A.M., Pesetskii S.S. Free-radical grafting of trans-ethylene-1,2-dicarboxylic acid onto molten ethylene-vinyl acetate copolymer // Journal of Appl. Polym. Sci. — 2013 (127), no. 4, 3104—3113

МАСШТАБНЫЙ ФАКТОР В ТРИБОЛОГИИН.К. Мышкин¹, А.И. Свириденко², А.Я. Григорьев¹¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь;
mpri@mail.ru²Научно-исследовательский центр проблем ресурсосбережения НАН Беларуси, Гродно, Беларусь

Трибология является междисциплинарной областью знаний в силу своих связей практически со всеми естественными науками. Зародившись в недрах механики и широко используя ее методы, трибология в свою очередь стимулирует интерес механиков к неклассическим задачам, поставленным с учетом дискретности реального контакта и поверхностных сил. Постановка таких задач все время совершенствуется в связи с имеющей место тенденцией перехода к моделям с микро- и нанометровым масштабом. Кроме того, возможности современной вычислительной техники уже позволяют реализовать методы молекулярной динамики и рассматривать модели поведения при нормальной нагрузке и тангенциальном сдвиге для относительно больших ансамблей атомов и молекул. Это позволяет пролить свет на фундаментальные проблемы трибологии, такие как связь между адгезионными и деформационными механизмами трения.

Дискретность фрикционного контакта является следствием существования на поверхностях отклонений от правильной формы и неровностей различных размеров. Эти размеры зависят и от вида обработки и от параметров внутренней структуры и микроструктуры материала. Расчет площади фактического контакта сталкивается с проблемой выбора масштаба, в котором реализуется контакт, а это приводит к необходимости учета изменения и вида деформации в контактной задаче. Это, в свою очередь требует решения данных задач на различных масштабных уровнях с последующим их обобщением.

Миниатюризация моделей фрикционного контакта требует перехода от объемных свойств материалов к их поверхностным свойствам. При взаимном скольжении твердых тел механические свойства контактирующих материалов, а также характер трибохимических реакций на контакте могут изменяться под действием теплоты, генерируемой при трении. Поскольку эти процессы протекают как в объемах разного масштаба, так и на поверхности, то приходится рассматривать многоуровневые тепловые задачи для того, чтобы рассчитать объемную, поверхностную и мгновенную температуру или температуру вспышки на единичном пятне контакта.

Проблема изнашивания сохранила свою актуальность при развитии техники нынешнего века, но появились трибосистемы, в которых масштаб про-

цесса сместился в микро и нанометровый диапазон. Есть экспериментальные подтверждения, что и там процесс следует закономерностям, характерным для макросистем, со стадиями приработки, нормального и ускоренного изнашивания, однако роль поверхностных сил и адгезии поверхностей намного более значительна.

Микро- и нанотехнологии позволили разработать новый класс приборов — микроэлектромеханические системы, которые сочетают функции датчика, преобразователя сигнала и исполнительного механизма. Аналогично электронным микросхемам, микросистемы часто выполняют в виде кремниевых пленок и для них проблемы контактной адгезии и трения являются ключевыми в обеспечении работоспособности.

Быстро развивающиеся техника и технологии ставят перед трибологами ряд новых задач, масштаб которых соответствует достигнутому человеком границам познания окружающего мира — от трения континентальных плит и ледников до взаимодействия на микроконтактах атомарно гладких поверхностей. Очевидно, что решение этих задач требует экспериментальных исследований с заданием граничных условий, адекватных масштабу процесса. Например, измерение коэффициента трения в микросистеме имеет смысл лишь тогда, когда нагрузка на контакт заведомо превышает возможное действие сил отталкивания или притяжения в этом контакте.

Разнообразие проявлений масштабного фактора в задачах трибологии привлекает к нему усиленное внимание специалистов. Изучение масштабных эффектов затрагивает суть фундаментальной концепции о двойственной природе трения. В то же время, такие исследования имеют большое практическое значение в связи с тенденциями развития современной техники в области разработки микросистем, применением новых наноструктурных материалов и покрытий и новых технологий инженерии поверхности.

1. Свириденко А.И., Чижик С.А., Петроковец М.И. Механика дискретного контакта. — Минск: Наука и техника. — 1990
2. Мышкин Н.К., Петроковец М.И. Трение, смазка, износ. Физические основы и инженерные приложения трибологии. — М.: Физматлит. — 2007
3. Григорьев А.Я., Ковалева И.Н., Мышкин Н.К. Трение мономолекулярных самособирающихся покрытий щеточного типа // Трение и износ. — 2008 (29), № 6, 596—603

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ФРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДАМИ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

А.Ф. Ильющенко

Институт порошковой металлургии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Элементы тормозных систем автотракторной техники должны обеспечивать долговременность срока эксплуатации, независимость трибологических характеристик от температурных и погодных условий, стабильность при длительных сроках эксплуатации тормозных систем, низкий уровень шума и плавность процесса торможения. Эти требования определяются комплексом физико-механических, теплофизических и трибологических характеристик материалов фрикционной пары.

Порошковые фрикционные материалы, разрабатываемые в ГНУ ИПМ на основе меди имеют, как правило, меньшие коэффициент трения и предельные температуры эксплуатации, чем материалы на основе железа, но зато они более теплопроводны. При высокой температуре на поверхности трения материалы на основе меди (бронза), имеющие относительно низкую температуру плавления, проявляют склонность к схватыванию с контртелом, приводящую к вырыванию частичек материала. Поэтому применение спеченных материалов на основе меди ограничивается узлами, в которых температура на поверхностях трения не превышает 300 °С, в ряде случаев эта величина может достигать 500...600 °С.

Фрикционные материалы на основе железа, применяются, главным образом, для условий жесткого торможения с температурами на поверхности трения до 1200 °С. Для улучшения теплопроводности добавляются порошки меди, а для повышения триботехнических характеристик материала в него могут вводиться аналогичные фрикционные и стабилизирующие добавки, что и в материалы на основе меди, со своими оптимально подобранными составами.

Фрикционные керамические композиционные материалы (ККМ) с карбидокремниевой матрицей по своим механическим характеристикам в области повышенных температур находятся вне конкуренции среди жаропрочных металлических и неметаллических материалов. Так, SiC при температуре от 0 до 1200 °С имеет стабильную прочность 600 МПа, что выше прочности суперсплавов, другой керамики. Даже самосвязанный SiC в диапазоне температур от 0 до 1200 °С имеет прочность 180 МПа, что в 2,5 раза выше, чем у углерод-углеродных композиционных материалов (УУКМ). Поэтому уникальный класс высокотемпературных материалов на основе SiC не имеет себе равных в ближайшем будущем для многих применений

Республика Беларусь относится к числу стран с хорошо развитым машиностроительным комплексом, в состав которого входит ряд крупных предприятий по выпуску автотракторной техники, сель-

скохозяйственных машин, дорожно-строительной техники (БелАЗ, МТЗ, МАЗ, Амкордор и др.). Эти предприятия проявляют большой интерес к новым триботехническим материалам фрикционного назначения. К таким материалам относятся и углеродные материалы, прежде всего, SiC-керамика, силицированные графиты, УУКМ. Они характеризуются: относительно низкой плотностью, позволяющей уменьшить вес систем торможения (примерно на 40—60%);

– высокой стойкостью к изнашиванию в различных атмосферных условиях, что позволяет существенно увеличить количество торможений до ремонта;

– способностью поглощать при торможении большое количество кинетической энергии путем преобразования ее в тепловую;

– высокой стойкостью к термическому удару.

В настоящее время начато проведение научных исследований по изучению условий и установлению режимов карбонизации и силицирования графитовых каркасов при спекании в вакууме и аргоне, по выявлению возможности получения силицированного графита пропиткой расплавом кремния образцов промышленного графита.

Полученные образцы материала в зависимости от указанных технологических факторов имели содержание SiC различных полиморфных модификаций в диапазоне 28,9—56%, свободного углерода — 21—64%, кремния — 7—20%. В ряде экспериментов имели место дефекты материала в виде трещин. Наблюдалась неравномерность состава по объему образцов (в том числе определены зоны с суммарным содержанием карбида кремния до 94,7%: β -SiC — 54,5%, α -SiC — 40,2 %). По итогам проведенных исследований определены основные направления научных и технологических исследований для получения карбидокремниевых материалов трех типов: *реакционносвязанный, силицированный и горячепрессованный*, поставлены задачи по свойствам материалов, которые планируется достигнуть высокой допускаемой температурой эксплуатации — 1273—1473 К. Силицированный графит содержит до 70% карбида кремния, образующегося в результате взаимодействия расплава кремния и углерода (графитового каркаса). Остальной объем занимает свободный кремний и углерод.

Таким образом, несмотря на кажущуюся простоту технологии пропитки пористого каркаса из графита, процесс реализуется при соблюдении целого ряда температурно-временных и скоростных условий и ряда других технологических факторов, относящихся к категории «know-how» и не доступных из открытых источников информации

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТРИБОЛОГИИ И ВЫТЕКАЮЩИЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ СМЕЖНЫХ НАУК

Ю.М. Плескачевский

Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларусь, Гомель, Беларусь,
pleskym@mail.ru

На необходимость мультидисциплинарного подхода к трибологическим явлениям неоднократно указывали И.В. Крагельский, А.С. Ахматов, Д.Н. Гаркунов, Л.И. Бершадский, Н.А. Буше, М.И. Петроковец и другие классики. Нами предпринята попытка лишь очертить контуры алгоритма моделирования, изучения и конструирования трибосистем с учетом современных достижений физики, химии, механики, термодинамики и методологии системного анализа.

Прежде всего, необходимо выработать международный механизм унификации трибологической терминологии. Словарями-справочниками, учебниками и даже нормативной документацией руководствуются, в основном, их авторы. Нет единства в трактовке ключевых терминов.

Работа любой пары трения начинается с предварительного смещения. Изучение этого явления от Эйлера (1750 г.) до наших дней не привело к его полному пониманию. Этап предварительного смещения в целом и природу максимальной силы трения покоя целесообразно описывать в терминах термодинамики открытых систем, переход от покоя к движению – с учетом соотношения скоростей взаимного перемещения тел и релаксационных процессов, а для резкого срыва использовать привод с определенным запасом мощности. Конструктивно рабочий узел трения и стояночно-стартовый должны быть, при возможности, разнесены.

Требуется концептуального переосмысления места приработки в жизненном цикле узла трения. Не приработанная деталь в узел трения ставиться не должна. Это потребует существенного развития стендового хозяйства в машиностроении, но оправдается экономией затрат в эксплуатации.

Самосмазывающиеся материалы (САМы) потенциально по природе не могут быть безызносными. Их использование как конструктивных элементов должно быть ограничено малонагруженными узлами трения либо срочным временным ремонтом. Наиболее рациональные области применения САМов — приборостроение, включая МЭМС, ротационная смазка и дисперсные добавки в масла.

Правильно сконструированным и условно

безызносным, т.е. обеспечивающим заданный ресурс работы, должен считаться узел трения, исключая прямой контакт его деталей при всех режимах. Фактически между «трущимися» деталями трения быть не должно. Конструктивно-технологические основы для перехода на такой принцип построения узлов трения в машиностроении к настоящему времени практически созданы. В перспективе узел трения машин должен включать не только системы подачи и циркуляции смазки, но и блоки оценки изменений ее характеристик и состава, а также систем регенерации отработанной смазки и/или ее замены и корректировки. Потребуется уточнение систем конструктивно-технологической документации с целью более широкого использования принципов газостатической и гидродинамической смазки. Представляется при этом перспективным создание фрактальных структур несущих поверхностей для подвода в зону трения практически несжимаемых газов и/или жидкостей.

Требуется более глубокое проникновение в физико-химию процессов при трении, прокатке, обработке металлов давлением, дабы процессы окисления, образования ювенильных поверхностей, структурной перестройки и т.п. «контролировались» составом и свойствами самих смазок. В этом плане значительный прогресс может обеспечить созданный нами совместно со специалистами УкрНИИ НП «Масма» атлас дисперсных фаз пластичных смазок.

«Трибологическое здание» можно будет считать полностью построенным и совершенным, когда любое явление, связанное с трением, можно будет описать в терминах физики, химии, механики, биологии и термодинамики. В докладе содержатся соответствующие рекомендации.

Триботехника как ключевой компонент современного машиностроения должна оперативно «подпитываться» новейшими достижениями смежных наук, соответствующего уровня специалистами. К сожалению, в ВУЗах Беларуси нет ни одной кафедры трибологии. На этом фоне активизируются ошибочные подходы, претендующие на новые науки и вводящие в заблуждение практиков.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ САМОСМАЗЫВАЮЩИХСЯ СОЕДИНЕНИЙ ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА И ГРАФИТА

А.П. Краснов¹, А.С. Голубь¹, В.Н. Адериха², А.В. Наумкин¹,
О.В. Афоничева¹, А.С. Юдин¹, Н.Д. Лененко¹, В.А. Мить¹

¹Институт элементоорганических соединений РАН (ИНЭОС РАН), Москва, Россия; krasnov@ineos.ac.ru

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

Проблема использования в трибологическом материаловедении наноразмерных наполнителей остается одной из ведущих тем при обсуждении на конференциях и в статьях.

Ранее, при систематизации нанонаполнителей [1] были введены две основные группы непосредственного и опосредованного влияния подобных структур на трибологические свойства полимеров. Однако, в приводимой статье, в связи с отсутствием экспериментального материала, практически не затрагивались проблемы использования в композитах самосмазывающихся наполнителей.

За последнее время авторами, а также зарубежными последователями получены экспериментальные результаты по трению наноразмерного MoS₂ и ультрадисперсного нанографита, позволяющие делать первые выводы по возможности использования наносамосмазывающихся соединений в трибологии.

Исходными соединениями при исследовании служили нанокристаллический MoS₂, полученный методом химического диспергирования из природного MoS₂ [2], а также нанографит после дополнительных операций измельчения ТРГ доведенный до стадии наноразмеров.

Проведено исследование структуры и состава поверхности обоих нанонаполнителей (нано-MoS₂ и нанографита) методами рентгеновской дифракции и рентгенофотоэлектронной спектроскопии (РФЭС). Показано, что в процессе получения наноразмерных соединений каждого самосмазывающегося наполнителя происходят однотипные процессы, приводящие к резкому снижению как поперечных размеров ($L_{\text{пер}}$) упорядоченных кристаллов: для MoS₂ 5—12 нм, и в продольном направлении ($L_{\text{пар}}$) 16—17 нм, а графита $L_{\text{пер}} \sim 60—80$ нм (~190—240 слоев). В обоих случаях в полученных наноструктурах наблюдается узкое распределение по размерам. В исходных структурах $L_{\text{пер}}$ и $L_{\text{пар}}$ значительно превосходят 1000 нм.

Основное влияние на химический состав поверхности наноструктур оказывают используемые в процессе диспергации химические соединения: в случае нано-MoS₂ – вода и ацетонитрил (CH₃CN), в нанографите — вода либо глицерин.

Так, из результатов РФЭС анализа поверхности нано-MoS₂ видно, что в ряду: исходный MoS₂ — нано-MoS₂ (H₂O) — нано-MoS₂ (CH₃CN) происходит постепенное снижение MoS₂ на поверхности

частиц и изменение их химического состава (табл.).

Таблица 1. Снижение количества Мо и серы в ряду:

	MoS ₂ – исх.	MoS ₂ – H ₂ O	MoS ₂ – (CH ₃ CN)
Mo	19,9%	17,2%	15,1%
S	35,3%	31,9%	27,4%

По смазывающим свойствам каждое из полученных нанослоистых соединений уступает своим исходным предшественникам, что объясняется некоторыми нарушениями в структуре при укладке отдельных индивидуальных слоев в регулярные «пакеты», самой формой наноразмерных частиц, представляющих собой «нанокубики», а также модификации базальных плоскостей слоистых соединений, как это особенно четко показано в случае MoS₂.

Полученные результаты свидетельствуют, что размеры и структура полученных самосмазывающихся нанонаполнителей, а также резкие изменения физико-химических свойств поверхности определяют особенности как их трения, так и, соответственно, требования к разработке методик определения их смазывающих свойств.

Значительный интерес вызывает повышение термоокислительной стабильности нано-MoS₂ по сравнению с исходным, что имеет принципиальное значение для возможности резкого расширения области его высокотемпературного применения.

Использование полученного нано-MoS₂ как наполнителя композитов Ф-4 показало хорошие результаты и значительное превосходство по сравнению с исходным MoS₂ и полученными образцами нанографита.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов: РФФИ_Бел №12-03-90016; БР-ФФИ Т12Р-225 и программы Президиума РАН П-25.

1. Краснов А.П., Адериха В.Н., Афоничева О.В., Мить В.А., Тихонов Н.Н., Васильков А.Ю., Саид-Галиев Э.Е., А.В. Наумкин, Николаев А.Ю. О систематизации нанонаполнителей полимерных композитов // Трение и износ. — 2010 (31), № 1, 93—108
2. Goloveshkin A.S., Bushmarinov I.S., Lenenko N.D., Buzin M.I., Golub A.S., Antipin M.Yu. Structural properties and phase transition of exfoliated-restacked molybdenum disulfide // Journal of Physical Chemistry. Section C. — 2012, в печати

МЕЗОМЕХАНИКА И КОМПЬЮТЕРНЫЙ ДИЗАЙН ПОЛИМЕРНЫХ МИКРО- И НАНОКОМПОЗИТОВ

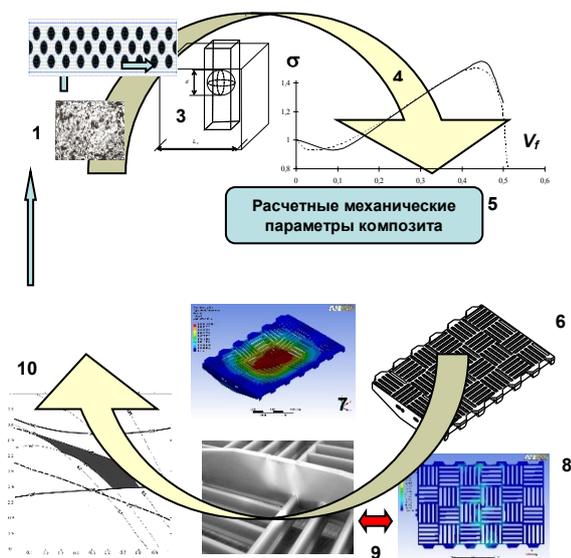
С.В. Шилько¹, Ю.М. Плескачевский¹, С.В. Панин²

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Б, Гомель, Беларусь;
shilko_mpri@mail.ru

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия; svp@ispms.tsc.ru

Разработка композиционных материалов является одним из приоритетных научных направлений. При всей важности и распространенности традиционного, но во многом эмпирического подхода к поиску оптимальных рецептур и схем армирования композитов, получает развитие мезомеханика — междисциплинарная область материаловедения, механики деформируемого твердого тела (МДТТ) и физики конденсированного состояния. В мезомеханике более адекватно (в сравнении с представлениями МДТТ о материале, как непрерывной среде) описываются армирующие включения, межфазные слои и микродефекты (рисунок). Это позволяет установить соотношения деформационно-прочностных, триботехнических, теплофизических и др. эксплуатационных характеристик материалов и изделий с рецептурами и технологическими режимами переработки. Выполнение мезомеханического «проектирования материалов» на ЭВМ обозначается, как компьютерный дизайн.

Целью доклада является обоснование эффективности компьютерного дизайна полимерных композитов и изделий на их основе.



Дана оригинальная классификация материалов; выполнен систематический анализ мезоструктуры и ячеек периодичности широкого класса композитов (пористых, гранулированных, дисперсно-армированных); предложена схема многоуровневого ком-

пьютерного дизайна композитных изделий, включающая следующие этапы (рисунок):

I. Микромеханический уровень:

1) экспериментальное исследование микро-структуры композита и свойств компонентов;

2) схематизация структуры в представительном объеме композита;

3) построение ячейки периодичности «наполнитель–межфазный слой–матрица»;

4) вывод определяющих соотношений МДТТ для ячейки периодичности и представительного объема;

5) анализ зависимости характеристик композита от параметров наполнителя и верификация модели композита.

II. Макромеханический уровень:

6) моделирование геометрии, физико-механических свойств изделия, а также внешних воздействий на него;

7) анализ напряженного состояния изделия;

8) анализ деформированного состояния изделия;

9) верификация расчетной модели изделия по экспериментальным данным.

Этап 10 соединяет вышеуказанные виды анализа и представляет собой проверку критериев качества для оптимизации состава композита (материаловедческое решение) и конструкции изделия (инженерное решение).

Выполнение перечисленных этапов повторяется до выполнения критериев качества с необходимой точностью.

Для иллюстрации возможностей компьютерного дизайна даны примеры мезомеханического «проектирования материалов» с заданными деформационными и триботехническими свойствами. Представлены результаты оптимизации составов полимерных микро- и нанокомпозитов (в т.ч. на основе полиамида, политетрафторэтилена и сверхвысокомолекулярного полиэтилена), и конструкций изделий на их основе технического и медицинского назначения.

Рассмотрены также близкие по методологии проблемы выявления морфологических изменений биологических тканей и органов по результатам биомеханической диагностики.

СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция 1

Структура и свойства полимерных композитов

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ И ТРИБОЛОГИЯ
(ПОЛИКОМТРИБ-2013)
24—27 июня 2013 г., Гомель, Беларусь

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТОВ ПОЛИАМИД ПА6 — ТЕРМОРАСШИРЕННЫЙ ГРАФИТ

В.Н. Адери́ха¹, В.А. Шаповалов¹, О.В. Афоничева², А.С. Юдин²

¹Институт механики металлополимерных систем НАН Беларуси, Гомель, Беларусь, vnad@tut.by

²Институт элементоорганических соединений РАН, Москва, Россия

Введение. В последние годы наблюдается стремительный рост числа исследований по созданию полимерных нанокomпозитов с использованием графена и его производных, обусловленный чрезвычайно высокими механическими, термо-, тепло- и электрическими характеристиками этого класса наноразмерных наполнителей и заманчивыми перспективами получения новых наноматериалов с высокими эксплуатационными свойствами на их основе. Нанографиты, получаемые из различных интеркаляционных соединений графита, его оксида и фторида с помощью термоударного воздействия и ультразвуковой обработки заметно уступают графенам, но превосходят другие наноразмерные углеродные наполнители (за исключением однослойных нанотрубок) по уровню свойств и доступности и потому являются наиболее перспективными для создания и промышленного производства новых полимерных композитов с высоким комплексом свойств.

Целью работы является изучение влияния терморасширенного графита (ТРГ) на механические свойства и структуру его композитов с полиамидом ПА6.

Материалы и методы. В работе использовали терморасширенный графит (ТРГ) с толщиной кристаллитов от 220 до 280 атомарных слоев (80—100 нм), содержащий по данным ЭСХА ~ 6 ат.% кислорода в виде преимущественно гидроксильных и оксидных групп. ТРГ получали из расширяемого графита марки EG-350 (КНР), который подвергали термообработке при ~550 °С с последующим механическим измельчением в лопастном смесителе и ультразвуковым (УЗ) диспергированием в воде с помощью установки УЗДН-1УЧ2, оснащенной коническим излучателем УЗ (20 кГц, 1 час). В качестве связующего использовали промышленный полиамид ПА6 марки 210/310, компандирование осуществляли с использованием двухшнекового экструдера TSSK-35/40 (диаметр шнеков 35 мм, $L/D = 40$, 10 независимых зон обогрева). Образцы для испытаний изготавливали методом литья под давлением на термопластавтомате EN-30.

Результаты и их обсуждение. Результаты механических испытаний показали, что введение ТРГ оказывает выраженное усиливающее действие на полимерную матрицу уже при малых степенях наполнения (0,3—1,0 мас.%), о чем свидетельствует рост предела текучести при растяжении σ_m более чем на 20%, и модуля упругости E_y — свыше 50% по сравнению с исходным ПА6. При увеличении

степени наполнения более 3 мас.% механические характеристики композитов (предел текучести, ударная вязкость) снижаются, а рост E_y от степени наполнения замедляется. В области низких концентраций наполнителя (≤ 3 мас.%) E_y растет экспоненциально от массовой доли наполнителя (рис. 1), что, вероятно, является следствием аналогичного роста площади контакта фаз, чему способствует рыхлая структура частиц расширенного графита, легко разрушающаяся под влиянием сдвиговых напряжений при смешении с расплавом полимера. Замедление роста E_y при больших содержаниях наполнителя, очевидно, обусловлено ухудшением условий диспергирования и сохранением плохо связанных с матрицей агломератов ТРГ в структуре композита с одновременным ростом ее дефектности и замедлением темпов роста площади границы раздела фаз.

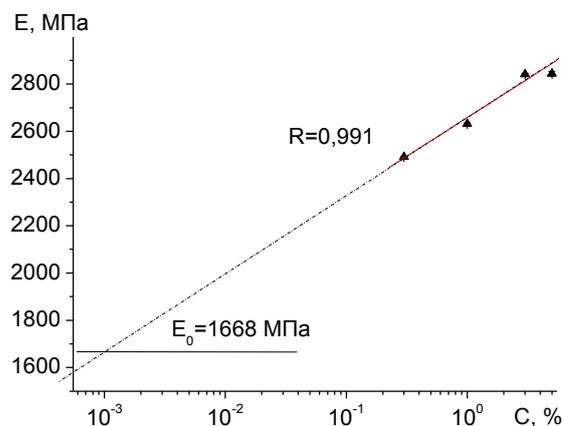


Рис. 1 Зависимость модуля упругости при растяжении композитов ПА6-ТРГ от логарифма содержания наполнителя.

Изучение микроструктуры композитов методом ДСК показало, что дополнительной причиной упрочнения композитов ПА6-ТРГ является высокая нуклеирующая способность ТРГ, проявляющаяся в повышении температуры кристаллизации ПА6 на 5—10 °С, и способствующая образованию более регулярной мелкосферолитной структуры.

Согласно результатам триботехнических испытаний, введение ТРГ обеспечивает заметное повышение износостойкости композитов в условиях трения-скольжения без смазки по сравнению с исходным ПА6.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского и Российского фондов фундаментальных исследований (проекты БРФФИ Т12Р-225 и РФФИ_Бел №12-03-90016).

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ОРГАНОПЛАСТИКОВ НА ОСНОВЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

А.И. Буря, М.И. Губская, А.Н. Коробочка, А.Б. Лысенко

Украинская Технологическая Академия, Днепрпетровск, Украина; ol.burya@gmail.com

Введение

Современные конструкционные материалы должны быть устойчивыми по отношению к рабочим средам. Повышение химической стойкости возможно путем введения в полимерную матрицу армирующих волокнистых наполнителей. В настоящей работе исследовано влияние среды на эксплуатационные свойства органопластиков (ОП) на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ).

Основная часть

Исследовали образцы исходного СВМПЭ марки Хостален GUR 2122 фирмы Ticona (Германия) и ОП оптимального состава: СВМПЭ + 15 мас.% Арселон-Х (арселон-хлопковое волокно с содержанием Арселона 70 мас.% и хлопка — 30 мас.%). В качестве химически активных сред использовали воду техническую (ГОСТ 6709-72). Время экспозиции образцов в воде составляло 1, 7, 15 суток. Термостатирование проводили в термостате марки «Thermostat U-10» (Германия) при температуре 298 К.

Согласно полученным данным, после экспозиции в воде цвет как исходного СВМПЭ, так и ОП на его основе не изменился, что свидетельствует о высокой стабильности полимерного связующего.

Измерения массы и габаритных размеров образцов показали, что в случае исходного СВМПЭ масса возрастает только на 15 суток — на 0,13%. При этом диаметр увеличивается в среднем на 0,13%; высота — на 0,09%, в то время как масса ОП изменяется очень незначительно при выдержке от 7 до 15 суток. В этом случае диаметр увеличивается на 0,2%; высота — на 0,1% в течение 15 суток. Важно, что в направлении, совпадающем с направлением приложения давления (по высоте), изменение габаритных размеров при всех экспозициях меньше, чем по диаметру. Это можно объяснить некоторой анизотропией физико-механических свойств в указанных направлениях.

Влияние среды на физико-механические свойства материалов представлено в таблице. Плотность образцов СВМПЭ после экспозиции в технической воде на протяжении 15 суток на 1,04% ниже, чем у исходного образца. Это может быть свидетельством аморфизации полимерного связующего. В случае ОП плотность практически не уменьшается, т.е. разрушение структуры органопластика на границе раздела полимер — органическое волокно отсутствует. Обнаружено, что после выдержки в воде ударная вязкость СВМПЭ уменьшается в 50—53 раза, в

то время как для ОП этот показатель снижается в 1,4—2,2 раза, практически прямо пропорционально росту времени выдержки в воде.

Таблица. Свойства СВМПЭ и ОП на его основе после экспонирования в воде

Материал	Время выдержки, сутки			
	0	1	7	15
Плотность, ($\rho_{расч.}$, кг/м ³)				
СВМПЭ	0,953	0,948	0,948	0,943
ОП	1,0036	1,003	1,0015	1,001
Ударная вязкость, кДж/м ²				
СВМПЭ	77	3,7	1,5	1,2
ОП	84	59,86	38,7	22,3
Предел прочности при сжатии, МПа				
СВМПЭ	75	73,75	51,25	48,6
ОП	102,5	100	90,6	83,25
Относительная деформация при сжатии, %				
СВМПЭ	42,4	35,8	20,8	20,96
ОП	43,7	38,23	37,35	37,8

При сорбции полимерными изделиями химической среды происходит их набухание. Здесь могут проявляться два эффекта: уменьшение межмолекулярных взаимодействий, способствующих образованию микротрещин в объеме образца и более равномерное распределение напряжений, увеличение гибкости макромолекул (пластификация) и возможное увеличение степени кристалличности. В нашем случае сказывается преобладающее действие первого процесса. Предел прочности при сжатии в первые сутки для СВМПЭ незначительно снижается, в то время как последующая экспозиция в течение 7 суток сопровождается резким падением прочности. В случае выдержки образцов в воде в течение 15 суток прочность при сжатии снижается незначительно как для исходного связующего, так и для ОП. Хрупкость образцов увеличивается с ростом времени экспозиции в воде, как исходного СВМПЭ, так и ОП на его основе. Однако в случае ОП это проявляется в значительно меньшей мере. О высокой прочности ОП свидетельствует тот факт, что разрушение этих образцов идет преимущественно под углом ~ 45°, т.е. в плоскостях, где действуют максимальные касательные напряжения.

Заключение

Изучено влияние влаги на эксплуатационные свойства разработанного органопластика оптимального состава, в целом, прочностные свойства во всех случаях снижаются. Однако, если в случае СВЭМП они снижаются резко, то для ОП — монотонно

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СПЛАВА ЦИНК-НИКЕЛЬ, СФОРМИРОВАННЫХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Н.Г. Валько, Д.В. Лавыш

Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Гродно, Беларусь

Введение

В данной работе приводятся результаты исследования коррозионной стойкости композиционных электролитических покрытий (КЭП) на основе цинкникелевого сплава, сформированных в условиях облучения рентгеновским излучением. Выбор режима электроосаждения при воздействии рентгеновского излучения обусловлен, в первую очередь тем, что облучение электролита в процессе осаждения КЭП препятствует образованию и адсорбции в процессе электроосаждения на поверхности катода труднорастворимой пленки из продуктов промежуточного восстановления металла, ингибирующей включение частиц второй фазы. Кроме того, вследствие радиолитического распада в электролите возникают активные и весьма подвижные частицы, способствующие естественному перемешиванию раствора и интенсифицирующие процесс электроосаждения [1].

Материалы и методы

Осаждение производилось из сульфатного электролита на низкоуглеродистую сталь 08кп при плотности катодного тока 2 А/дм². В качестве модификатора использовались наночастицы диоксида кремния. Концентрация SiO₂ в электролите — 1 г/л. Источником рентгеновского излучения являлась установка при напряжении на рентгеновской трубке 55 кВ и токе 15 мА. Исследовались покрытия сплавом Zn-Ni и КЭП на основе сплава Zn-Ni, электроосажденные в поле рентгеновского излучения.

Исследования покрытий на коррозионную стойкость проводились методом переменного погружения покрытия в раствор хлористого натрия с концентрацией (30±3) г/дм³ согласно ГОСТ 9.908 [2]

Результаты и их обсуждение

В ходе проведенных исследований было обнаружено, что время появления первых очагов белой и красной коррозии для цинкникелевых покрытий, сформированных в условиях облучения, практически, одинаково. Первые проявления коррозии подложки у контрольных покрытий Zn-Ni появляются уже через 16 ч, а у облученных через 24ч. Степень поражения у покрытий, полученных в поле рентгеновского излучения несколько ниже, чем у контрольных образцов. Так, процент поражения красной коррозией у контрольных образцов через 24 ч составляет 25%, у облученных — 10%. Очаги поражения белой ржавчиной и красной коррозией КЭП на основе цинк-никелевого сплава существенно отличаются от покрытий Zn-Ni не только временем

появления, но и масштабами. Первые признаки окисления контрольных КЭП появляются через 24 ч, а признаки коррозии подложки у них проявляются только через 360 ч. Действие рентгеновского излучения в процессе формирования КЭП способствует осаждению слоев с повышенными защитными антикоррозионными свойствами. Коррозия подложки у КЭП, осажденных в условиях облучения начинается только через 480 ч.

Из анализа данных, полученных при исследовании покрытий на коррозионную стойкость методом переменного погружения в электролит, можно заключить, что КЭП на основе Zn-Ni сплава более коррозионно устойчивые, чем сам сплав Zn-Ni. Более того, у контрольных покрытий сплавом Zn-Ni и КЭП на основе сплава Zn-Ni в сравнении с соответствующими покрытиями, сформированными при воздействии рентгеновского излучения, коррозионные процессы происходят более интенсивно. Это может быть связано, во-первых, размером кристаллического зерна, который значительно меньше у покрытий, сформированных под облучением, а во-вторых со площадью и плотностью изучаемых осадков. Поскольку интенсификация диффузионных процессов, вследствие радиационно-химических процессов, протекающих в электролитах под облучением, обуславливает увеличение скорости электроосаждения и соответствующее измельчение морфологии поверхности покрытий сплавом Zn-Ni и КЭП на основе сплава Zn-Ni.

Увеличение коррозионной стойкости у КЭП, осажденных при воздействии рентгеновского излучения может быть также связана с концентрацией и размерами пор. Обнаружено, что в условиях облучения формируются покрытия с меньшим числом пор на единицу площади поверхности. Так, например, количество пор у КЭП на основе цинкникелевого сплава, электроосажденных в условиях облучения, число пор составляет 1 п/см², а для контрольных КЭП — 7 п/см².

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (Ф12М-044).

1. ГОСТ 9.908-85. Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости
2. Анищик В.М., Валько Н.Г., Поляк Н.И., Алесчик И.И. Структура и свойства гальванических покрытий Zn-Ni, сформированных при воздействии рентгеновского излучения // Физика и химия обработки материалов. — 2010, № 6, 1—6

ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МОДИФИКАТОРЫ АЛКИДНЫХ СМОЛ

А.И. Глоба, Э.Т. Крутько

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь; Orion-2308@yandex.ru

Разработка и использование новых модифицирующих веществ, а также исследование свойств покрытий, полученных на основе промышленно производимых алкидных пленкообразующих, являются весьма перспективным направлением в области создания новых лакокрасочных материалов. В связи с этим целью данной работы являлось изучение влияния реакционноспособных модификаторов на свойства алкидных смол.

В качестве объекта исследования использовали промышленно производимый алкидный глифталевый лак ГФ-01 (ОАО «Лакокраска», г. Лида, ТУ 6-10612-76). Модификаторами служили: п-аминофенол (АФ) и олигомалеимидогидроксифенилен (ОМИГФ). Пленкообразующие композиции получали путем введения расчетных количеств модификаторов в алкидную смолу с последующим перемешиванием смесей до их полной гомогенизации. С целью оптимизации составов пленкообразующих композиций их содержание варьировали в пределах от 0,1 до 1,0 мас.% в пересчете на сухой остаток исходного лака. Из полученных растворов с помощью фильеры формировали покрытия на металлических и стеклянных пластинках толщиной 20—25 мкм. Отверждение проводили при 20, 60 и 120 °С до третьей степени.

Твердость покрытий, нанесенных на стеклянную пластину, определяли с помощью маятникового прибора ТМЛ по ГОСТ 5233. Определение прочности пленок при ударе осуществляли с помощью прибора «Удар-Тестер» У-1А в соответствии с ГОСТ 4765-73. Адгезию покрытий оценивали методом решетчатого надреза по шестибалльной шкале в соответствии с ИСО 2409. Определение стойкости к статическому воздействию воды образцов покрытий осуществляли по ГОСТ 9.403-80. Для этого лаковые композиции наносили на обе стороны пластины из листовой стали марки 08кп размером 70×150 мм и толщиной 0,5—1,0 мм. Характер химических реакций протекающих в системе пленкообразователя в процессе отверждения покрытий изучали по изменению их относительной твердости и с помощью ИК спектроскопии. Спектры снимали на ИК Фурье-спектрометре Nicolet 7101.

Известно, что способность алкидов к химическому отверждению обусловлена наличием: двойных связей в жирнокислотных остатках и свободных функциональных групп (гидроксильных и карбоксильных) на концах или в середине полиэфирной цепи [1—3].

Однако, полученные экспериментальные данные показали, что основные физико-химические свойства модифицированных алкидных покрытий в значительной степени зависят от природы и количества модификатора, а также от температуры отверждения покрытий.

Установлено, что с увеличением концентрации как АФ так и ОМИГФ происходит увеличение твердости покрытий при каждом из температурных режимов отверждения покрытий. При этом с увеличением температуры отверждения наблюдается возрастание этого показателя в среднем в 1,5 раза. Так, например, при введении ОМИГФ в количестве 0,5 мас.% твердость покрытия на основе алкидной смолы увеличивается с 0,16 до 0,29 отн.ед. Аналогичная зависимость наблюдается и для прочности покрытий при ударе, однако в данном случае температура отверждения не оказывает такого существенного влияния. Например, введением АФ или ОМИГФ в алкидную смолу можно добиться увеличения прочности при разрыве с 35 см до 50 см.

На основании сравнения ИК спектров исходной алкидной пленки и покрытия с добавлением модификаторов, можно сделать вывод, что отверждение происходит по нескольким механизмам: за счет взаимодействия гидроксильных групп алкидной смолы с гидроксильной группой АФ и ОМИГФ с образованием простого эфира, а также за счет взаимодействия амино-групп АФ и остаточных NH₂-групп ОМИГФ с карбоксильной группой смолы. Реакция идет с образованием простого эфира, так как изменения происходят в диапазоне частот 1450—1000 см⁻¹ и усиление поглощения в интервале 1275—1200 см⁻¹ и 1075—1020 см⁻¹. Также это подтверждается уменьшением интенсивности поглощения полос в –ОН области.

Выбранные модификаторы обеспечивают улучшение адгезионных свойств покрытий к металлическим субстратам. При этом использование ОМИГФ оказывает больший эффект, что объясняется наличием в этом соединении непредельных маленимидных циклов, обеспечивающих улучшение адгезионных свойств покрытия по сравнению с АФ.

1. Прокопчук Н.Р., Крутько Э.Т., Глоба А.И. Химическая модификация пленкообразующих веществ. — Минск: БГТУ. — 2012
2. Миронова Г.А., Ильдарханова Ф.И., Ратников В.Н. // ЛКМ и их применение. — 2002. № 6. 8—12.
3. Сорокин М.Ф., Лялюшко К.А. Практикум по химии и технологии пленкообразующих веществ. — М.: Химия. — 1971

О ВЛИЯНИИ КОРОТКИХ СТЕКЛОВОЛОКОН НА МОЛЕКУЛЯРНО-СТРУКТУРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МЕХАНИЧЕСКИЕ И РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

В.В. Дубровский, В.Н. Коваль, Т.М. Абрамова, С.С. Песецкий

Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь;
otdel5mpri@tut.by

Анализу структуры и свойств конструкционных термопластов, наполненных коротким стекловолокном (СВ), посвящены многочисленные исследования. Большинство из них направлено на изучение наполненного СВ полипропилена, алифатических полиамидов, полибутилентерефталата. Существенно более ограничена информация о стеклонаполненных композитах на основе полиэтилентерефталата (ПЭТ).

Данному полимеру присущи специфические особенности, определяющие специфику получения и переработки, структуру и свойства его композитов с коротким СВ. Одной из них является высокая чувствительность данного материала к действию факторов, вызывающих деструкцию макромолекул на стадиях компаундирования и переработки [1, 2]. Важнейшие закономерности макромолекулярных превращений ПЭТ при его переработке из расплава установлены для исходного, не содержащего СВ полиэфира.

Данные об изменении молекулярной структуры ПЭТ и обусловленных ею показателей важнейших свойств, происходящих на стадиях компаундирования и переработки композитов ПЭТ/СВ крайне ограничены. В настоящей работе выполнены исследования, основной целью которых является установление влияния концентрации коротких СВ на изменение молекулярной массы ПЭТ, а также реологического поведения расплавов, механических, релаксационных и теплофизических свойств композитов ПЭТ/СВ.

В экспериментах использовали ПЭТ производства ОАО «Могилевхимволокно» (марка 8200 для контакта с пищевыми продуктами), а также СВ в виде ровинга (марка ЕС 13-2400-54С) производства ОАО «Полоцк-Стекловолокно». Композиты ПЭВ/СВ получали на экструзионно-грануляционной линии на базе двухшнекового экструдера TSSK-35/40 (диаметр шнеков 35 мм, $L/D = 40$, число независимых зон обогрева — 10). Параллельно проведены две серии экспериментов — при введении СВ в экструдер в исходном состоянии (в состоянии поставки) и предварительно подогретого до ≈ 200 °С.

Важнейшие результаты экспериментов представлены в таблице. Из нее следует, что при повышении концентрации СВ происходит резкое снижение M_w . Для [СВ] = 40% M_w снижается, например, в два раза по сравнению с исходным ПЭТ. Добавки СВ сказываются также на параметрах, характеризующих кристаллизацию ПЭТ. По мере увеличения

[СВ] наблюдается снижение $T_{хкр}$, т.е. кристаллизация ПЭТ в композитах ПЭТ/СВ ускоряется по сравнению с исходным полиэфиром.

Таблица 1. Влияние концентрации СВ на параметры, характеризующие структуру ПЭТ и свойства композитов ПЭТ/СВ

[СВ], мас. %	M_w , у.е.·10 ⁻³	$T_{хкр}$, °С	ПТР, г/10 мин	σ_p , МПа	G'_{20} , ГПа
0	32,4	127	13,8	53	0,96
10	32,0	127	13,2	65	1,22
	28,6	123	14,8	66	1,25
30	26,1	124	12,3	85	1,82
	18,2	122	11,9	87	1,92
40	15,7	123	11,3	88	2,60
	16,8	121	13,0	92	2,64

Обозначения: [СВ] — концентрация СВ, M_w — средневесовая молекулярная масса, $T_{хкр}$ — температура холодной кристаллизации по данным релаксационной спектроскопии, σ_p — прочность при растяжении, G'_{20} — динамический модуль сдвига при 20 °С; в числителе данные для композитов с исходным СВ, в знаменателе — с погретым.

Следствием снижения M_w при увеличении [СВ] являются относительно стабильные значения ПТР: ожидаемого снижения текучести расплава не происходит, видимо, вследствие роста значений ПТР полиэфирной матрицы. При использовании предварительно подогрета СВ комплекс показателей свойств композитов улучшается. Одной из причин этого может быть улучшение смачиваемости поверхности СВ расплавом полиэфира.

Полученные данные следует учитывать при разработке реальных технологии производства композитов ПЭТ/СВ.

- Awaja F., Pavel D. Recycling of PET // *European Polymer Journal*. — 2005 (41), 1453—1477
- Кудян С.Г., Филимонов О.В., Песецкий С.С. Молекулярно-структурные превращения полиэтилентерефталата при его переработке из расплава // *Материалы, технологии, инструменты*. — 2007 (12), № 3, 27—32
- Cilleruelo L., Lafranche E., Krawczak P., Pardo P., Lucas P. Injection molding of long-glass-fiber-reinforced poly(ethylene terephthalate): Influence of processing conditions on flexural and impact strengths // *Polymers and Polymer Composites*. — 2008 (16), 577—588
- Cilleruelo L., Zafrance E., Krawczak P., Pardo P., Lucas P. Injection moulding of long glass fiber reinforced poly(ethylene terephthalate): Influence of carbon black and nucleating agents on impact properties // *EXPESS Polymer Letters*. — 2012 (6), no. 9, 706—718
- Песецкий С.С., Дубровский В.В., Коваль В.Н. Холодная кристаллизация полиэтилентерефталата в смесях с полибутилентерефталатом, армированных стекловолокном // *Доклады НАН Беларуси*. — 2011 (55) № 4, 106—112

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭПОКСИДИАНОВЫХ ПОКРЫТИЙ

М.В. Журавлева, Т.А. Жарская, Э.Т. Крутько

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

Цель

Целью данной работы являлась разработка и исследование новых пленочных материалов на основе эпоксидных диановых смол с улучшенными защитными свойствами.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлась промышленно производимая эпоксидная смола Э-41 в растворе (Э-41р) (ТУ 6-10-607-78), представляющая собой раствор смолы Э-41 с массовой долей (66±2)% в смеси ксилола (ГОСТ 9410-78, ГОСТ 9949-76) с ацетоном (ГОСТ 2768-84) в соотношении 4:3 по массе. Раствор смолы Э-41 в смеси ксилола с ацетоном (смола Э-41р) применяется для изготовления лакокрасочных материалов различного целевого назначения. Смола Э-41р относится к средномолекулярным (мол. масса 900—2000) эпоксидным диановым смолам. Ее плотность — (1,03—1,06) г/см³. Продукт сополиконденсации низкомолекулярной эпоксидной смолы Э-40 с дифенилолпропаном.

В качестве модифицирующих компонентов применяли гетероциклические азотсодержащие соединения.

Пленкообразующие композиции получали путем введения в Э-41р 10%-го раствора модификатора в диметилформамиде в диапазоне концентраций 0,5—5 мас.% с последующим перемешиванием до однородной массы. Использовали отвердитель марки Э-45 (ТУ 6-10-1429-79 с измен. № 2) — раствор низкомолекулярной полиамидной смолы в ксилоле — в количестве 14% от массы сухого остатка смолы. Из вышеуказанных растворов отливали пленки на различные подложки.

Адгезионную прочность сформированных покрытий определяли по стандартной методике в соответствии с ISO 2409 и ГОСТ 15140-78 методом решетчатого надреза с обратным ударом. Прочность при ударе образцов покрытий оценивали с использованием прибора «Удар-Тестер» в соответствии со стандартом ISO 6272 и ГОСТ 4765-73. Твердость лакокрасочных покрытий определяли на маятниковом приборе (ISO 1522). Прочность покрытий при изгибе определяли с помощью устройства ШГ1 (ISO 1519, ГОСТ 6806-73) путем изгиба образца с покрытием вокруг испытательных цилиндров, начиная с больших диаметров, на угол 180°. Водостойкость определяли путем визуальных наблюдений изменения внешнего вида защитного покрытия и появления подпленочной коррозии на стальных субстратах в процессе экспозиции стальных пластин с лаковым защитным слоем в водопроводной воде при нор-

мальных условиях и при 100 °С (кипячении). Водопоглощение определяли путем оценки сорбционной способности лакового покрытия по отношению к воде.

Оптимизированы температурно-временные условия отверждения новых эпоксидных составов.

Для оценки защитных свойств и выбора модификатора в полимерном покрытии в работе использовано изучение временной зависимости стационарного потенциала системы металл — покрытие и снятие анодных поляризационных кривых. Измерение потенциалов системы металл — покрытие проводили при температуре 20±2 °С в шкале хлорсеребряного электрода сравнения в течение 24 часов, затем значения пересчитывали в шкалу стандартного водородного электрода.

Снятие анодных поляризационных кривых проводили с использованием потенциостата ПИ-50-1 и программатора задающего напряжения ПР-8 в потенциостатическом режиме.

Результаты и их обсуждение

Введение модификаторов с концентрацией 0,5—5 мас.% в полимерное эпоксидное покрытие позволяет повысить коррозионную стойкость системы, при этом плотность тока коррозии стали 08кп уменьшается с 1,95 мА/см², до 0,89 мА/см², а поляризационные кривые сдвигаются в область меньших токов. Нанесение эпоксидного полимерного покрытия с модификатором в количестве 5% снижает скорость коррозии углеродистой стали марки 08 кп в 0,5% HCl в 2,2 раза. При добавлении 0,5—5,0% модификатора, также наблюдается улучшение физико-механических характеристик (улучшается прочность, адгезия и твердость покрытий).

Экспериментальные исследования показали, что дополнительная оценка защитных свойств покрытий электрохимическими методами совместно с общепринятыми для лакокрасочной промышленности методами исследования позволила получить более полное представление о коррозионных процессах, протекающих под покрытием, оценить влияние на их протекание концентрации вводимого модификатора. Данные исследований позволили скорректировать состав покрытия для отдельных областей применения с целью достижения высокой степени защиты металлических поверхностей.

На основании проведенного исследования синтезированы новые пленкообразующие имидосодержащие композиции, с улучшенными адгезионными свойствами, повышенной твердостью, ударопрочностью, влаго- и водостойкостью.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПОРШКОВЫХ ФЕНОЛЬНЫХ ОЛИГОМЕРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ

А.Л. Зайцев, Д.Г. Соколовский, Н.А. Кутепова

Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Фенолоформальдегидные смолы (ФФС) относятся к многотоннажным, дешевым полимерным связующим, которые широко используются для создания различных композиционных материалов. Переработка композитов на их основе осуществляется практически на всех видах технологического оборудования. Изготовление сложнопрофильных изделий, в том числе высокоточных и ультратонких деталей из ФФС методом прессования сталкивается с определенными трудностями, обусловленными формированием различных связанных состояний до перехода олигомера непосредственно в стадию поликонденсации. В этой связи особый интерес представляет исследование вынужденной деформации порошковых олигомеров в зависимости от предварительной термообработки.

Методом ИК спектроскопии, термодифференциального и дифференциально-термического анализа исследованы порошки фенольных олигомеров с различной концентрацией метилольных групп и свободного фенола, выделенных из олигомера ЛБС-3, посредством дробного осаждения водно-спиртовым

раствором. Результаты экспериментальных исследований показали, что предварительная термообработка фенольных олигомеров при температуре 80 °С, находящихся в исходном гелеобразном состоянии, сопровождается существенным изменением деформационного поведения порошка, которое с увеличением продолжительности обработки, свидетельствует о переходе начального вязкотекучего состояния в вязкоупругую и упругую деформацию и сопровождается резким снижением скорости деформирования и ее смещением в область температур близких температуре поликонденсации. Выявленная закономерность в большей степени характерна олигомерам с широким молекулярно-массовым распределением. Сравнительный анализ термической деформации и химического строения ФФС показал, что в основе деформационного поведения порошков олигомеров лежит процесс микрокапсулирования частиц, который объясняет происходящие изменения.

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ ОТВЕРДИТЕЛЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ ИЗ ПОРОШКОВЫХ ПОЛИЭФИРНЫХ КРАСОК

Т.Н. Кухта

РУП «Институт БелНИИС», Минск, Беларусь; kuhta_tatiana@mail.ru

Полиэфирная порошковая краска в своем составе помимо других компонентов (смола, пигменты, добавки) содержит отвердитель.

Отвердители в порошковых красках применяются для химической сшивки молекул смолы, с образованием пространственной сетчатой структуры.

Долгое время в качестве отвердителя для полиэфиров, содержащих свободные карбоксильные группы применялся триглицидилизоцианурат (ТГИЦ). Полимерная сетка в таких материалах образуется в результате реакции полимеризации при взаимодействии карбоксильных групп полиэфира и эпоксидных групп ТГИЦ. Недостатком этих материалов является высокая токсичность ТГИЦ, что привело к запрету его использования в ряде стран.

Другие полиэфирные порошковые материалы образуют полимерную сетку за счет взаимодействия карбоксильных групп с гидроксильными, например, гидроксиалкиламидами (примид), совершенно безопасных с токсикологической точки зрения. Образование полимерной сетки происходит в результате «сшивания» карбоксильной и β -гидроксиалкиловой групп по механизму поликонденсации с выделением < 1% воды.

Целью данной работы было определение влияния природы отвердителя на структуру и механические свойства полимерных покрытий из порошковых полиэфирных красок.

Для определения влияния природы отвердителя на изменение свойств полимерного покрытия под действием атмосферных факторов были проведены ускоренные климатические испытания по ГОСТ 9.401 (метод 3), моделирующие условия эксплуатации в умеренно-холодном климате. По результатам испытаний были определены деформационно-прочностные и упругие свойства пленок. Получены электронно-микроскопические снимки поверхности пленок, отвержденные гидроксиалкиламидом и ТГИЦ.

Было установлено, что пленки отверждаемые гидроксиалкиламидом прочнее пленок, отвержденных ТГИЦ в среднем на 14%, эластичнее их на 16%.

Химическая реакция сшивания олигомерных молекул ненасыщенного полиэфира молекулами гидроксиалкиламида протекает медленнее, требует больших температуры и времени. Однако при этом

образуется более однородная, прочная и эластичная полимерная сетка. В результате прочность и относительное удлинение при разрыве выше, а модуль упругости ниже у пленок, отвержденных гидроксиалкиламидом. Таким образом, покрытия из полиэфирных порошковых составов, содержащих гидроксиалкиламид, объективно должны быть более долговечными, чем покрытия отвержденные ТГИЦ по причине развития в них меньших внутренних напряжений.

Излишняя частота пространственной сетки исключает высокоэластичную составляющую деформации, охрупчивает полимерный материал и снижает его прочность. Доказательством образования более жесткой сетки при отверждении полиэфирного пленкообразователя ТГИЦ является более высокая температура стеклования пленки, чем при отверждении его гидроксиалкиламидом.

Под действием тепла, УФ-излучения, влаги участки макромолекул между узлами сетки разрываются и ее деформируемость снижается. При практически линейном возрастании напряжения в пленке при ее растяжении и меньшим относительным удлинением при разрыве реализуется меньшая прочность. Поэтому, с увеличением числа циклов, действующих на пленки и прочность и относительное удлинение убывают. Поскольку кинетика радикальных реакций в твердых полимерах сильно зависит от степени сшивки макромолекул и механического напряжения на их химических связях исследованные пленки различаются по скорости старения. Так, пленки, полученные из полиэфирной смолы содержащие примид сохраняют 65% исходной прочности и 72% относительного удлинения при разрыве после воздействия на них 100 циклов в климатической камере.

Выполненные исследования показали, что из порошковых красок наиболее перспективными являются составы на основе полиэфирного пленкообразователя, содержащего примид в качестве отвердителя. Эти краски, по сравнению с другими, образуют пленки более прочные и эластичные, медленнее разрушающиеся под влиянием климатических факторов. Структура поверхности пленки гладкая, однородная, указывающая на отсутствие значительных внутренних напряжений в них.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПОЛИМЕРНОГО ПОКРЫТИЯ

Т.Н. Кухта

Институт БелНИИС, Минск, Беларусь; kuhta_tatiana@mail.ru

Важнейшим свойством покрытия является его долговечность- время, за которое прочность и эластичность пленки снижаются на 50% от исходных значений. Оценка долговечности лакокрасочных покрытий в настоящее время занимает большой промежуток времени (3—4 месяца), требует дорогостоящего оборудования, значительных энергозатрат и затрат времени квалифицированного персонала. Поэтому разработка экспресс-метода оценки долговечности полимерного покрытия имеет важное научное и практическое значение.

Целью данной работы было определение основных параметров, влияющих на качество полимерного покрытия в процессе эксплуатации при воздействии погодных факторов, и определяющих его долговечность.

Объектом исследования являлись неадгезированные пленки и полимерные покрытия из полиэфирных порошковых красок.

Для определения основных параметров, необходимых для расчета долговечности полимерного покрытия была проведена оценка климатической стойкости модельных неадгезированных пленок и полимерных покрытий из полиэфирных порошковых красок по изменению энергии активации термоокислительной деструкции пленкообразователя (E) в результате комплексного воздействия атмосферных факторов на пленки в климатической камере, а также в результате длительного воздействия ультрафиолетового и инфракрасного облучения.

В результате исследований были установлены действующие разрушающие факторы:

- климатические ($\Delta E^{\text{клим}}$);
- ультрафиолетовое облучение ($\Delta E^{\text{УФ}}$);
- внутренние напряжения ($\Delta E^{\text{вн.напр}}$), возникающие из-за различий в коэффициентах термического расширения материала покрытия и защищаемой поверхности (усадочные внутренние напряжения в покрытиях);

– механические воздействия ($\Delta E^{\text{м.в}}$), статические и динамические нагрузки в результате действия внешних механических сил.

С учетом перечисленных действующих факторов, расчетное значение энергии активации термоокислительной деструкции ($E_{\text{рас}}$) определяется по формуле:

$$E_{\text{рас}} = E - \Delta E_{\text{разр}} \quad (1)$$

где E — значение энергии активации материала изделия профильного до воздействия атмосферных факторов; $\Delta E_{\text{разр}}$ — уменьшение значения энергии активации материала изделия профильного от воздействия атмосферных факторов, определяемое экспериментально.

$$\Delta E_{\text{разр}} = \Delta E^{\text{клим}} + \Delta E^{\text{УФ}} + \Delta E^{\text{вн.напр}} + \Delta E^{\text{м.в}} \quad (2)$$

Таким образом, используя полученное уравнение можно рассчитать расчетное значение энергии активации термоокислительной деструкции ($E_{\text{рас}}$) для полиэфирной порошковой краски с энергией активации термоокислительной деструкции равной 140 кДж/моль.

Действующие разрушающие факторы:

$$\Delta E^{\text{клим}} = 50 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta E^{\text{УФ}} = 10 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta E^{\text{вн.напр}} = 7 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta E^{\text{м.в}} = 3 \text{ кДж/моль}.$$

Расчетное значение энергии активации термоокислительной деструкции определяющее долговечность, определяется по формуле (1):

$$(E_{\text{рас}}) = 140 - 50 - 10 - 7 - 3 = 70 \text{ кДж/моль}.$$

Расчетная долговечность (τ_{T_0}) в годах для полимерного покрытия при конкретном значении температуры эксплуатации определяется по формуле (3):

$$\tau_{T_0} = \left[10^{-0,1167 \cdot E_{\text{рас}} - 0,090} \cdot e^{E_{\text{рас}} / (R \cdot T_0)} \right] / 365, \quad (3)$$

где T_0 — температура эксплуатации покрытия, К; R — универсальная газовая постоянная, равная $R = 8,31 \cdot 10^{-3}$ кДж/(моль·К).

$$\tau_{20^\circ\text{C}} = \left[10^{-0,1167 \cdot 70 - 0,090} \cdot e^{70 / 2,435} \right] / 365 = 46;$$

$$\tau_{30^\circ\text{C}} = \left[10^{-0,1167 \cdot 70 - 0,090} \cdot e^{51870 / 2} \right] / 365 = 17,9;$$

$$\tau_{40^\circ\text{C}} = \left[10^{-0,1167 \cdot 70 - 0,090} \cdot e^{70 / 2,601} \right] / 365 = 7,4;$$

$$\tau_{50^\circ\text{C}} = \left[10^{-0,1167 \cdot 70 - 0,090} \cdot e^{70 / 2,648} \right] / 365 = 3,2;$$

$$\tau_{60^\circ\text{C}} = \left[10^{-0,1167 \cdot 70 - 0,090} \cdot e^{70 / 2,767} \right] / 365 = 1,5.$$

КОРРЕЛЯЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ, ГАЛЬВАНОМАГНИТНЫХ И МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИМПЛАНТАЦИЕЙ ИОНОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЛИМЕРНЫЕ ПЛЕНКИ

М.Г. Лукашевич

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

С целью установления пороговых режимов имплантации ионов переходных металлов в полимерную матрицу для достижения переходов диэлектрик-металл, суперпарамагнетик- ферромагнетик, а также нахождения корреляции между электронно-транспортными и магнитными характеристиками, изучены температурные зависимости сопротивления, магнитосопротивления и намагниченности пленок полиимида (ПИ) и полиэтилентерефталата (ПЭТФ), имплантированных ионами магнитных (Co^+ , Fe^+) и немагнитных (Cu^+ , Ag^+) металлов с энергией 30—40 кэВ в интервале доз $1 \cdot 10^{16}$ — $1,5 \cdot 10^{17}$ см⁻² при плотности ионного тока до 12 мкА/см².

Имплантация проводилась в остаточном вакууме 10^{-5} Торр на имплантаторе ИЛУ-3. Омические контакты наносились серебряной электропроводящей пастой. Петля гистерезиса намагниченности и ее температурная зависимость регистрировались квантовым магнитометром SQUID XL-5. Температурные зависимости сопротивления и намагниченности исследованы в температурном диапазоне (300—4,5) К, а магниторезистивный эффект измерен при 4,2 К в магнитном поле с индукцией до 5 Тл.

Проводимость имплантированных пленок увеличивается с увеличением дозы и плотности ионного тока при имплантации. Изучение температурных зависимостей сопротивления показало, что при имплантации ионов магнитных металлов и достижении пороговой дозы знак температурного коэффициента сопротивления (ТКС) модифицированных пленок изменяется с отрицательного на положительный для ПИ и ПЭТФ при дозах $1,25 \cdot 10^{17}$ и $1 \cdot 10^{17}$ см⁻² соответственно, т.е. наблюдается переход диэлектрик-металл.

На диэлектрической стороне перехода температурная зависимость сопротивления достаточно хорошо описывается формулой Мотта с показателем степени близким к 0,5. Это свидетельствует, что основным механизмом переноса электронов может быть туннелирование между проводящими включениями в диэлектрической матрице полимера. На металлической стороне при имплантации Fe^+ в ПЭТФ ТКС был положительным, а при имплантации Co^+ в ПИ уменьшение сопротивления сменялось его увеличением при $T < 50$ К, что обусловлено процессами слабой локализации и электрон-электронного взаимодействия.

Основной причиной наличия и отсутствия перехода диэлектрик-металл при имплантации ионов металлов может быть как разный характер химического воздействия имплантированной примеси на

процесс формирования карбонизированного слоя, так и разная морфология формирующихся включений. Ранее наблюдалось сильное каталитическое действие кобальта на процесс графитизации, в то время как атомы меди приводит к блокировке p-электронов и уменьшению проводящих свойств металлополимерного композита. Кроме того, по данным просвечивающей электронной микроскопии при имплантации ионов кобальта и железа преимущественно формируются вытянутые включения, в то время как при имплантации меди и серебра форма включений близка к сферической.

При первых дозах имплантации знак магнитной восприимчивости изменяется на положительный, а дальнейшее увеличение приводит к формированию магнитных нанокластеров, о чем свидетельствует наличие максимума на температурной зависимости намагниченности. Увеличение температуры наблюдения максимума с увеличением дозы подтверждает увеличение размеров формирующихся магнитных кластеров и появление межкластерного взаимодействия. Анализ петель гистерезиса намагниченности показал, что переход в ферромагнитное состояние происходит при пороговой дозе $7,5 \cdot 10^{16}$ см⁻² для случая имплантации Fe^+ в ПЭТФ. Как видно, пороговая доза магнитного перколяционного перехода несколько ниже.

Независимо от режима переноса электронов (диэлектрический или металлический) магниторезистивный эффект в композитах с магнитными включениями отрицателен и практически линейно зависит от индукции магнитного поля. Кроме того, для диэлектрического режима переноса электронов наблюдается немонотонная зависимость от магнитного поля с резким максимумом при $B = 0,1$ Тл. В случае туннельного магниторезистивного эффекта положение этого пика должно коррелировать с величиной коэрцитивной силы. Однако как для ПИ(Co), так и ПЭТФ(Fe) композитов величина коэрцитивной силы, определенной из измерений магниторезистивного эффекта, значительно меньше, что позволяет связать наблюдаемые пики со спин-зависимым рассеянием электронов доменными стенками при намагничивании.

Проводится оценка величины формирующихся при имплантации нанокластеров металлов, обсуждается структура, температурная зависимости коэрцитивной силы и размерность электронных процессов переноса в режиме слабой локализации.

ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИЯ КОМПОЗИЦИИ ИЗ ОТХОДОВ ПЕНОПОЛИУРЕТАНОВ

А.К. Матвеев, А.К. Новиков, К.С. Матвеев

Научно-технологический парк Витебского государственного технологического университета, Витебск, Беларусь; info@technopark-vitebsk.by

Цель

Цель выполненной работы заключалась в исследовании процесса термостабилизации композиции из отходов интегральных (пено-) полиуретанов.

Введение

К интегральным, или пенополиуретанам, принято относить материалы, структура которых имеет неравномерную плотность по сечению [1, 2]. Известно, что полиуретановые композиции получают в результате химической реакции, протекающей между полиолами и изоцианатами [3] и, ввиду специфических свойств таких композиций, переработка их отходов сопряжена с большим количеством проблем. Жесткая плотная оболочка, обеспечивающая высокие эксплуатационные свойства материала, имеет высокую степень сопротивления любым негативным воздействиям [4]. Однако, в результате процесса термомеханической деструкции, такие материалы могут приобретать термопластичные свойства [5]. Для реализации процесса рециклинга разработано и используется специализированное оборудование, позволяющее обеспечить получение термопластичных композиций [6, 7].

Материалы и методы

Исследованиям подвергались материалы, полученные в результате внесения технологических изменений в процесс переработки отходов интегральных полиуретанов, который включает измельчение отходов в крошку, термомеханическую переработку экструдированием на шнековом прессе с предварительным формованием в матрице и окончательной переработкой на прокатных валках. После переработки на прокатных валках, материал подвергали дополнительному нагреву до температуры в 100 °С в течение 60—140 минут.

Результатом переработки является сформованная в межвалковом зазоре полоса, которая вылеживается до комнатной температуры. Для проведения эксперимента, сформованная полоса подвергалась нагреву. После выдерживания в течение определенного времени, из нее вырубались образцы, которые подвергались испытаниям, с целью определения их прочностных показателей.

Результаты и их обсуждение

Было определено, что нагрев образцов в диапазоне 60—90 °С имеет положительный эффект — прочностные показатели материала улучшаются.

Результаты эксперимента приведены в табл.

Таблица. Влияние температуры и времени нагрева на прочностные характеристики материала

Температура нагрева, °С	Время нагрева, мин	Предел прочности, МПа	Удлинение при разрыве, %	Твердость по Шору А
20—60	60	5,08	150	55-56
	110	5,14	160	55-56
	140	5,18	160	54-57
60—90	60	5,58	200	58-60
	110	5,65	220	59-62
	140	5,55	280	56-58
90—100	60	5,31	240	53-55
	110	5,14	170	46-48
	140	4,69	140	35-38

Известно, что процесс термомеханической деструкции является результатом линеизации молекулярной структуры материала. Происходит разрушение трехмерной «сетчатой» структуры полимера и уменьшение его молекулярной массы, что обеспечивает приобретение термопластичных свойств. Воздействие температуры в диапазоне 60—90 °С, не вызывает деструктирующих факторов, но, предположительно, приводит к тому, что в результате нагрева происходит сшивка между собой коротких цепочек молекул полиуретана, которая обеспечивается за счет его концевых функциональных гидроксигрупп в амидной (—CO—NH—) связи.

Таким образом, было определено, что в результате процесса термостабилизации материала, полученного из отходов интегральных полиуретанов, происходит увеличение его прочностных характеристик.

1. Ренно Д. Формование деталей и изделий в обувной и кожгалантерейной промышленности / пер. с нем.; под ред. Э.В. Ципенюк. — М.: Легкая индустрия. — 1979
2. Uhlig K. Polyurethan-taschenbuch / Konrad Uhlig: Hanser Verlag. — 2005, 208
3. Лосев И.П., Тростянская Е.Б. Химия синтетических полимеров. — М.: Химия. — 1971
4. Recycling and Recovering Polyurethanes. Options in Practise: ISOPA, November 2005, FACT SHEET. — S. 5
5. Матвеев К.С., Солтовец Г.Н., Буркин А.Н. Рециклинг интегральных полиуретановых композиций: Пластические массы / Научно-технический журнал. — 2002, № 10
6. Matveev Andrey, Logunova Alexandra. Technology of stabilizing products from waste foamed polyurethane / Problemy inzynierii srodowiska: XXXII Miedzynarodowe sympozjum im. Boleslawa Krzysztofika AQUA 2012 — Plock: Politechnica Warszawska instytut budownictwa. — 2012, 109—111
7. Патент РБ 5320, С08G 18/00. Экструдер для термомеханического рециклинга отходов интегральных полиуретанов (ВУ). — № u 20080790; Оpubл. 30.06.2009, ОБ № 3

АДСОРБЦИЯ ФОСФОРСОДЕРЖАЩИХ ПРИСАДОК НА ПОВЕРХНОСТИ ЖЕЛЕЗА

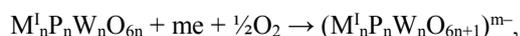
Ю.Ф. Мигаль¹, М.А. Савенкова², Д.Н. Солодовникова²

¹Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия; umigal@mail.ru

²Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону, Россия

Ранее было установлено, что перспективными неорганическими антифрикционными присадками, олеофильными к нефтяным смазочным маслам (СМ), термостойкими и экологичными, являются конденсированные фосфаты метафосфатного состава с равным отношением оксида металла и пентаоксида фосфора. Введение этих веществ в СМ позволило совершенствовать триботехнические характеристики, улучшить и длительно сохранять реологические и эксплуатационные свойства смазок [1, 2]. С целью изучения механизма взаимодействия этих присадок с металлом в данной работе на атомном уровне исследована адсорбция одного из видов метафосфатов — фосфоровольфраматов M^1PWO_6 , где M^1 — щелочные металлы (Li, Na, K, Rb, Cs).

Квантово-химические расчеты, проведенные с помощью пакета программ ADF, показали, что в процессе трения циклические молекулы фосфоровольфраматов приобретают от поверхности железа отрицательный заряд и, захватывая растворенный в смазочном материале кислород, преобразуются в анионы линейной формы. При этом происходит реакция



где $n = 3$ (в случае $M^1 = Li$) или 4 (в случае $M^1 = Na, K, Rb, Cs$); m — число электронов, захваченных молекулой. Расчеты показывают, что минимальной энергией обладает линейная цепочка с зарядом $2e$. Это означает, что такая молекула наиболее стабильна, и в процессе трения она становится преобладающей. Тот факт, что вблизи поверхности циклические молекулы метафосфатов превращаются в линейные, подтверждается методом ИК спектроскопии.

Возникновение линейной формы у гетерополифосфатов щелочных металлов у поверхности железа принципиально важно для применимости этих соединений в качестве присадок к смазкам. При достаточно большой концентрации этих веществ на поверхности металла положение цепочек становится перпендикулярным к поверхности. Чтобы определить степень связывания молекул с поверхностью и возможность формирования на ней модифицированного слоя, защищающего сам металл от износа, нами проведена оценка энергии адсорбции линейных молекул присадок на поверхности металла.

В качестве модели ювенильной поверхности железа, которая может образовываться на наиболее выступающих шероховатостях, нами использовался кластер из 13 атомов железа, отражающий на полуколичественном уровне свойства реального объекта (рис. 1). Были рассмотрены адсорбционные комплексы, которые могут возникать на поверхности металла в процессе адсорбции (см., напр., рис. 2).

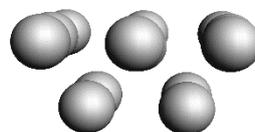


Рис. 1. Кластер, имитирующий свободную поверхность железа

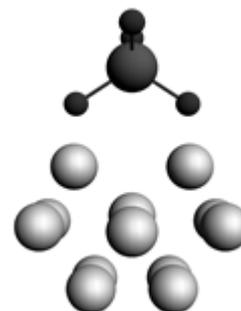


Рис. 2. Адсорбционный комплекс

Сравнение рисунков 1 и 2 показывает, что атомы Fe, ближайшие к молекуле присадки, сдвигаются в сторону этой молекулы. Вслед за этим происходит перестройка во взаимном расположении других атомов Fe. Это означает, что взаимодействие молекул присадок с поверхностью может изменять структуру поверхностного слоя металла. При оценке энергии адгезии необходимо учитывать этот эффект.

1. Колесников В.И., Савенкова М.А., Булгаревич С.Б., Челохьян А.В., Булавина Е.А., Бойко М.В. Исследование фрикционных характеристик пластичных железнодорожных смазок с неорганическими полимерами в качестве присадок // Трение и износ. — 2008 (29), № 3, 261—267
2. Колесников В.И., Мигаль Ю.Ф., Савенкова М.А., Мижирицкая С.Н. Адсорбция гетерополифосфатов щелочных металлов на поверхности железа // Трение и износ. — 2009 (30), № 6, 556—563

НАПОЛНЕНИЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА МОДИФИЦИРОВАННЫМ КАОЛИНИТОМ

А.А. Охлопкова, Л.А. Никифоров, Р.В. Борисова

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия; nikiforov_l@outlook.com

Введение

В настоящее время одним из перспективных направлений при создании новых полимерных композиционных материалов (ПКМ) является замена традиционных полимерных композитов на наноматериалы, содержащие в своем составе наноконпоненты с различными механизмами действия на полимерную матрицу, обуславливающие приспособляемость материалов к внешним воздействиям и обеспечивающие оптимальные служебные характеристики [1].

Цель

Создание нанокompозита на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) и каолинита, эксфолированного в полимерной матрице.

Методы и объекты исследования

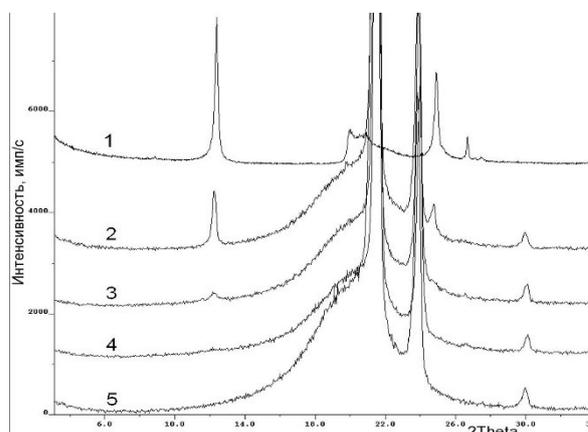
В качестве полимерной матрицы использовали сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ), а в качестве дисперсного наполнителя слоистую глину — каолинит. Дисперсный наполнитель обрабатывался компатибилизатором или поверхностно-активным веществом. Физико-механические исследования проводили на испытательной машине Shimadzu AGS-J по ГОСТ 11262-80 при комнатной температуре.

Структурные исследования каолинита, ПКМ проводили с использованием метода рентгеновской дифракции на рентгеновском порошковом дифрактометре ARL X'Tra фирмы Thermo Fisher Scientific (Швейцария) с медным анодом. Углы сканирования от 3 до 60°, с шагами сканирования 0,04 и 0,02°. Первичную обработку данных проводили по программе WinXRD, качественный анализ по программе Crystallographica Search-Match, количественный анализ — методом Ритвельда по программе Siroquant. Обработка данных позволила рассчитать степень кристалличности ПКМ, и установить влияние природы наполнителя на структурные изменения в полимере. Степень кристалличности определяли по программе Crystallinity (расчет отношения площадей аморфного гало и площади кристаллических пиков).

Результаты исследования и выводы

Обработка наполнителя модификаторами позволяет достигнуть высокой степени эксфолиации, т.е. заполнения межпакетных слоев каолинита полимером, что подтверждается результатами рентгено-

структурного анализа. На дифрактограмме ПКМ, полученного с использованием поверхностно-активного вещества, отсутствует пик, соответствующий слоям каолинита. Формируется типичный полимерный нанокompозит с развитой межфазной областью. Показано, что при наполнении СВМПЭ каолинитом, модифицированным полипропиленом, происходит полная или частичная, при высоком содержании наполнителя, эксфолиация наполнителя в полимерной матрице. При использовании ПАВ можно говорить о полной эксфолиации каолинита (рис.).



Дифрактограммы композитов на основе СВМПЭ и исходных полимера и наполнителя: 1 — каолинит механоактивированный; 2 — ПКМ на основе СВМПЭ, содержащий 5% механоактивированного каолинита; 3 — ПКМ на основе СВМПЭ, содержащий 5% механоактивированного каолинита, обработанного атактическим полипропиленом; 4 — ПКМ на основе СВМПЭ, содержащий 5% каолинита, механоактивированного с ЦТАБ; 5 — исходный СВМПЭ

В результате подобного изменения структуры композита зарегистрировано улучшение физико-механических свойств СВМПЭ при небольших содержаниях наполнителей. Добавление каолинита приводит к улучшению физико-механических свойств на 15—20%. При использовании ПАВ прочность при растяжении повышается на 17% и относительное удлинение при разрыве на 33%.

1. Охлопкова А.А., Адрианова О.А., Попов С.Н. Модификация полимеров ультрадисперсными соединениями. — Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН. — 2003

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗДЕЛЕНИЯ ФАЗ В СИСТЕМЕ ПОЛИЭТИЛЕН-ОЛИФА МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

Л.С. Пинчук¹, А.С. Неверов², Е.В. Шукова²

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

²Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь; shukova.yekaterina@yandex.by

Цель

Изучить процессы фазовых превращений в системах на основе полиэтилена и олифы методом ИК-спектроскопического анализа.

Материалы и методы

Полимерные пленки изготавливали из полиэтилена низкого давления (ГОСТ 16338-77) и олифы (ГОСТ 7931-76) методом «горячего» прессования на гидравлическом прессе ПГПР с электроподогреваемыми плитами ($T = 423$ К) при давлении формирования 50 МПа. Часть образцов сразу после формирования подвергалась исследованию методом ИК-спектроскопии. Исследование проводили на двухлучевом спектрометре Spexord-75IR. Некоторые образцы предварительно выдерживали в течение 8 часов при $T = 105$ °С.

Результаты их обсуждения

При введении олифы характер спектра, соответствующего исследуемым образцам существенно изменяется. Наибольшие изменения при введении олифы в полиэтилен наблюдались для полос поглощения, которые относятся к функциональным группам $-\text{OH}$ (3400 см^{-1}) и $-\text{CH}_2-\text{CO}-\text{O}-\text{R}$ (1700 и 1150 см^{-1}), входящим в состав пластификатора. Поскольку выдержать одинаковую толщину пленок сложно, интенсивность пиков поглощения оценивали по отношению к базовому пику 720 см^{-1} , соответствующему колебаниям основной цепи.

Полученные результаты приведены на рис. 1. Их анализ свидетельствует, что при введении олифы интенсивность пиков поглощения, соответствующих гидроксильным и сложноэфирным функциональным группам увеличивается, достигая максимального значения при содержании олифы 20...30%, после чего остается практически неизменной.

Это можно объяснить фазовыми превращениями, происходящими в полимерном материале при введении в его состав ограниченно совместимых с полимером жидкостей. Согласно [1, 2] для многих полимеров предел совместимости с пластификатором достигается при 10...20%-ном содержании его в композите. При дальнейшем введении жидкости лишний пластификатор выделяется в свободном виде, формируя вначале систему закрытых, а при содержании пластификатора более 40...50%

— открытых пор. Полимерный каркас при введении пластификатора более 30% сохраняет постоянный состав, так как лишний пластификатор «сливается» в поры. Потому фактически в области 30...40% пластификатора система состоит из двух фаз постоянного состава: раствор пластификатора в полимере и раствор полимера в пластификаторе. Изменяется только количественное соотношение этих фаз. Содержание полимерной фазы снижается, а жидкой — увеличивается. Практически неизменный состав этих фаз в данной концентрационной области обуславливает сравнительную неизменность интенсивности пиков на ИК-спектрах образцов. При длительной выдержке на воздухе (более 2 суток) или при более кратковременном нагреве, олифа в порах отверждалась, образуя систему из двух взаимопроницающих пространственных сеток — термопластичной (полимерный каркас) и термореактивной (затвердевшая олифа). Об этом свидетельствует снижение при нагреве интенсивности пиков, соответствующих сложноэфирным группам при одновременном увеличении интенсивности пиков, отвечающих группам ОН. Первые, по-видимому, участвуют в образовании сшивок между молекулами глицеридов, содержащихся в олифе, формируя, таким образом, сетчатую структуру. Вторые образуются за счет окисления глицеридов кислородом воздуха.

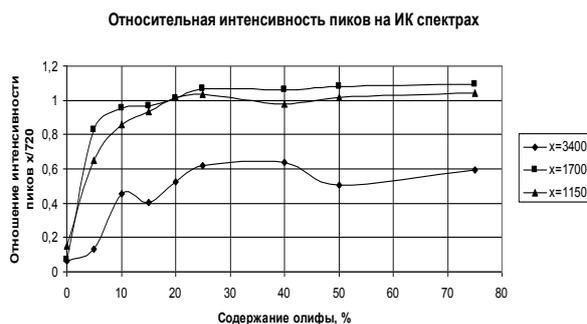


Рис. 1. Относительная интенсивность пиков поглощения, соответствующих олифе, на ИК-спектрах пленок на основе ПЭ

1. Папков С. П. Студнеобразное состояние полимеров. — М.: Химия. — 1974
2. Гольдаде В. А., Неверов А. С., Пинчук Л. С. Низкомолекулярные композиционные материалы на основе термопластов / под ред. А. И. Свириденка. — Мн.: Наука и техника. — 1984

КОЛЛОИДОБРАЗОВАНИЕ В ОРГАНОЗОЛЯХ Sn(II), ИСПОЛЬЗУЕМЫХ
ДЛЯ АКТИВАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИЭФИРНЫХ МАТЕРИАЛОВО.В. Рева¹, В.В. Богданова², З.В. Шукело², Л.В. Радкевич²¹ Командно-инженерный институт МЧС Минск, Беларусь² НИИ физико-химических проблем БГУ, Минск, Беларусь

Введение. В настоящее время возрос интерес к формированию наноструктурированных композиционных материалов методом «химической микросборки», в том числе огнезащитных полиэфирных материалов — изначально химически инертных, с гладкой поверхностью. Одной из широко известных систем для сенсбилизации инертных поверхностей являются растворы двухвалентного олова, поскольку коллоидные частицы Sn(II) обладают восстановительными свойствами и способностью адсорбироваться на поверхности твердых тел [1—3]. Однако водные растворы Sn(II) характеризуются очень быстрым неконтролируемым окислением и гидролизом соединений олова и, следовательно, коротким сроком существования коллоидных частиц с оптимальными размерами (3—15 нм) и концентрацией. Ранее нами установлено [4], что органо-водные золи Sn(II) являются гораздо более перспективными для создания интермедиативных слоев, «привязывающих» неорганические антипирены к полиэфирной поверхности, чем водные растворы. Однако химический состав комплексных соединений Sn и характеристики коллоидной фазы в органических и органо-водных растворах практически не изучены.

Цель данной работы — исследовать закономерности формирования и свойства коллоидных частиц в органозолях SnCl₂ и выявить их пригодность для обеспечения прочной химической привязки неорганической огнезащитной композиции к поверхности полиэфирных тканей и волокон.

Результаты и обсуждение. Методом оптической спектрофотометрии показано, что спиртовые растворы SnCl₂ гораздо более стабильны к окислению и гидролизу Sn(II), чем водные и органо-водные растворы, что иллюстрируется длительным (до 60 и более суток) сохранением для изученных растворов положения края полосы поглощения в УФ области. Для водных растворов уширение и смещение этой полосы в видимую область начинается после 2—3 суток. Наличие или отсутствие коллоидных частиц соединений олова в неводных растворах методом спектрофотометрического исследования не доказывается, т.к. максимум в ИК области (величина которого для водных растворов прямо связана с концентрацией в них коллоидной фазы) отсутствует. Стабильность спиртовых растворов подтверждается и отсутствием в них осадков до 80 и более суток хранения.

Методом просвечивающей электронной микроскопии показано, что в спиртовых растворах SnCl₂ образование коллоидных частиц начинается только после 15 суток их старения и размеры частиц состав-

ляют ~ 1—3 нм. Обнаружено, что при введении в растворы аминоксодержащих добавок формирование коллоидных частиц интенсифицируется: четко различимые частицы с размерами 3—8 нм образуются в растворах со сроком старения 5—7 суток, рис. 1.

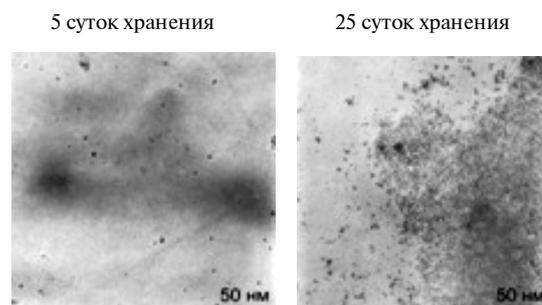


Рис. 1. Фотографии коллоидных частиц в объеме спиртового раствора SnCl₂ с добавкой этилендиамина

Весьма необычным фактом является то, что с увеличением срока старения до 45 суток в объеме всех исследованных растворов размеры частиц практически не увеличиваются, существенно растет только их концентрация и формируются агрегаты с размерами 10—15 нм. Кроме того, в 1,5—2 раза более концентрированных спиртовых растворах SnCl₂ коллоидные частицы формируются в то же время старения и с теми же размерами, но концентрация их ~ в 1,5 раза выше.

Полученные результаты свидетельствуют, что неводные растворы SnCl₂ более перспективны для активирующей обработки полиэфирных материалов и тканей перед нанесением огнезащитных композиций, чем водные и органо-водные, поскольку окисление Sn(II) в них происходит значительно медленнее и коллоидные частицы в их объеме значительно дольше сохраняют оптимальные частотно-размерные характеристики.

1. Рева О. В., Воробьева Т. Н. Фотостимулированные превращения в островковых пленках гидросоединений Sn(II) в процессе селективной металлизации диэлектриков / Ж. прикл. химии. — 1998, № 3, 498—502
2. A.M. Mance, S.W. Gaarencefroom, R.A. Waldo Interactions of Electroless Catalysts with Ozonated Polymer Surface: Platability and X-Ray Photoelectron Spectroscopy Studies // J. Electrochem. Soc. — 1991, (138), № 2, 417—421
3. Воробьева Т.Н. О состоянии границы раздела в системе полиимидная подложка-медь // Высокомогл. соед., Сер. А. — 1994 (36), № 9, 1491—1498
4. Рева О.В., Богданова В.В., Шукело З.В., Радкевич Л.В. Химическая прививка неорганических функциональных слоев к полимерам // Материалы. Технологии. Инструменты. — 2011 (16), № 3, 90—94

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ МАСЛЯНЫХ СУСПЕНЗИЙ ХОЛЕСТЕРИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ И УГЛЕРОДНЫХ НАНОЧАСТИЦ

С.А. Сергеев, Е.В. Березина

НИИ Наноматериалов Ивановского Государственного Университета, Иваново, Россия

В данной работе исследовалось влияние углеродных нанотрубок на реологические параметры индустриального масла И-20А с присадками холестерических жидких кристаллов. Известно, что, изучение реологических характеристик позволяет расширить теоретические знания о возможности прогнозирования и регулирования триботехнических свойств смазочных композиций. Исследования кривых течения могут служить в качестве средства выявления внутренней структуры смазочной композиции, выявления и регистрации изменений этой структуры. На реологические свойства оказывают влияние структурные характеристики мезогенных присадок, которые непосредственно связаны с молекулярными взаимодействиями, особенности строения и теплового движения структурных элементов, взаимодействия этих элементов друг с другом и с молекулами дисперсионной среды и т.д. Мезогенные соединения обладают рядом особенностей, отличающих их от обычных изотропных жидкостей. Отмечается [1], что отличительной особенностью вязкости является гигантский диапазон ее изменений в пределах мезофазы. Вязкость в зависимости от температуры в пределах мезофазы может изменяться в 10^6 раз. Эффективная вязкость, кроме того, сильно зависит от скорости сдвига. При увеличении скорости сдвига на 3 порядка вязкость, например, холестериков, может уменьшаться в 100 раз и более. Этот факт, по-видимому, обусловлен слоистой структурой холестерической мезофазы, обладающей свойствами неньютоновской жидкости [1].

Данные особенности реологических свойств мезогенных соединений позволяют предположить изменения реологического поведения традиционных масел при введении в них ХЖК и углеродных нанотрубок в качестве присадок. Характер этих изменений непредсказуем, т.к. реология систем, содержащих мезогенные и немезогенные компоненты не исследована.

Реологические исследования проведены на реометрах нового поколения PhysicaMCR301 и PhysicaMCR501 компании AntonPaar [2] позволяют проводить осцилляционные тесты с реальным контролем деформации, проводить измерения в температурном диапазоне от -150 до 1000 °С, проводить измерения практически всех основных характеристик, видеть диаграммы зависимости напряжения сдвига от ско-

рости сдвига, скорость сдвига от скорости вращения, также показано восстановление структуры во времени, и вязкоупругое поведение вещества (G' и G'') при амплитудных тестах, восстановлении структуры по времени и поведении при изменении температуры в реальном времени.

Результаты эксперимента представлены на рис. 1. Добавление нанотрубок приводит к увеличению значений модуля упругости G' и уменьшению вязкого модуля G'' , что говорит об образовании структуры в образце. Таким образом, можно сказать, что добавление наночастиц к двухкомпонентной системе (масло И-20А + ХЖК) приводит к изменению соотношения между упругой и вязкой составляющими в пользу увеличения влияния упругих свойств образца.

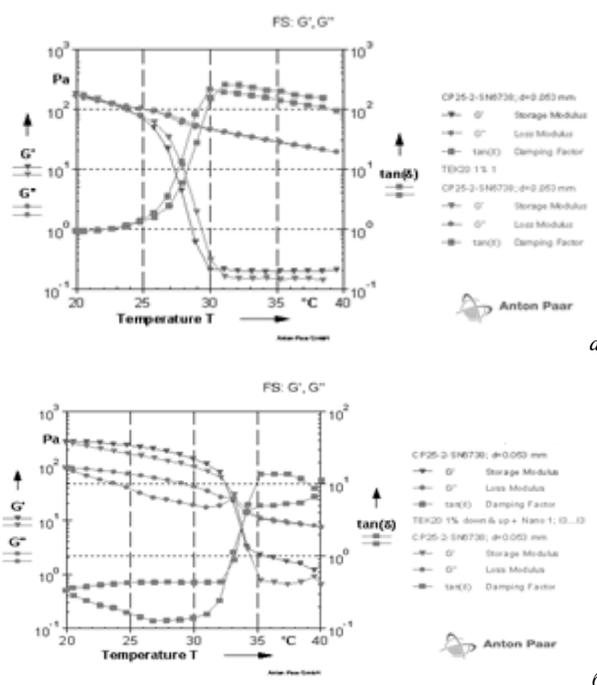


Рис. 1. а — двухкомпонентная система (И-20А + ХЖК); б — двухкомпонентная система (И-20А + ХЖ + УНТ)

1. Ермаков С.Ф., Родненков В.Г., Белоенко Е.Д., Купчинов Б.И. Жидкие кристаллы в технике и медицине. — Минск: Асара, М.: ЧеРо. — 2002
2. <http://www.antonpaar.com> Sergeev S.A. Berezina E.V.

**ТЕРМОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В КОМПОЗИТЕ НА ОСНОВЕ
ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ И НАНОСТРУКТУРНЫХ ВОЛОКОН ZrO_2 , HfO_2**

Т.М. Ульянова, Н.П. Крутько

Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь; ulya@igic.bas-net.by

Целью настоящей работы было получение высокотемпературного теплоизоляционного материала с использованием промышленных полимерных связующих и наноструктурных волокон тугоплавких оксидов.

Эксперимент. Волокна ZrO_2 , HfO_2 получали из гидратцеллюлозных нитей путем пропитки их растворами соответствующих солей металлов с последующей термообработкой в окислительной атмосфере. Образцы композиционного материала готовили тщательным перемешиванием оксидных волокон со связующим из смеси эпоксидной и фенолформальдегидной смолы, формованием во фторопластовых пресс-формах и термообработкой под нагрузением в диапазоне 150—170 °С. Полученные заготовки нагревали в токе гелия при плавном повышении температуры до 1000 °С. Сформованные цилиндрические образцы из пористого углеродного материала, содержали гомогенно распределенные волокнистые частицы тугоплавких оксидов. Их содержание в образцах изменялось от 0 до 89%, азота — 0,5—0,7, водорода — 0,10—0,15, углерода — от 10,40 до 19,15%. Кажущаяся плотность углеродного композита (УК) изменялась в пределах от $1,54 \cdot 10^3$ до $2,14 \cdot 10^3$ кг/м³, а величина суммарной пористости соответственно уменьшалась от 70,0 до 45%.

Обсуждение результатов. Рентгенофазовый анализ углеродных образцов показал, что они состояли из фаз индивидуальных оксидов циркония и гафния моноклинной структуры и углерода в турбо-стратной форме. Дальнейшее нагревание образцов до 200 °С выполнялось со скоростью 0,1 °С/с, при этом, удалялась адсорбированная влага из пористых образцов. Затем скорость повышалась до 0,5 °С/с. В области температур 110—1200 °С у оксидов металлов происходил структурный переход из моноклинной фазы в тетрагональную.

Согласно данным термогравиметрического ана-

лиза образцы, содержащие оксиды металлов и углерод, начинали терять массу при 1250 °С. Основная потеря массы происходила в интервале температур 1300—1600 °С.

Рентгенофазовый анализ подтвердил, что при 1250—1300 °С начиналось взаимодействие углеродной матрицы с наноструктурным оксидными волокнами, на их границе формировались фазы оксикарбидов циркония и гафния. Образование новой кубической фазы носило диффузионный характер, поэтому вначале образовывались нестехиометричные карбиды металлов, содержащие кислородные атомы и выделялись газообразные продукты CO и CO₂, которые удалялись с током гелия. Реакция карбидообразования продолжала развиваться, и при 2050 °С химические превращения завершались. Полученный пористый теплоизоляционный материал содержал карбиды металлов и углерод.

На процесс образования карбидов в исследуемых системах заметное влияние оказывала скорость нагревания образцов, которая изменялась от 0,11 до 0,37 град/с. В условиях плавного подъема температуры были получены кинетические зависимости. Все кинетические кривые имели S-образную форму и описывались уравнением Аррениуса. С увеличением скорости нагревания реакция карбидообразования смещалась на 100 °С в область более высоких температур, что обусловлено диффузионными процессами и локальным протеканием реакции на границе фаз MeO-C. В общем случае образование карбидов циркония и гафния протекало в образцах с волокнистыми оксидами при температурах на 200—300 °С ниже, чем в реакциях с порошками, что обусловлено наноразмерным состоянием оксидов в волокнах и их высокой реакционной активностью.

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК СЛОИСТЫХ ГЛИНИСТЫХ СИЛИКАТОВ НА СВОЙСТВА ГЕРМОСЛОЕВ БЕСКАМЕРНЫХ ШИН

В.Д. Федоров¹, П.В. Васильев², Т.П. Валенчиц², В.Н. Коваль¹, З.В. Коптелова²

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

²ОАО «Белшина», Бобруйск, Беларусь

Основные требования к резине гермослоя — это обеспечение низкой воздухопроницаемости и высокой усталостной выносливости. Усталостная выносливость достигается использованием низко-модульной резины с однородной пространственной сеткой. При этом резина должна обладать стойкостью к высоким температурам и достаточной прочностью связи с резинами на основе каучуков общего назначения, контактирующими в шине с гермослоем [1, 2].

Основными компонентами резины гермослоя являются хлорбутил — (ХБК) или бромбутил — (ББК) каучуки и их смеси с натуральным каучуком (НК). Последний вводится для улучшения совместимости гермослоя с каучуками общего назначения, а также для снижения стоимости.

Введение НК в состав гермослоя приводит, как правило, к повышению его воздухопроницаемости. Поэтому требуется применение специальных модификаторов и технологий компаундирования, способствующих снижению воздухопроницаемости.

Основным недостатком галобутилкаучуков является высокий гистерезис ($tg\delta$), низкая неупругость и низкая вулканизационная активность. Для получения удовлетворительной степени сшивания требуются более высокие по сравнению с НК температуры вулканизации (160 °С) и использование ускорителей, обеспечивающих высокую скорость вулканизации.

В докладе приводятся экспериментальные данные, полученные при анализе воздухопроницаемости, а также кинетики вулканизации и структуры вулканизатов резиновых смесей гермослоев, модифицированных добавками слоистых глинистых силикатов (СГС).

Для приготовления резиновых смесей использовали смеси ХБК/НК, а также исходные (необработанные поверхностно-активными веществами (ПАВ)) СГС на основе натрия-монтмориллонита и органомодифицированные (обработанные ПАВ) СГС.

Установлено, что добавление в исходный галобутилкаучук немодифицированной глины приводит к формированию микрокомпозита, в котором глина

находится в агрегированном (нерасшелушенном) состоянии, что фиксируется рентгенографически (по дифракционному пику при $2\theta \approx 6,5^\circ$).

В органоглине модифицированной ПАВ наблюдаются дифракционные пики в диапазоне 2θ от 2,1 до 6,5° в зависимости от типа ПАВ, который частично нивелируется при эксфолировании на стадии введения СГС в состав резиновой смеси. Установлено, что добавки ХБК повышают степень расшелушивания СГС.

Присутствие расшелушенной органоглины оказывает существенное влияние на кинетику вулканизации, структуру молекулярной сетки и свойства резины гермослоя.

Поверхностно-активные вещества интеркалированные в межслойные пространства органоглины, увеличивают скорость серной вулканизации, повышают плотность сшивания каучука и снижают тепловыделение в рабочем интервале температур и частоты воздействия на резину гермослоя (70°C , $f = 10$ Гц).

Установлено, что исходные добавки СГС не расшелушенных в объеме каучука не снижают воздухопроницаемость. В случае применения расшелушенных наноглин воздухопроницаемость снижается до 30—50% в зависимости от способа обработки СГС. Образцы, имеющие более высокую плотность сшивания при одинаковом наполнении эксфолированными наноглинами, имеют меньшую газопроницаемость. Введение ненасыщенных алкиламинов на поверхность расшелушенных силикатных слоев малоэффективно: повышается количество связанного каучука, но снижается степень сшивания и повышается воздухопроницаемость. Полученные данные свидетельствуют о перспективности применения специальных СГС для снижения газопроницаемости гермослоев шин.

1. Масагутова Л., Микуленко Н. Применение каучуков на основе изобутилена в шинной промышленности / М.: — 2001
2. Choudalakis G., Gotsis A.D. Permeability of polymer/clay nanocomposites: A review. // European Polymer Journal — 2009 (45), 967—984

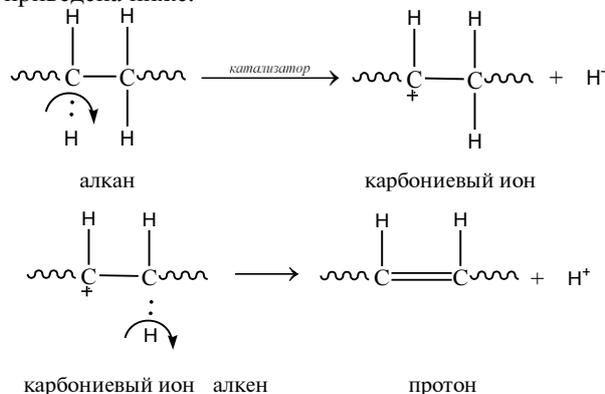
ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ДЕЙСТВИЕ ПРИСАДОК — АНТИОКСИДАНТОВ

В.А. Фейзова, К.С. Лебединский, Д.Ю. Марченко

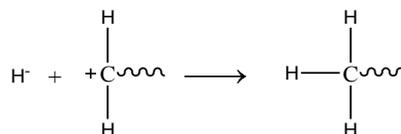
ФГБОУ ВПО РГУПС, Ростов-на-Дону, Россия; bulgarevich@rambler.ru

Рассмотрено влияние высокого давления в зоне непосредственного фрикционного контакта на положение равновесия и скорости химических реакций взаимодействия молекул антиоксидантов с ионными и радикальными частицами, являющихся продуктами разрушения нефтяной смазочной основы жидкой смазочной среды. Молекулы предельных углеводородов в зонах фрикционных контактов претерпевают химические превращения, протекающие по ионному и радикальному механизмам. Полагаем, что такие процессы аналогичны каталитическому и термическому крекингам.

Каталитический крекинг предельных углеводородов сопровождается образованием карбониевых ионов — углеводородных частиц, у атомов углерода которых имеется положительный заряд. При эксплуатации узлов трения в смазочную среду как правило попадают силикатные пылевые частицы, служащие катализаторами её деструкции (крекинга), протекающей по ионному механизму. Схема каталитического процесса образования молекул непредельного углеводорода из молекул предельного приведена ниже.

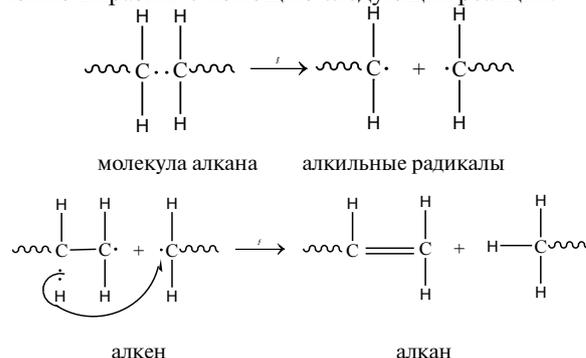


Последняя реакция способствует водородному износу металлических материалов. Образовавшийся карбониевый ион может претерпеть превращение с гетеролитическим разрывом связи C—C, образуется новая молекула непредельного углеводорода и новый карбониевый ион.



Задача молекул антиоксидантов — блокировка образования реакционно-способных карбониевых ионов и замедление разрушения масляной основы.

При термическом крекинге из молекулы предельного углеводорода образуется две новые молекулы меньшей молекулярной массы, одна из которых непредельная, а другая — предельная. Это радикальный процесс, протекающий ступенчато с гомолитическим разрывом химических связей через стадию образования свободных радикалов, что схематически можно выразить с помощью следующих реакций:



В результате этих реакций снижается молекулярная масса молекул смазочного материала, что понижает вязкость масла и способствует появлению новых реакционно-способных молекул непредельных соединений. Задача антиоксидантов — блокировка образования реакционно-способных радикальных частиц.

Анализ молекулярных механизмов влияния высокого давления на протекание реакций взаимодействия молекул антиоксидантов с ионными и радикальными частицами, являющимися продуктами разрушения смазочной основы осуществлен методом молярных объемов. Этот метод предложен как физический метод исследования строения молекул растворенных веществ в растворах и молекул индивидуальных жидкостей. Установлено, что при повышении давления от атмосферного до величины давления в непосредственном фрикционном контакте (порядка 10^4 атм.) равновесие химических реакций блокирования антиоксидантами органических катионов смещается в сторону продуктов реакции блокирования. Также увеличивается скорость этих реакций. Высокое давление не способствует блокированию радикальных процессов антиоксидантами.

ВЛИЯНИЕ ИОНОВ Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} НА ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ГИДРОЛИЗАТА ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНОГО ВОЛОКНА

Е.К. Фомина¹, Л.П. Круль², Е.В. Гринюк², О.В. Якименко²

¹Учреждение БГУ «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», Минск, Беларусь; famina@bsu.by

²Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Цель

Моделирование процессов, протекающих при использовании полиэлектролитных гидрогелей (ПЭГГ) на основе гидролизата полиакрилонитрильного волокна (ГПАН) в растениеводстве: изучение влияния взаимодействия ионов Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} с функциональными группами полимера на водопоглощающие свойства гелей.

Ранее [1] было показано, что ПЭГГ на основе карбоксилированного полиакриламида в присутствии ионов Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} дополнительно сшиваются, что приводит к снижению степени набухания сшитых полимеров в воде. В данной работе ставилась задача изучить кинетику набухания ПЭГГ на основе ГПАН в растворах солей $\text{Cu}(\text{II})$, $\text{Zn}(\text{II})$, $\text{Mn}(\text{II})$, а также определить эффективность связывания гидрогелем ионов Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} из их водных растворов.

Материалы и методы

Использовался промышленно производимый препарат ВРП-3 (ТУ РБ 00280198.024-99). Содержание акрилатных звеньев, определенное методом потенциометрического титрования, составляло 70 мол.%, средневязкостная молекулярная масса (ММ) — $8,0 \cdot 10^4$. В качестве модельного соединения с максимально возможным содержанием карбоксилатных групп применялся полиакрилат натрия (ПАНа), полученный радикальной полимеризацией АНа (ММ — $8,0 \cdot 10^5$). ПЭГГ получали путем прогрева его водно-солевых растворов в присутствии персульфата аммония (ПСА) по методике, описанной в [2]. Источником d-элементов выступали сульфаты $\text{Cu}(\text{II})$, $\text{Zn}(\text{II})$, $\text{Mn}(\text{II})$. Количество ионов, сорбируемых гидрогелями из растворов солей $\text{Cu}(\text{II})$, $\text{Zn}(\text{II})$, $\text{Mn}(\text{II})$, определяли методом атомно-абсорбционного спектрального анализа (ААС) по разнице концентраций ионов в растворе до и после набухания в них ПЭГГ.

Степень набухания (α) ПЭГГ в дистиллированной воде и растворах солей, а также величина гелефракции (δ) определялась гравиметрическим методом [2].

Результаты и их обсуждение

Изучена кинетика набухания образцов ПЭГГ на основе ГПАН в водных 0,01 М растворах сульфатов

Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} . Наблюдалось первоначальное набухание ПЭГГ (в первые 30 мин) с последующим самопроизвольным коллапсом гидрогеля. Степень набухания ПЭГГ в дистиллированной воде в течение суток линейно возрастает со временем и достигает равновесных максимальных значений на 2—3 сутки.

Протекание сорбции воды гидрогелями из растворов солей в первые 30 мин подтверждается и результатами, полученными методом ААС. Действительно, концентрация ионов в растворах солей не только не уменьшается из-за связывания их полимером в этом временном промежутке, но даже возрастает, что можно объяснить уменьшением содержания воды в растворе вследствие поглощения её гидрогелем.

Количества ионов металлов, поглощаемых гидрогелями на основе ГПАН и ПАНа, зависят от природы иона. Сорбционная способность полимера по отношению к исследованным ионам снижается в ряду: $\text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Mn}^{2+}$. На величину сорбции влияет также содержание карбоксилатных групп в гидрогеле. При переходе от ПЭГГ на основе ВРП-3 к ПЭГГ на основе ПАНа наблюдается возрастание величины сорбции, пропорциональное содержанию карбоксилатных групп, что свидетельствует о том, что связывание ионов протекает в акрилатных звеньях.

На связывание ионов Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} гидрогелями влияет густота сшивки, зависящая от концентрации сшивающего агента. Слабосшитые образцы ГПАН и ПАНа ($\delta < 30\%$) поглощают такие же количества ионов $\text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Mn}^{2+}$, как и их растворимые аналоги, в то время как сильносшитые ($\delta > 70\%$) связываются с ионами металлов лишь в тонком приповерхностном слое, что приводит к снижению общего количества поглощаемых ионов.

1. Круль Л.П., Гринюк Е.В., Якимцова Л.Б., Фомина Е.К., Данилович Т.Г., Бражникова Л.Ю., Якименко О.В., Поликарпов А.П. Гелеобразование в водных растворах функционализированных полиакриламидов // *Материалы. Технологии. Инструменты.* — 2011 (16), № 3, 85—89
2. Гринюк Е.В., Фомина Е.К., Якимцова Л.Б., Круль Л.П. Новые пленкообразующие биотехнические средства сельскохозяйственного назначения на основе химически сшитых функционализированных полиакриламидов // *Свиридовские чтения: Сб. ст. 2012. Вып. 8 / Редкол.: Т.Н. Воробьева [и др.]. ISBN 978-985-518-714-2 — Мн.: БГУ. — С. 194—201*

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА МАКРОМОЛЕКУЛЯРНЫХ МЕТАЛЛОКОМПЛЕКСОВ В ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ ГИДРОГЕЛЯХ НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫХ ПОЛИАКРИЛАМИДОВ, СШИТЫХ АЦЕТАТОМ ХРОМА (III)

О.В. Шахно¹, Л.П. Круль², Е.В. Гринюк², Г.В. Бутовская¹,
Е.Д. Скаковский³, Л.Ю. Тычинская³

¹Учреждение Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», Минск, Беларусь; shahno1990@mail.ru

²Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

³Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Комплексные соединения, в которых лигандами являются функциональные группы макромолекул, а центральным атомом — катион металла, широко используются в различных областях, в том числе при получении полиэлектролитных гидрогелей (ПЭГГ), применяемых в сельском хозяйстве, а также в нефтедобыче для повышения нефтеотдачи пластов [1, 2].

Целью настоящей работы было установление состава комплексных соединений, образующихся при взаимодействии карбоксилированного полиакриламида (КПАА) и сульфонируемого полиакриламида (СПАА) с ацетатом хрома (III) (АХ) методом спектроскопии ЯМР ¹³C.

Материалы и методы

В качестве КПАА использовали ПАА марки Alcoflood 254S, который является анионным водорастворимым биполимером акриламида с акрилатом натрия со средневязкостной молекулярной массой $5 \cdot 10^5$ Да. СПАА марки AN-125 VLM представлял собой анионный водорастворимый терполимер акриламида с акрилатом натрия и натриевой солью 2-акриламидо-2-метилпропан-сульфокислоты со средневязкостной молекулярной массой, равной $2 \cdot 10^6$ Да.

Спектры ЯМР ¹³C записывали на спектрометре Avance-500 Bruker с рабочей частотой 125,8 МГц. При регистрации использовались следующие параметры: SI = 32 k, RD = 0,5 с, AQT = 0,5 с, NS = 70000, Inverse gated. Для отнесения линий были записаны также спектры с переносом поляризации (DEPT).

Образцы для записи спектров готовили непосредственно в ампулах ЯМР диаметром 5 мм. Нешитый КПАА и СПАА использовали в виде 10%-х растворов в дейтерированной воде. При получении ПЭГГ к раствору функционализованного ПАА добавляли АХ в количестве, соответствующем мольному отношению Cr (III) : COO⁻, равному 1:3. Смесь перемешивали до однородного состояния, а получившийся раствор нагревали при 90 °С, продолжительность нагрева соответствовала времени начала гелеобразования (60 и 120 минут для КПАА и

СПАА соответственно).

Содержание функциональных групп в сополимерах определяли по интегральной интенсивности линий, обусловленных химическим сдвигом δ атомов углерода, входящих в состав этих групп. Относительная ошибка определения содержания функциональных групп не превышала 7% с надежностью 0,95.

Результаты и их обсуждение

Установлено что комплексообразование в системе полимер — АХ, приводящее к получению ПЭГГ, происходит в результате взаимодействия катионов Cr (III) исключительно с карбоксилатными группами сополимеров. Амидные группы КПАА, а также сульфогруппы СПАА, присутствующие в большем количестве по сравнению с карбоксилатными группами, в образовании комплексного соединения не участвуют. Показано, что при исходном мольном соотношении Cr (III) и карбоксилатных групп сополимеров, меньшем либо равном 1:3, в состав образующегося комплексного соединения входят три карбоксилатные группы. Предложена схема образования ПЭГГ, предполагающая взаимодействие катиона Cr (III) с тремя карбоксилатными группами, выступающими в качестве бидентатных лигандов. Показана возможность равновесия между бидентатной и монодентатной формой карбоксилатной группы, входящей в состав комплексного соединения в водном растворе.

Полученные результаты представляют не только теоретический интерес, но имеют и важное практическое значение для понимания механизма функционализации ПЭГГ.

1. Круль Л. П., Матусевич Ю. И., Гринюк Е.В. и др. Полиэлектролитные гидрогели на основе гидролизата нитрона // Труды Белорусского государственного университета. Серия «Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем». Проблемы и перспективы развития малотоннажной химии Республики Беларусь (специальный выпуск). — 2008 (3), ч. 2, 59—69.
2. Филиппова О.Е., Хохлов А.Р. «Умные» полимеры для нефтедобычи // Нефтехимия. — 2010 (50) № 4, 279—283

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ, РЕЛАКСАЦИОННЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИБУТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА И ЕГО СМЕСЕЙ С ПОЛИЭФИРНЫМИ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТАМИ, СОДЕРЖАЩИХ УДЛИНИТЕЛИ ЦЕПИ

В.В. Шевченко

Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь; mpri-shevchenko@tut.by

Цель работы — оценить влияние удлинителей цепи (УЦ) на структуру, реологические и механические свойства полибутилентерефталата (ПБТ) и его смесей с полиэфирными термоэластопластами (ПТЭП).

Объектами исследования являлись:

– ПБТ (ТУ РБ 700117487.171-2000, $T_{пл} = 222$ °С, $[\eta] = 0,85$ дл/г);

– ПТЭП (полибутилентерефталат-политетраметиленоксидный блок-сополимер, $M_{ПТМО} = 2000$, $T_{пл} = 195$ °С);

УЦ — модификатор АПЭК-ММ-1 (ТУ ВУ 400084698.151-2004), включающий стабилизаторы термической и термоокислительной деструкции полиалкилентерефталатов и компоненты, химически взаимодействующие с концевыми гидроксильными и карбоксильными группами макромолекул полиэфиров.

Реакционное смешение компонентов в расплавах полиэфиров осуществляли на двухшнековом экструдере TSSK-35/40 (Китай) с диаметром шнеков 35 мм и $L/D = 40$, имеющем 10 независимых зон обогрева материального цилиндра, зону вакуумирования и специальную конфигурацию шнеков.

О реологических свойствах материалов судили по значениям показателя текучести расплава (ПТР), определенного с помощью прибора ИИРТ-АМ (Украина) при температуре 240 °С, нагрузке 21,6 Н.

Процессы плавления и кристаллизации исследовали с помощью дифференциального сканирующего калориметра DSC Diamond фирмы Perkin Elmer (США), навеска $m = 10$ мг, скорость нагрева-охлаждения 15 °С/мин.

Показатели механических свойств материалов при растяжении определяли на разрывной машине FYWN-5K (Китай).

Релаксационные измерения осуществляли на релаксометре конструкции ИММС НАН Беларуси, работающем по принципу обратного крутильного маятника (частота 1 Гц, скорость нагрева 2 °С/мин), а также на приборе DMA 8000 фирмы Perkin Elmer, США (режим нагружения — одноконсольный изгиб, частота 10 Гц, скорость нагрева 2 °С/мин)

При компаундировании и переработке полиалкилентерефталатов активно протекают гидролитическая и термическая деструкции макромолекул, что

приводит к снижению молекулярного веса, ухудшению комплекса показателей механических свойств и технологических характеристик. Для замедления или предотвращения негативного влияния деструкции макромолекул на свойства полиалкилентерефталатов возможно введение в их состав стабилизаторов, проведение твердофазной дополиконденсации материала, применение специальных УЦ, способных взаимодействовать в расплаве, главным образом, с концевыми –ОН или –СООН– группами, препятствуя снижению молекулярного веса. Последний прием является наиболее экономичным и эффективным, поскольку при его использовании предотвращается не только гидролитический, но и термический распад макромолекул [1].

Установлено, что реакции, приводящие к удлинению цепи, активно протекают в расплаве как чистого ПБТ, так и его смесей с ПТЭП. Степень изменения показателей реологических свойств определяется как концентрацией УЦ, так и фазовой структурой смеси ПБТ/ПТЭП. Так при концентрации УЦ 0,9—1,2 мас.% значение ПТР для чистого ПБТ снижается с 17,4 г/10 мин до 0,4 г/10 мин, а для смеси ПБТ/ПТЭП-25% — с 18,9 г/10 мин (исходная смесь) до 0,2 г/10 мин. Резкое снижение ПТР обуславливается не только протеканием реакций взаимодействия УЦ с концевыми функциональными группами макромолекул полиэфиров, но и частичным межмолекулярным сшиванием последних. Введение УЦ позволяет также получать смесевые материалы ПБТ/ПТЭП с улучшенными показателями механических свойств, в частности, повышенной до 2—5 раз ударной вязкостью на образцах с надрезом. По данным ДСК и релаксационной спектроскопии модифицированные смеси ПБТ/ПТЭП обладают пониженной кристалличностью и улучшенной совместимостью компонентов. ПБТ и смеси ПБТ/ПТЭП, содержащие УЦ, обладают повышенной вязкостью и прочностью расплава и, вследствие этого, потенциально пригодны для переработки по экструзионным технологиям.

1. Agabekov V., Golubovich V., Pesetskii S. Effect of Nanodisperse Carbon Fillers and Isocyanate Chain Extender on Structure and Properties of Poly(ethylene terephthalate) // J. of Nanomaterials. — 2012. — ID870307, 7 p. DOI:10.1155/2012.870307.

ФУЛЛЕРЕНА C₆₀ В ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЕЭ.М. Шпилевский¹, С.А. Филатов¹, Г. Шилагарди²¹Институт тепло- и массообмена НАН Беларуси, Минск, Беларусь; eshpilevsky@rambler.ru²Национальный университет Монголии, Улан-Батор, Монголия; gshilagardi@yahoo.com

Интерес к изучению фуллеренсодержащих полимеров обусловлен тем, что органические полимеры представляют собой внутримолекулярные комплексы донорно-акцепторного типа, которые являются удобными матрицами для введения молекул фуллерена. Фуллерены, обладающие большей энергией сродства к электрону, чем акцепторные фрагменты многих полимерных молекул, могут образовывать комплексы с переносом заряда [1].

Исследуемые образцы ПЭВД — C₆₀ были получены методом пропитки пленок ПЭВД (марка ПЭВД-15803-020, производства РБ) в растворе C₆₀ в толуоле (1,4 мг/мл). Содержание фуллерена в пленке варьировалось путем изменения времени пропитки (от 0,5 до 3 ч).

Оптическая диагностика исследуемых образцов проводилась с помощью Фурье-спектрометра IFS66 Bruker в диапазоне 500—1500 см⁻¹, соответствующем активным колебаниям ПЭВД и C₆₀.

Спектры исследуемых образцов ПЭВД — C₆₀ достаточно хорошо отображают характерные для фуллерена C₆₀ полосы поглощения: 528 — T_{1u}(1), 577 — T_{1u}(2) и 1182 см⁻¹ — T_{1u}(3). О наличии колебания T_{1u}(4) C₆₀ 1428 см⁻¹ в вышеуказанных спектрах можно судить по уширению полосы поглощения ПЭВД. Сравнение спектра пропускания чистого фуллерена C₆₀ со спектрами композитов выявило существенный сдвиг и сужение полос поглощения C₆₀. Подобный результат уже был получен ранее при исследовании композитов поли(2,6-диметил)-фениленоксида (ПФО) с C₆₀ в работе [2], в которой

сдвиг (0,5 см⁻¹) колебательных полос фуллерена объяснен химическим воздействием и образованием комплекса ПФО-C₆₀. В нашем случае сдвиг полос составляет 5 см⁻¹, что позволяет уверенно говорить о взаимодействии фуллерена с матрицей полиэтилена высокого давления.

Полимерная матрица оказывает более сильное влияние на деформационные колебания (575 и 526 см⁻¹) молекулы фуллерена C₆₀. При сравнении спектров пропускания материалов ПЭВД — C₆₀ и чистого ПЭВД наблюдаются различия, вызванные наличием фуллерена в полимерной матрице. Положение линий ПЭВД в спектрах образцов ПЭВД — C₆₀ остается неизменным, однако для некоторых линий наблюдается изменение их полуширины.

Таким образом, взаимодействие молекул фуллерена с полимерной матрицей в материалах ПЭВД — C₆₀ проявляется в сдвиге и изменении полуширины колебательных линий. Полимерная матрица оказывает сильное влияние на деформационные колебания (522 и 572 см⁻¹) молекулы C₆₀ (сдвиг в коротковолновую область, сужение линий).

1. Шпилевский Э.М., Левшунова Е.В. Влияние добавок углеродных наночастиц разного типа на оптическое пропускание полистирола // *Материалы, технологии, инструменты*. — 2010, № 4, 35—38
2. Гладченко С.В., Полоцкая Г.А., Грибанов А.В., Згонник В.Н. Исследование твердофазных композиций полистирол-фуллерен // *Журнал технической физики* — 2002 (72), № 1, 105—109

СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция 2

Основы трибологии

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ И ТРИБОЛОГИЯ
(ПОЛИКОМТРИБ-2013)

24—27 июня 2013 г., Гомель, Беларусь

FRICTION COEFFICIENT DURING RECIPROCATING SLIDING OF UHMWPE IN RINGER'S SOLUTION

Fatima Zivic¹, Miroslav Babic¹, Slobodan Mitrovic¹, Dragan Adamovic¹

¹Faculty of Engineering, University of Kragujevac, Serbia, Kragujevac; zivic@kg.ac.rs; babic@kg.ac.rs; boban@kg.ac.rs; adam@kg.ac.rs

Statement of the problem

Ultra-high-molecular-weight polyethylene (UHMWPE) has been used as a bearing surface, in total joint prostheses. The understanding of polymer tribology is increasingly important, because efficient tribology of artificial joints has been recognised as a major contributor to their long performance [1—4]. This paper deals with the behaviour of dynamic friction coefficient of UHMWPE in contact with alumina (Al₂O₃), during reciprocating sliding in Ringer's solution, in comparison with dry sliding.

Methods of investigations

Commercially available medical grade UHMWPE for implants (CESTILENE "M-C", DSM Engineering Plastic Products, France) was used as flat static samples. Alumina was used as a ball material (1.5 mm diameter). Sliding tests were realised using a ball-on-flat configuration with linear reciprocating module at CSM Nanotribometer. Five values of normal load, F_n , were used: 100, 250, 500, 750, 1000 mN and three values of maximum linear sliding speed, v : 4; 8; 12 mm/s. Duration of each test was 3000 cycles (total distance of 4.8 m; half amplitude of 0.4 mm). Maximum elastic contact stress, according to applied normal loads, was in a range of 28.5—61.3MPa. Dry sliding and sliding in Ringer's solution were compared. During the test, the dynamic friction coefficients were recorded in a real time.

Results

Real time diagrams of the dynamic friction coefficient (COF) as a function of the sliding cycles were obtained for each test (Fig. 1). In case of dry sliding, friction coefficient reached steady state values shortly after the beginning of the test (Fig. 1, *a*), as well as in case of higher loads and speeds in Ringer's solution. However, in case of the lowest load (100 mN) in Ringer's solution, friction coefficient curve exhibited rather non-uniform behavior (Fig. 1, *b*), even though it reached a steady state value after a certain longer number of cycles. As a rule, low loads and low sliding speeds produced longer running-in periods in case of Ringer's solution. An average value of the dynamic coefficient of friction was calculated, for all test conditions, for a steady state period of friction, as the root mean square function using the raw data. Results showed that the sliding speed exhibited no significant influence on the friction coefficient, while load increase produced its slight decrease.

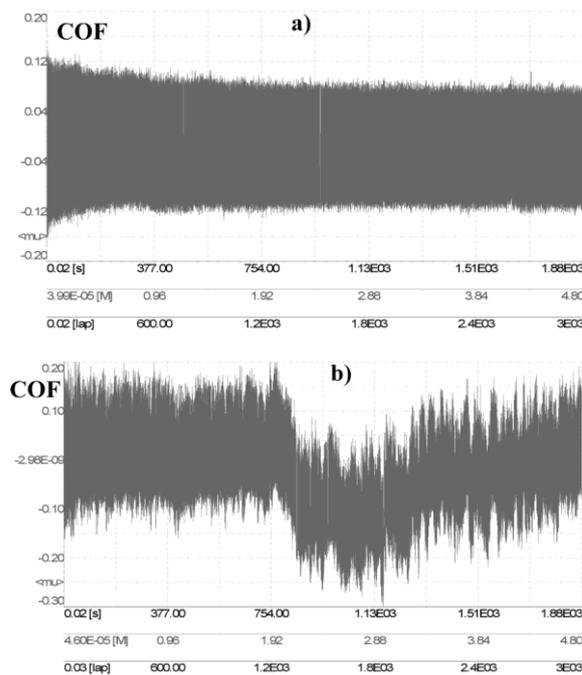


Fig. 1. Dynamic friction coefficient, $v = 4$ mm/s, $F_N = 100$ mN: *a* — dry sliding, *b* — sliding in Ringer's solution.

Conclusion

For low loads in this study, duration of tests should be significantly prolonged to obtain steady state. There are two distinct zones for wet sliding: (1) significantly higher friction coefficients up to approximately 250 mN, followed by abrupt decrease to (2) rather low values slowly decreasing with further load decrease.

1. Flannery M., Jones E., Birkinshaw C. Analysis of wear and friction of total knee replacements part II: Friction and lubrication as a function of wear // *Wear* — 2008 (265), no. 7—8, 1009—1016
2. Gispert M.P., Serro A.P., Colaco R., Saramango B. Friction and wear mechanisms in hip prosthesis: Comparison of joint materials behaviour in several lubricants // *Wear* — 2006 (260), no. 1—2, 149—158
3. Kanaga Karupiah K.S., Bruck A.L., Sundararajan S., Wang J., Lin Z., Xu Z.H., Li X. Friction and wear behavior of ultra-high molecular weight polyethylene as a function of polymer crystallinity // *Acta Biomaterialia* — 2008 (4), no. 5, 1401—1410
4. Panin S.V., Kornienko L.A., Sondghaitam N., Ivanova L.R., Shil'ko S.V. Abrasive wear of micro- and nanocomposites based on ultra-high-molecular-weight polyethylene (UHMWPE): Part 2. Composites based on UHMWPE filled by nanoparticles and nanofibers // *Journal of Friction and Wear*. — 2012 (33), no. 6, 453—459

К ВОПРОСУ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА С ПРЕОБРАЗОВАННЫМ СУХИМ ТРЕНИЕМ

В.И. Бахшалиев¹, Ф.Э. Асланзаде¹, Т.А. Гаджиев²

¹Азербайджанский технический университет, Азербайджан, v_bakhshaliev@mail.ru;

²Ingenieurgesellschaft für technische Kybernetik AG, Germany

Введение. Управления силой трения и интенсивностью изнашивания является актуальной проблемой машиностроения. Известно, что перемещение тела по плоскости с трением существенно облегчается, если тело одновременно двигать с некоторой постоянной скоростью и в направлении, перпендикулярном желаемому [1, 2].

Основное содержание работы. Рассмотрим систему состоящего из горизонтального конвейера со скоростью u и твердого тела M движущегося на конвейере внутри поперечных направляющих со скоростью v_r (рис. 1). Следует отметить, что в поперечном направлении конвейера преодолевается только составляющая силы трения, т.е. мы имеем дело с преобразованным сухим трением. В результате движению тела противодействует не вся сила сухого трения, а ее составляющая, которая может быть намного меньше самой силы трения [3, 4].

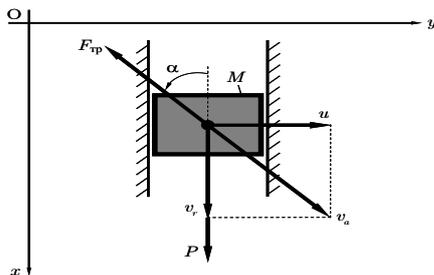


Рис. 1. Расчетная схема движения твердого тела на горизонтальном конвейере

Выберем координатную систему Oxy так, чтобы ось ординат y прошла вдоль направления движения конвейера, а ось абсцисс x — в поперечном направлении конвейера. На тело массы m действуют следующие силы: G — сила тяжести, P — сила тяги тела, $F_{тр}$ — сила трения, N — нормальная сила реакции.

Уравнение сложного движения тела M имеет вид:

$$m \frac{d\vec{v}_r}{dt} = \vec{G} + \vec{P} + \vec{F}_{тр} + \vec{N} + \vec{F}_n^{ин} + \vec{F}_k^{ин}, \quad (1)$$

где $\vec{F}_n^{ин}$ и $\vec{F}_k^{ин}$ — переносное и Кориолисово силы инерции.

В результате анализа и решения дифференциального уравнения (1), получим зависимость:

$$\sqrt{v_r^2 + u^2} - u \ln \left| \frac{u + \sqrt{v_r^2 + u^2}}{v_r} \right| + u \ln \left| \frac{u + \sqrt{v_0^2 + u^2}}{v_0} \right| - \sqrt{v_0^2 + u^2} = -\mu g t. \quad (2)$$

На основе выражения (2) приведены кривые зависимости относительной скорости v_r в зависимости от времени t в пределах изменения от 0 до 10 сек с шагом 0,5 сек при следующих данных: $v_0 = 2$ м/с,

$\mu = 0,1$; $u = 0,3 \dots 1,5$ м/с; $t = 0 \dots 10$ с (рис. 2)

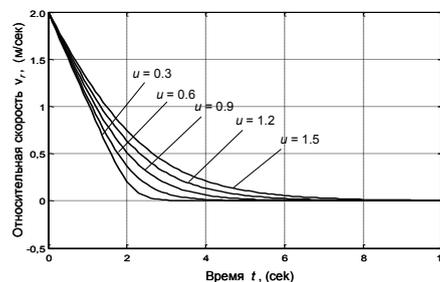


Рис.2. Кривые зависимости относительной скорости тела от t .

На основе анализа этих кривых найдено аналитическое выражение зависимости $v_r = f(t)$ в следующем виде:

$$v_r = 2,1423 - 1,5392t + 0,38083t^2 - 0,038122t^3 + 0,001154t^4 + (1,7917 \cdot 10^{-5})t^5$$

Заключение. Выведено аналитическое выражение относительной скорости тела, движущегося на конвейере, при которых сила тяги необходимой для перемещения тела становится минимальной. Результаты исследования может быть полезными для урегулирования время транспортировки тела на конвейере.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Развития Науки при Президенте Азербайджанской Республики — Grant № EIF/BGM-1-BSE-ERA-NET-2010/2011.

- Горячева И.Г. Механика фрикционного взаимодействия. — М.: Наука. — 2001
- Бахшалиев В.И. К вопросу математического моделирования трения качения // Трение и износ. — 2009 (30), № 5, 423—428
- Андронов В.В. Избранные примеры на движения системы с преобразованным сухим трением // Сборник научно-методических статей. Теоретическая Механика. — М.: Изд-во Московского Университета. — 2003, вып. 24, 168—173
- Федоренко И.Я., Федоренко А.С. Уравнение движением в системах с сухим вибропреобразованным трением // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. — 2009 (55), № 5, 68—71

РАЗЛОЖЕНИЕ СИЛЫ ГРАНИЧНОГО, СМЕШАННОГО И ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ В СТЕПЕННОЙ РЯД ПО ВЕЛИЧИНЕ ТЕНЗОРА НАПРЯЖЕНИЙ ТРЕТЬЕГО ТЕЛА (СМАЗОЧНОЙ СРЕДЫ) В ТРИБОЗАЗОРЕ

С.Б. Булгаревич, М.В. Бойко

ФГБОУ ВПО РГУПС, Ростов-на-Дону, Россия; bulgarevich@rambler.ru

Общее феноменологическое описание физических явлений часто осуществляется с помощью разложения физического свойства объекта в степенной ряд по силовым характеристикам. Так поступают в теории диэлектриков и нелинейной оптике. Мы попытались осуществить аналогичный подход в описании явления гидродинамического, граничного и смешанного трения.

Пусть имеется гидродинамическое трение. Напряжения в зазоре описываются тензором напряжения второго ранга (1) в приближении несжимаемой жидкости:

$$\Theta_{ij} = \eta \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right), \quad (1)$$

где v_i — компоненты скорости движения жидкости, x_i — координаты трибозазора, η — динамическая вязкость. Удельную силу вязкого трения \vec{P} в трибозазоре для ньютоновской жидкости запишем как (2). Скорость скольжения тела направлена параллельно поверхности контртела:

$$\begin{pmatrix} P \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = -\eta \begin{pmatrix} 0 & 0 & q \\ 0 & 0 & 0 \\ q & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где $q = \frac{\partial v_x}{\partial x}$. Сокращенная запись (3):

$$\vec{P} = -\eta \hat{q} \vec{n}. \quad (3)$$

Здесь \hat{q} — тензор градиента вязкого течения, соответствующий тензорам напряжений $\hat{\Theta}$ и \hat{q} в (1) и (2); \vec{n} — единичный вектор, направленный вдоль оси Z (реакции опоры), перпендикулярной поверхности трущихся тел. Симметрия тензора (1) позволяют по аналогии записать силу смешанного и граничного трения с помощью (4) и сокращенно (5):

$$\begin{pmatrix} F_{fx} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} 0 & 0 & \mu \\ 0 & 0 & 0 \\ \mu & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ N \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} \mu N \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

$$\vec{F}_{fr} = -\hat{\mu} \vec{N}. \quad (5)$$

Здесь \vec{F}_{fr} — сила трения скольжения, \vec{N} — сила реакции опоры, $\hat{\mu}$ — тензор коэффициентов трения.

Введем тензор напряжений Ω_{ij} сухого и граничного трения (6):

$$\Omega_{ij} = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \right), \quad (6)$$

где V_i — компоненты скорости скольжения тела, V — её величина. Тензор $\hat{\mu}$ выражается через $\hat{\Omega}$ уравнением (7):

$$\hat{\mu} = a \hat{\Omega}, \quad (7)$$

где a — коэффициент пропорциональности, обеспечивающий безразмерность $\hat{\mu}$ и зависимость от природы тел. Можно отказаться от независимости величины напряжения от скорости в (6) и оставить её только для первого порядка разложения силы трения в ряд. Вместо Ω_{ij} использовать Θ_{ij} как в гидродинамике, определенный непосредственно для участков граничного трения (8):

$$\Theta_{ij} = \frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i}. \quad (8)$$

Запишем общее разложение (9) силы трения:

$$\vec{F}_{fr} = -(1-\chi) s \left(\eta_1 \hat{\sigma} + \eta_2 \hat{\sigma}^2 + \eta_3 \hat{\sigma}^3 + \dots \right) \vec{n} - \chi \left(f_1 \frac{1}{V} \hat{\Theta} \vec{N} + f_2 \hat{\Theta}^2 \vec{N} + f_3 \hat{\Theta}^3 \vec{N} + \dots \right) \quad (9)$$

Здесь χ — доля номинальной поверхности, испытывающей сухое или граничное трение, s — номинальная площадь соприкосновения трущихся тел; коэффициенты η_1, η_2, η_3 и т.д. — динамические вязкости; η_1 — ньютоновской, а остальные — отвечают более высоким степеням Θ_{ij} . Они могут сложно зависеть от скорости. Четные степени тензоров $\hat{\sigma}$ и $\hat{\Theta}$ соответствуют диагональным тензорам в лабораторной системе координат, а нечетные — имеют главные оси под углом 45° к ней. Нечетные степени (9) соответствуют тангенциальным силам, действующим на трущиеся тела, а четные степени соответствуют силам против или вдоль направления реакции опоры в соответствии со знаками коэффициентов η_i . В работе проводится анализ разложения (9), что соответствует различным трибозазорным явлениям трения.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ С РАЗЛИЧНОЙ ТВЕРДОСТЬЮ В РЕЖИМЕ PRE-ROLLING

И.З. Джилавдари, Н.Н. Ризноокая

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Состояние поверхности материалов существенно влияет на свойства деталей и изделий. Это влияние прогрессивно возрастает при уменьшении размеров тел. Поэтому в настоящее время применяются различные способы для оценки состояния поверхности материалов и их покрытий.

Твердость поверхности материалов измеряют, как правило, методом индентирования, продавливая или прокалывая поверхность. Твердость и адгезионную прочность материалов определяют методом склерометрии. Указанные методы, так или иначе, являются разрушающими. В этом заключается основной их недостаток. Другой недостаток этих методов состоит в том, что их невозможно применять в случае хрупких материалов, таких как керамика, а также при измерениях механических свойств покрытий с малой толщиной.

С этой точки зрения весьма перспективным и универсальным методом является метод свободных качаний физического маятника, который опирается на исследуемую поверхность двумя шариками [1]. Метод состоит в измерении зависимости амплитуды свободных колебаний от времени и в измерении периода этих колебаний от амплитуды.

Авторами данной работы было показано, что в одном эксперименте этот метод позволяет измерять с недоступимой ранее точностью коэффициент трения качения, адгезию и потери на внутреннее трение в приповерхностных объемах практически любых твердых материалов и покрытий. В наших экспериментах использовались шарики радиусом 5 мм из такого твердого материала как корунд и маятник, имевший вес около 1,2 килограмм.

В данной работе приводятся результаты измерений на поверхности трех образцов, выполненных из одной заготовки стали 45, подвергнутых различным режимам термообработки: один образец прошел этап закалки, второй образец прошел этап закалки с последующим отпуском, третий образец выступал в качестве контрольного и не подвергался термической обработке. Были измерены значения твердости и микротвердости образцов, а также шероховатость поверхности. Полученные результаты коррелировали с известными представлениями. Согласно этим же представлениям, считается твердо установленным, что при прочих равных условиях, чем тверже поверхность образца, тем меньше должен быть коэффициент трения качения [2].

Полученные результаты представлены на рис. 1.

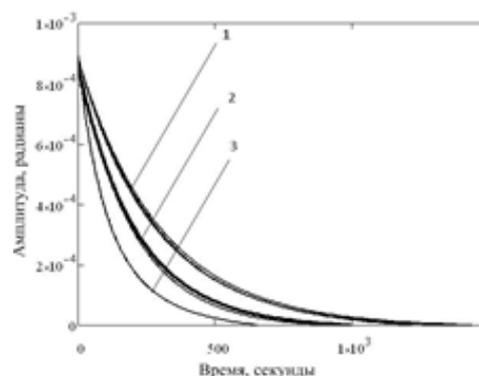


Рис. 1. Зависимость амплитуды колебаний маятника от времени: 1 — закаленная и затем отпущенная сталь (HRC \approx 35 \pm 40; микротв: 3400 МПа; результаты измерений в двух точках поверхности; коэффициент трения качения $7,7 \cdot 10^{-7}$); 2 — закаленная сталь (HRC \approx 55; микротв: 4500 МПа; результаты измерений в трех точках поверхности; коэффициент трения качения $1,1 \cdot 10^{-6}$); 3 — незакаленная сталь (HRC \approx 15; микротв: 2100 МПа; результат измерения в одной точке поверхности; коэффициент трения качения $1,4 \cdot 10^{-6}$)

Из этих результатов следует, что потери энергии на трение качения в условиях, когда амплитуда качаний опорных шариков существенно меньше радиуса пятна контакта, не связана однозначно с твердостью опорной поверхности. Оказалось, трение качения было минимальным на поверхности образца, который был отпущен после закалки и имел среднее значение твердости и шероховатости среди всех трех образцов. Данный результат был проверен неоднократно при различных условиях эксперимента (температуре, давлении, влажности).

Из него следует, что картина диссипации энергии при контакте тел качения в условиях предварительного смещения является весьма сложной.

Полученный результат доказывает, что обеспечение малой величины трения качения требует проведения экспериментальных исследований в каждом конкретном случае.

1. Джилавдари И.З., Ризноокая Н.Н. Об измерении малых моментов трения качения маятниковым методом // Метрология и приборостроение. — 2011, № 1, 29—32
2. Пинегин, С. В. Трение качения в машинах и приборах. — М.: Машиностроение. — 1976

ПРИМЕНЕНИЕ ФРИКЦИОННЫХ МАЯТНИКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ДЛЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Ю.Н. Дроздов¹, В.А. Надеин², В.Н. Пучков¹

¹Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия

²ООО НГБ «Энергодиагностика», Москва, Россия

Морские платформы «Лун-А» и «ПА-Б» проекта «Сахалин-2», установленные на северо-восточном шельфе о. Сахалин, спроектированы и построены с учетом высокой сейсмичности региона, в котором они используются. Их конструкции без повреждений и отказов оборудования способны выдерживать нагрузки, возникающие при землетрясениях с вероятной повторяемостью один раз в 200 лет, а также должны остаться без серьезных повреждений при очень редком землетрясении, с частотой возникновения раз в 3 тысячи лет [1—3].

Впервые в мировой практике для обеспечения сейсмической изоляции между бетонным гравитационным основанием морской нефтегазовой платформы и верхними сооружениями используются фрикционные маятниковые опоры скольжения (ФМП). 4 подшипника — сейсмоизолятора, установленные в верхней части четырех бетонных опор, гасят экстремальные горизонтальные нагрузки, изолируя верхние строения от наиболее разрушительных сейсмических толчков, а также, снижая нагрузки на верхние строения, вызванные воздействием суточных изменений температуры, давлением льда и волн [1—3].

Сейсмические ускорения, возникающие от землетрясения в результате использования маятниковых подшипников уменьшаются в 2,5—3 раза, циклические нагрузки, вызванные морскими волнениями и действием льдов в значительной мере исключаются. На рис. 1 показано схематическое устройство ФМП в разрезе.

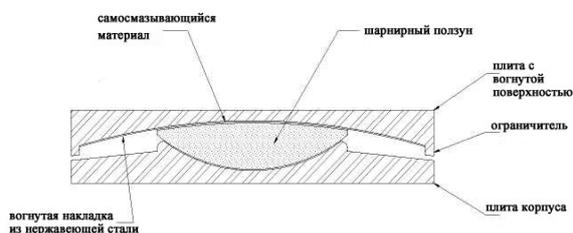


Рис. 1. Схема устройства подшипника

Разработаны научные основы для оценки ресурса фрикционных маятниковых подшипников скольжения-сейсмоизоляторов. Исследовано влияние сейсмических воздействий на их трибологические характеристики (износ, коэффициент трения,

тепловое состояние). В табл. 1 представлены рабочие параметры ФМП.

Таблица 1. Рабочие характеристики ФМП

Параметры	Пределы изменения
Контактное давление P , МПа;	30 ÷ 65
Скорость скольжения V , м/с;	0,025 ÷ 0,9
Температура окружающей среды, °С	-40 ÷ +40
Температура в зоне контакта, °С	-40 ÷ +450
Срок службы, лет	30
Путь трения за 30 лет, м	3000

Разработан оригинальный экспериментально-расчетный метод для определения долговечности фрикционного маятникового подшипника, используемого в качестве сейсмического изолятора. Получены зависимости для определения интенсивности изнашивания материала покрытия, представленные в обобщенных переменных.

Разработан метод для оценки коэффициента трения фрикционных маятниковых подшипников.

Изучено тепловое состояние фрикционных сейсмических изоляторов с использованием различных компьютерных программ. Полученные результаты способствуют выбору антифрикционных материалов с учетом их температурной стойкости [2—4].

Результаты проведенных экспериментов подтвердили правильность выполненных ранее теоретических оценок ресурса маятниковых подшипников, позволяющих достоверно прогнозировать их надежную работу в течение всего срока службы, составляющего 30—40 лет.

1. Clarke C.S.J., Buchanan R., Efthimiou M., Shaw C. Structural Platform Solution for Seismic Arctic Environments — Sakhalin II Offshore Facilities // Offshore Technology Conference - 17378-PP. — 2005, 21
2. Дроздов Ю.Н., Надеин В.А., Пучков В.Н. Трибологические характеристики маятниковых подшипников скольжения-сейсмоизоляторов // Трение и износ. — 2007 (28), № 2, 119—127
3. Дроздов Ю.Н., Надеин В.А., Пучков В.Н. Сейсмоизоляторы нефтегазовых платформ проекта «Сахалин-2» // Проблемы машиностроения и надежности машин. — 2010, № 6, 99—116
4. Дроздов Ю.Н., Надеин В.А., Пучков В.Н., Краснов А.П. Самосмазывающиеся композиционные полимерные материалы в демферах-сейсмоизоляторах // Вопросы материаловедения. — 2012, № 4(72), 120—132

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АТОМОВ С ПОВЕРХНОСТЬЮ ЗЕРЕН В СТАЛИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ

В.И. Колесников¹, Ю.Ф. Мигаль², Е.С. Новиков¹

¹Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону, Россия

²Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия; umigal@mail.ru

Изучение взаимодействия атомов различных элементов, находящихся на границах зерен металлического образца, позволяет на атомном уровне оценить прочность, износостойкость и многие другие свойства образца, обусловленные его зернистой структурой. Одним из явлений, способствующих понижению прочности поликристаллов, является зернограничная сегрегация, в ходе которой из объема зерен на границы между ними выходят атомы примесных и легирующих элементов. В результате связь между зернами может ослабляться. Для имитации процессов, происходящих на границах зерен, нами рассматривались модельные многоатомные кластеры, состоящие из атомов железа и других элементов. Этот анализ позволил нам убедиться, что появление сегрегированных атомов на межкристаллитных границах является не сопутствующим эффектом, а одной из основных причин ослабления прочности связи между кристаллитами, которое может привести к разрушению поверхностного слоя металла.

Используемый нами квантово-химический подход [1] позволяет провести систематизацию меж-

атомных взаимодействий на границах зерен, оценить совместимость различных элементов с железом на границах, связать эту совместимость с периодическим законом Менделеева. На рис. 1 представлены результаты расчетов энергии связи, которая необходима для разрыва кластера, моделирующего зернограничную поверхность. Очевидна периодическая зависимость этой величины от атомного номера Z .

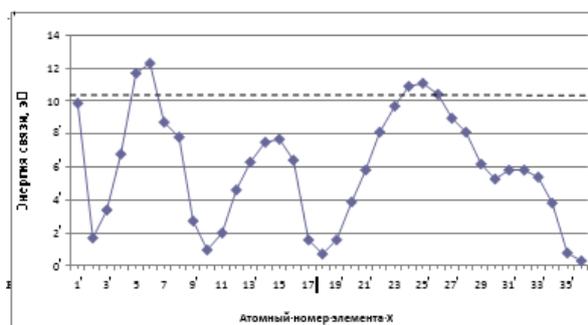


Рис. 1. Зависимость энергии, необходимой для разрыва кластеров $\text{Fe}_2\text{Fe}_6\text{X}_2\text{Fe}_6$, от атомного номера элемента X

АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ И АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ БОРТОВЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ТРИБОСИСТЕМ

Л.Г. Красневский

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь; krasnevski_l@tut.by

Рассматриваются проблемы и методы жизнеобеспечения многодисковых фрикционных устройств современных автоматических трансмиссий (АТ), которые входят в число наиболее массовых, ответственных и сложных бортовых трибосистем мобильной колесной и гусеничной техники.

Максимальный суммарный момент трения комплекта фрикционов, входящих в состав многоступенчатой АТ, в несколько раз превосходит ее входной (от двигателя) крутящий момент, а их суммарный вес близок к половине ее веса. Хотя пары трения фрикционов подвержены интенсивному износу, их долговечность должна соответствовать сроку службы АТ, который может достигать миллиона километров пробега. При этом к качеству процессов их функционирования предъявляются жесткие требования, практически исключающие появление рывков, вибрации и шума при переключениях ступеней АТ.

Реализация этих требований возлагается на комплексные мехатронные системы управления (МСУ), которые с помощью средств электроники не только обеспечивают непрерывное управление процессами буксования, замыкания и размыкания одновременно двух (и более) включаемых и выключаемых фрикционов, но также их непрерывный мониторинг, диагностику и защиту на всех этапах функционирования. Мероприятия защиты и диагностики, в частности, предусматривают недопущение выхода фрикционов на нерасчетные силовые, тепловые и скоростные режимы нагружения, определение исправного или неисправного состояния как их самих, так и других основных устройств, участвующих в их рабочих процессах. В конечном итоге предотвращается выход на опасные режимы, способные привести к повреждению самого фрикциона, АТ в целом или даже аварии машины.

Таким образом, в современной АТ фрикционы совместно с МСУ и другими системами обеспечения образуют единую трибосистему, основой которой является фрикционная пара. В последние годы управление фрикционом стало единственной для всей трансмиссии операцией, непрерывно выпол-

няемой в реальном масштабе времени, как и впрыск топлива в двигателе, управление фрикционными тормозами антиблокировочных и антибуксовочных систем.

Созданные для этих целей МСУ — это прецизионные устройства со специальными высокоточными быстродействующими электрогидравлическими исполнительными механизмами, способные реализовать сложные задаваемые электронным блоком законы управления буксованием фрикциона, длительность которого, как правило, не превышает двух секунд.

Процессы согласованного включения и выключения фрикционов под нагрузкой состоят из нескольких этапов, на каждом из которых требуются различные законы управления. Одна из сложностей при их формировании состоит в том, что наряду с информацией, собираемой с помощью комплекта сенсоров МСУ, необходима и такая, которая не может быть получена инструментальными методами. В частности, при прецизионном управлении в системах массового производства существенное значение приобретают различия объектов управления в пределах полей допусков на геометрические размеры. По мере износа дисков в эксплуатации меняются характеристики фрикциона, которые существенно зависят еще и от температуры.

В итоге здесь на передний план выходит алгоритмическое обеспечение, которое в условиях жестких технических ограничений бортовой системы должно обеспечить ее приспособление к большому числу случайным образом изменяющихся факторов. Поэтому в системах, создаваемых каждой крупной компанией-производителем АТ, применяются алгоритмы адаптации и самообучения, нечеткой и нейро-нечеткой логики и др. В качестве примера в докладе рассмотрены различные варианты алгоритмов определения времени окончания первого из этапов включения фрикциона — заполнения жидкостью его гидроцилиндра.

В работе приведены примеры современных конструкций трансмиссий с МСУ ведущих мировых производителей.

ОЦЕНКА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНЫХ УГЛЕПЛАСТИКОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ РАСТВОРОМ ТЕЛОМЕРОВ ТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

А.В. Морозов, А.М. Мезрин, Б.Я. Сачек

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва, Россия; morozovalexei@mail.ru

Цель

В работе представлены результаты сравнительных триботехнических испытаний эпоксидных модифицированных и немодифицированного углепластиков. Модификация углепластика заключается в нанесении раствора теломеров тетрафторэтилена (ТФЭ) на углеродную ткань. Процесс синтеза теломеров ТФЭ изложен в работе [1]. Из обработанной таким образом базовой углеродной ткани марки УРАЛ-Т15Р-ЭХО (ГОСТ 28005-88) были изготовлены по стандартной пропиточной технологии композиты на основе эпоксидной смолы. В частности, были получены углепластики типа УГЭТ-УРАЛ-Т15Р-ЭХО-Т100 и УГЭТ-УРАЛ-Т15Р-ЭХО-Т120, отличающиеся температурой теломеризации 100 и 120 °С, соответственно.

Эксперимент

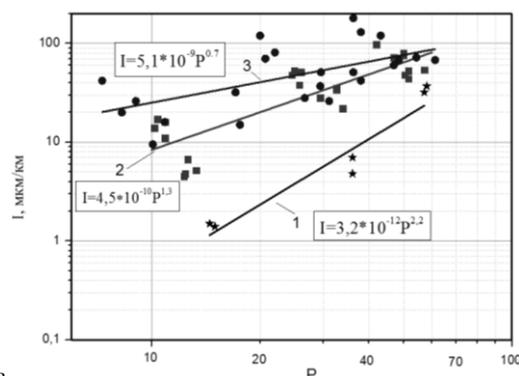
Триботехнические испытания созданных углепластиков выполнены по схеме «колодка-ролик» в проточной воде на трибометре Т-05 по ранее разработанной методике [2].

Погруженная в ванну с проточной водой (расход 1,5 л/мин, температура 16÷18 °С), испытываемая пара «колодка-ролик» нагружалась нормальной нагрузкой и ролику задавалось относительное скольжение. В процессе испытаний обеспечивалась непрерывная регистрация силы (коэффициента) трения и сближения образца с контробразцом, которое было обусловлено износом образца. Контробразец, в качестве которого использовали кольцо из стали 20Х13 (HRC 33÷35) или ШХ15 (HRC 60÷62), принимался неизнашиваемым. Все эксперименты проводились при постоянной скорости скольжения $V = 1,5$ м/с в диапазоне давлений от 20 до 70 МПа.

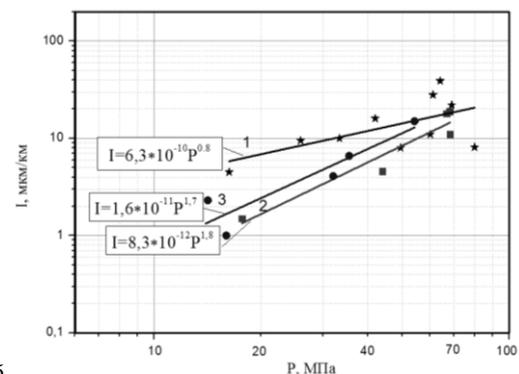
Результаты и их обсуждение

Результаты испытаний показали, что коэффициент трения базового и модифицированного материала лежит в пределах от 0,05 до 0,1 с обоими контртелами. Установленные зависимости интенсивности износа от контактного давления для исследуемых пар трения приведены на рис. 1. Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что модифицированный материал по сравнению с базовым материалом имеет лучшую износостойкость в паре с твердым контртелом ШХ15 и худшую в паре с мягким 20Х13. При этом износостойкость модифицированного углепластика УГЭТ-Урал-Т15Р-ЭХО-Т120 выше, чем у УГЭТ-Урал-Т15Р-ЭХО-

Т100. Проведенное исследование дает основание полагать, что износостойкость углепластиков модифицированных теломерами ТФЭ практически не зависит от ориентации волокон углеродной ткани.



а



б

Рис 1. Интенсивность износа исследованных углепластиков в зависимости от давления в паре с различными контртелами: а — ст. 20Х13 (HRC 30÷33), б — ст. ШХ 15 (HRC 60÷62). 1 — УГЭТ-Урал-Т15Р-Эхо, 2 — УГЭТ-Урал-Т15Р-Эхо-Т120, 3 — УГЭТ-Урал-Т15Р-Эхо-Т100

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 12-08-31361-мол_а-2012).

1. Большаков А.И., Кичигина Г.А., Кириухин Д.П. Радиационный синтез теломеров при постоянной концентрации тетрафторэтилена в ацетоне. // Химия высоких энергий. — 2009 (43), № 6, 512—515
2. Никулин А.В., Савёлов А.С., Сачек Б.Я. Сравнительное исследование триботехнических свойств фенольных и эпоксидных углепластиков // Трение и износ. — 2010 (31), № 3, 13—18

ПРИМЕНЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКОЙ ФОТОЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ АНАЛИЗА ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ

А.В. Наумкин, А.П. Краснов

Институт элементоорганических соединений РАН (ИНЭОС РАН), Москва, Россия; naumkin@ineos.ac.ru

Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС) является единственным методом, позволяющим получать информацию, как об элементном составе приповерхностной области (до ~ 10 нм), так и о химическом состоянии атомов. РФЭС позволяет анализировать образцы, независимо от их шероховатости, что является важным при изучении поверхностей трения. Метод является уникальным инструментом при исследовании начальных стадий взаимодействия между трущимися поверхностями, как в случае сухого трения, так и при использовании смазки, поскольку фотоэлектронные спектры непосредственно отражают изменение химического состояния [1—3].

В случае полимеров этот метод широко используется для изучения изменения состава поверхности в результате химических и физических воздействий, а также сегрегации к поверхности некоторых технологических добавок, используемых при переработке полимеров, но ухудшающих их поверхностные свойства.

При анализе образцов с ровной, на микроуровне, поверхностью возможно проведение неразрушающего послойного анализа в пределах информационной глубины метода, что, в частности, применяется для определения пространственной ориентации некоторых групп. Степень поверхностной чувствительности (анализируемая глубина) может меняться посредством регистрации электронов под различными углами относительно поверхности.

При изучении трения в паре металл-полимер метод РФЭС применяется для исследования процесса формирования пленки переноса. Поскольку, электропроводность пленок переноса отличается от электропроводности металлического контртела, то использование режима с контролируемой зарядкой при подаче напряжения смещения на держатель образца, позволяет на ранней стадии обнаружить как чистку поверхности контртела, так и перенос материала. Процессы чистки и переноса являются взаимозависимыми. Диэлектрический характер полимерных пленок переноса также позволяет на качественном уровне определять изменение их толщины в зависимости от условий трения.

В докладе представлены результаты анализа образцов методом РФЭС для следующих пар трения: 1) образцы нержавеющей стали при трении в присутствии органического масла с диалкилдитио-

фосфатом цинка (ДДФЦ) и различными добавками; 2) пара трения: нержавеющая сталь — сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ); 3) пара трения: сталь-сталь в присутствии дизельного топлива с добавками. Все исследования проводились в режиме контролируемой дифференциальной зарядки.

В первом случае это позволило обнаружить на поверхностях стальных пластин несколько морфологических особенностей, количество которых и состав зависели от типа применяемой добавки. Этот вывод основан на разложении всех зарегистрированных фотоэлектронных пиков. Определена морфология и трибохимические изменения стальных поверхностей при трении в присутствии ДДФЦ. Модифицированные поверхности стали, включают полифосфатные образования (наличие групп P—O—P, P—O—C, P=O).

Во втором варианте было обнаружено, что на поверхности пластинки углерод представлен в виде групп C—C, H, C—O, C=O C(O)O и Fe—O—C, а железо в виде Fe—O—OH, Fe₂O₃, Fe₃O₄ и Fe—O—C. На начальном этапе трения (5 минут) происходило превращение менее стабильного соединения железа (Fe—O—OH) с отщеплением гидроксильной группы и взаимодействием с углеродсодержащими радикалами с образованием групп Fe—O—C, а также переходом (Fe—O—OH) в более стабильное окисное состояние (Fe₂O₃; Fe₃O₄ и др.).

В третьем случае было показано, что низкие концентрации добавок, включающих соединения серы не приводят к образованию толстых (в пределах информационной глубины метода РФЭС) островков на поверхности, которые могли бы способствовать уменьшению износа.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Бел_a — Международный конкурс российско-белорусских проектов, код проекта 12-03-90016).

1. Wheeler D.R. The transfer of polytetrafluoroethylene studied by X-ray photoelectron spectroscopy // *Wear.* — 1981 (66), 355—365
2. Jintang G. Tribochemical effects in formation of polymer transfer film // *Wear.* — 2000 (245), 100—106
3. Серeda А.В., Наумкин А.В., Волков И.О., Азев В.С., Бакунин В.Н. Исследование влияния сернистых соединений на противозносные свойства дизельных топлив с помощью рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии // *Нефтехимия.* — 2007 (47), № 6, 457—461

ВЛИЯНИЕ СУБСТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ ПРИ ТРЕНИИ ЗАКАЛЕННОЙ СТАЛИ НА ФОРМИРОВАНИЕ ФРИКЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ

В.В. Шевеля^{1,2}, В.П. Олександренко², Г.С. Калда², Ю.С. Соколан²

¹Жешувская политехника, Жешув, Польша; rois@prz.edu.pl

²Хмельницкий национальный университет, Хмельницкий, Украина; k-vlad@ukr.net

Известны благоприятные последствия комбинированной термомеханической обработки закаленной стали («марформинг»), предусматривающей ее деформацию после закалки с последующим отпуском (деформационным старением). По аналогии следует ожидать, что в условиях трения, когда трибосопряжение подвергается интенсивному термомеханическому воздействию, в закаленной стали могут одновременно развиваться процессы пластической деформации и деформационного старения, влияющие на реологию и поверхностную прочность фрикционного контакта.

Исследовалась сталь 50 в состоянии закалки, а также закалки и низкотемпературного отпуска (~ 200 °С). Триботехнические испытания при трении скольжения без смазки проводились на машине трения TRIBOMETR (ТНТ) фирмы CSM Instruments по схеме «вращающийся диск-шар». Вязкопрочностные свойства и акустическая эмиссия изучались скрэтч-методом при сканировании поверхности алмазным индентором на трибосклерометре REVETEST RST. Механические и реологические свойства поверхностных слоев оценивались по параметрам кинетических диаграмм непрерывного вдавливания пирамиды Берковича на установке OPX NHT/NST.

Установлено, что закалка, увеличивающая твердость стали в 3 раза, повышает ее износостойкость в 8 раз, что обусловлено как спецификой исходной мартенситной структуры, так и особенностями динамических процессов при трении, сопровождающихся дополнительным упрочнением и улучшением реологических (релаксационных) показателей. Показано (скрэтч-метод), что структура закалки проявляет высокую акустико-эмиссионную активность, вызываемую локальной субструктурной перестройкой, которая сопровождается релаксацией микронапряжений.

Возникающие при трении свежие дислокации ускоряют диффузионные процессы и облегчают распад пересыщенного твердого раствора с выделением дисперсных карбидных частиц, которые совместно с атомами внедрения (C+N) динамически взаимодействуют с дислокациями и частично их блокируют. Такая диффузионно-дислокационная структурная перестройка в сочетании с активизацией релаксационных процессов снижает динамическую напряжен-

ность фрикционного контакта, что приводит к улучшению антифрикционных свойств стали и повышению ее износостойкости. Поверхностное упрочнение при трении закаленной стали в основном не связано с простым наклепом, а вызывается динамическим деформационным старением и отпуском под напряжением, релаксационная способность определяется соответствующими механизмами внутреннего трения. Оптимальным условием такого термомеханического упрочнения является соизмеримость скорости движения дислокаций и скорости диффузии атомов внедрения при циклическом динамическом нагружении.

Интенсивность изнашивания стали, термообработанной на различную твердость, в целом не коррелирует с изменением коэффициента трения. Сопоставленный рост износа и коэффициента трения имеет место только до температур отпуска около 300 °С. При более высоких температурах отпуска снижению коэффициента трения сопутствует рост износа стали. При этом в исследованном сопряжении изменение коэффициента трения коррелировало с износом контртела.

Соотношение между адгезионной и деформационной составляющими силы трения зависит от вязкоупругих свойств фрикционного контакта, определяемых двумя реологическими параметрами пары трения: динамическим модулем сдвига и уровнем внутреннего трения. Так, закаленная сталь после низкотемпературного отпуска (200...250 °С), приобретая неблагоприятные реологические свойства (пониженное внутреннее трение и высокий модуль упругости), проявляет высокую склонность к адгезии с аномальным ростом силы внешнего трения.

Через диссипативные механизмы внутреннего трения адгезионно-деформационные процессы при внешнем трении трансформируются в теплоту, одновременно формируя уровень контактных напряжений.

При выборе температурно-нагрузочно-скоростного режима работы трибосопряжения, необходимо обеспечить условия формирования такой реологии контактного взаимодействия, которая способствует снижению динамической напряженности и субструктурному упрочнению поверхностей трения.

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ДИССИПАТИВНЫХ СВОЙСТВ ФРИКЦИОННОГО КОНТАКТА

В.В. Шевеля^{1,2}, А. Трытек¹, В.А. Кирилков², Ю.С. Соколан²

¹Жешувская политехника, г. Жешув, Польша; rois@prz.edu.pl

²Хмельницкий национальный университет, г. Хмельницкий, Украина; k-vlad@ukr.net

Одним из факторов, определяющих рабочие параметры фрикционного сопряжения, является тепловой режим трения. Температурная зависимость силы трения имеет принципиальное значение при изучении диссипативных свойств фрикционного контакта и механизма трения металлических материалов. Совокупность процессов, протекающих при несовершенной упругости контакта, приводит к сложной зависимости силы трения от температурно-скоростного режима, что обусловлено возникновением механических потерь, вызванных внутренним трением, механизмы которого влияют на закономерности внешнего трения. Хотя природа внутреннего трения и развитие сопутствующих процессов субструктурного упрочнения металлов изучены достаточно хорошо, в большинстве работ по трению они не учитываются при анализе экспериментальных данных.

Экспериментально проведено сопоставление температурных и амплитудных зависимостей внутреннего трения с температурными зависимостями силы и коэффициента внешнего трения стали 50 в состоянии закалки и отпуска (низкого, среднего и высокого). Внутреннее трение (логарифмический декремент колебаний) исследовалось на установке типа крутильного колебаний одновременно оценивалось изменение модуля сдвига. Триботехнические испытания до 400...600°C при трении скольжения проводились на машине трения TRIBOMETR (ТНТ) фирмы CSM Instruments (Швейцария) по схеме: «торец вращающегося диска (образец) — закрепленный шарик (ШХ15)». После термообработки рабочие поверхности образцов шлифовались и полировались.

Изучено влияние термообработки стали на формирование релаксационных пиков внутреннего трения: Сноэка (азотного и углеродного), Марингера и Кестера. Показано соответствие указанных пиков внутреннего трения характеру изменения силы и коэффициента внешнего трения с ростом температуры испытания исследуемой пары при скоростях: $v = 0,1; 0,2; 0,8; 1,0$ м/с.

В диапазоне температур испытания 250...350 °C для структур низкого и среднего отпуска установлено развитие динамического деформационного старения (ДДС), проявляющегося в неустойчивом хаотическом изменении силы и коэффи-

циента трения с общей тенденцией их снижения. Это явление можно рассматривать как трибологический аналог эффекта Портевена-Ле Шателье, проявляющегося как прерывистое неустойчивое течение образца при обычном растяжении в температурных условиях развития ДДС. С ростом скорости скольжения указанный температурный диапазон неустойчивого трения смещается в область более высоких температур. ДДС развивается при эффективном взаимодействии атомов внедрения (C+N) с генерируемыми в процессе трения дислокациями, что возможно только при определенных температурно-скоростных условиях динамического нагружения, когда скорость перемещения дислокаций становится соизмерима со скоростью диффузии примесных атомов. При этом происходит динамическая блокировка дислокаций атомами примесей с образованием атмосфер и сегрегаций из этих атомов. Поэтому пластическая деформация развивается за счет генерации свежих дислокаций, что приводит к прерывистому нерегулярному развитию микропластичности поверхностных слоев фрикционного контакта. Повторение циклов «блокировка-генерация (срыв)» дислокаций при ДДС и формирует неустойчивое колебательное изменение силы трения.

В стали со структурой закалки (мартенсита) ДДС сопровождается отпуском под напряжением, т.е. распадом пересыщенного твердого раствора с выделением высокодисперсных карбидных частиц, вызывающих дополнительное упрочнение стали вплоть до охрупчивания вблизи 300 °C (отпускная хрупкость I рода). Выделяющиеся в диапазоне 150...300 °C мелкодисперсные карбиды, являясь, с одной стороны, фактором упрочнения из-за барьерного действия, с другой — благоприятно влияют на релаксационную способность материала, т.к. вызывают уменьшение концентрации углерода в матрице, что приводит к понижению плотности точек закрепления дислокаций, способствующему росту подвижности последних.

Установлено, что при повышенной скорости трения ($v = 1,0$ м/с) закаленной стали в районе 550 °C происходит дополнительное снижение силы трения, обусловленное отпускной хрупкостью II рода, при которой изменяется морфология (дисперсность и плотность) выделений, что приводит к динамическому перестариванию поверхности трения.

СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция 3

Технологии и методы получения полимерных композитов

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ И ТРИБОЛОГИЯ
(ПОЛИКОМТРИБ-2013)

24—27 июня 2013 г., Гомель, Беларусь

НЕПРЕРЫВНЫЕ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

З.Л. Баскин

Вятский государственный гуманитарный университет, Киров, Россия; baskin.k-ch@rambler.ru

Технологические процессы в различных отраслях промышленности, сельского и коммунального хозяйства, биотические и абиотические процессы в биосфере, часто обусловленные антропогенными факторами и воздействиями, являются динамическими объектами аналитического контроля с случайным или стихийным изменением параметров.

Поэтому контроль состава и свойств динамических объектов должен быть непрерывным промышленным: автоматическим или автоматизированным.

Основные задачи технолого-аналитического контроля (ТАК) и эколого-аналитического контроля (ЭАК) динамических объектов: контроль источников загрязнения (организованных и неорганизованных выбросов); контроль воздушной среды (воздуха рабочих и жилых зон); индивидуальный химический дозиметрический контроль; токсикологический контроль; биоаналитический контроль.

Общий алгоритм ТАК и ЭАК динамических объектов: пробоотбор, анализ отобранных проб, обработка результатов анализов, метрологическое обеспечение измерений[1].

Пробоотбор — наиболее трудоемкая и наименее точная операция газоаналитического контроля. В промышленном газоаналитическом контроле непрерывный сорбционный пробоотбор (НСП) обеспечивает отбор наиболее представительных проб и требуемую чувствительность определения анализируемых веществ.

Для обеспечения надежного непрерывного определения примесей токсичных фторорорганических соединений и фтористого водорода в воздухе рабочих зон на Кирово-Чепецком химическом заводе была создана хроматографическая система типа «искусственный нос» (электронный нос). Она основана, как и системы обоняния человека и животных, на непрерывной сорбции микроколичеств анализируемых токсичных веществ из контроли-

руемого потока воздуха, разделении (идентификации) сконцентрированных примесей и детектировании (индикации) их, когда концентрация этих веществ превышает порог чувствительности системы. Разработанные методы анализа были названы непрерывными хроматографическими методами — НХМ. Это новое направление автоматического и автоматизированного газоаналитического контроля [1].

Способы анализа, реализованные в приборах, основанных на НХМ, корректны, потому что их метрологическое обеспечение (проверка работы и градуировка) производится динамическими методами в условиях, соответствующих рабочим. Наибольшее применение получили диффузионные дозаторы — фторопластовые стабильные источники микропотоков газов и паров СИМГП «Микрогаз» и фторопластовые динамические установки «МИКРОГАЗ-Ф» для непрерывного приготовления ПГС. Они сертифицированы Госстандартом РФ и включены в Госреестр средств измерений[1].

На основе СИМГП «Микрогаз» разработаны рабочие меры (меры сравнения) для повседневного контроля работы газоаналитических приборов.

НХМ могут получить широкое применение в анализе технологических газовых потоков и сред, в эколого-аналитическом контроле загрязняющих веществ (ЗВ) в воздухе рабочих, производственных, санитарно-защитных и жилых зон, в индивидуальном химическом дозиметрическом контроле, в токсикологическом контроле продуктов и товаров производственного и бытового назначения, в исследованиях биоиндикаторов и биоанализаторов.

1. Баскин З.Л. Промышленный аналитический контроль. Хроматографические методы анализа фтора и его соединений. — М.: Энергоатомиздат. — 2008

МОДИФИКАЦИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ АНТИФРИКЦИОННЫХ ТЕРМОПЛАСТОВ РАВНОКАНАЛЬНОЙ МНОГОУГЛОВОЙ ЭКСТРУЗИЕЙ

В.А. Белошенко, Ю.В. Возняк

Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины, Донецк, Украина;
woznyak@mail.ru

В последние 15 лет развивается новый подход к твердофазной структурной модификации полимерных материалов, основанный на использовании процессов интенсивной пластической деформации (ИПД), осуществляемой простым сдвигом в условиях высокого давления [1]. В случае термопластов ИПД может обеспечить формирование заданной надмолекулярной структуры с управляемой молекулярной ориентацией, обеспечивающей значительное улучшение многих физико-механических характеристик [2—4].

К числу широко используемых методов ИПД полимеров относятся равноканальная угловая экструзия (РКУЭ) (рис. 1, а) и ее модифицированный вариант — равноканальная многоугловая экструзия (РКМУЭ) (рис. 1, б). Последняя предусматривает наличие в одном устройстве нескольких зон сдвиговой деформации. За счет этого происходит накопление больших пластических деформаций за один цикл процесса и одновременно обеспечивается высокая однородность распределения деформации по сечениям заготовки.

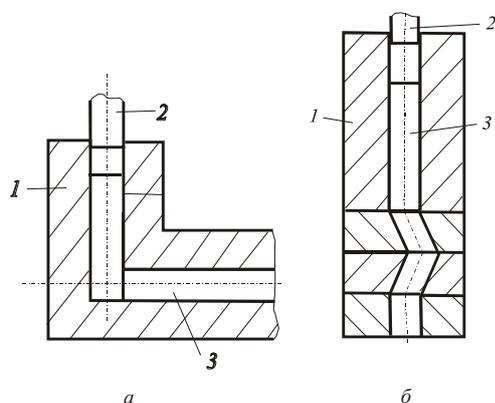


Рис. 1. Схемы процесса экструзии: а — РКУЭ, б — РКМУЭ. 1 — контейнер, 2 — пуансон, 3 — полимерная заготовка

В настоящей работе на примере ряда крупнотоннажных полимеров (политетрафторэтилена, полиэтилентерефталата, полиамида-6, полиэтилена высокой плотности) изучено влияние маршрута деформирования и технологических параметров РКМУЭ на структуру и свойства термопластов антифрикционного назначения. Исследования прово-

дили методами электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа, дифференциальной сканирующей калориметрии, дилатометрии, дюрометрии, механических испытаний.

Показано, что РКМУЭ позволяет формировать в полимерах уникальный комплекс механических свойств: сочетание высокой пластичности и прочности при низкой анизотропии последней. В частности, микротвердость, модуль упругости и предел прочности увеличиваются в 1,5—3,0 раза для полиэтилентерефталата и полиамида-6, 2—3,7 раз — для политетрафторэтилена, 3—6 раз для полиэтилена высокой плотности. При этом деформация разрушения уменьшается незначительно, а в случае полиэтилентерефталата наблюдается ее рост по сравнению с недеформированным полимером. РКМУЭ повышает плотность и температуру плавления полимеров. Величина достигаемых эффектов зависит от накопленной деформации и выбранного маршрута деформирования и определяется формированием биаксиально ориентированных фибрилл, характером их распределения по преимущественным направлениям ориентации, степени кристалличности и дефлектности экструдатов.

Для исследуемых полимеров выявлена возможность реализации «биаксиального инварного эффекта» в прутковых изделиях, когда в широком интервале температур наблюдаются низкие значения эффективного температурного коэффициента линейного расширения ($\alpha = -(5-6) \cdot 10^{-6}, \text{K}^{-1}$) вдоль и перпендикулярно их оси.

Ожидается, что приобретаемый в результате РКМУЭ комплекс физико-механических характеристик может способствовать улучшению антифрикционных свойств полимеров.

1. Белошенко В.А., Бейгельзимер Я.Е., Варюхин В.Н. Твердофазная экструзия полимеров. — К.: Наукова думка. — 2008
2. Phillips A., Zhu P., Edward G.: Simple shear deformation of polypropylene via the equal channel angular extrusion process // *Macromolecules*. — 2006 (39), 5796—5803
3. Beloshenko V.A., Varyukhin V.N., Voznyak A.V., Voznyak Yu.V.: Equal-channel multiangular extrusion of semicrystalline polymers // *Polym. Eng. Sci.* — 2010 (50), 1000—1006
4. Beloshenko V.A., Voznyak A.V., Voznyak Yu.V.: Control of the mechanical and thermal properties of semicrystalline polymers via a new processing route of the equal channel multiple angular extrusion // *Polym. Eng. Sci.* — 2013 (53), DOI 23583

КИНЕТИКА ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ЦИНК–КОБАЛЬТ В ПОЛЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Н.Г. Валько, А.П. Чернецкий

Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Гродно, Беларусь

Цель

Целью исследования являлось изучение кинетических закономерностей и электродных процессов при электроосаждении сплавов Zn–Co под облучением рентгеновским излучением.

Материалы и методы

Исследование влияния рентгеновского излучения на кинетику электроосаждения Zn–Co проводилось посредством анализа полярограмм, получаемых в процессе электролиза. Использовался сульфатный электролит с соотношением концентрации цинка и кобальта $C(\text{Zn}^{2+})/C(\text{Co}^{2+})=1/1$. В качестве рабочего электрода (РЭ) использовалась пластина из низкоуглеродистой стали 08кп. Регистрацию поляризационных кривых осуществляли с помощью полярографа ПУ-1 при скорости развертки 10 мВ/с. Источником излучения служила рентгеновская установка с медным анодом. Качественная оценка мощности экспозиционной дозы рентгеновского излучения составляла 100кР/ч.

Результаты и их обсуждение

На рисунке 1 представлены вольтамперные кривые, полученные через 20 мин электролитического осаждения Zn–Co при воздействии рентгеновского излучения и без, т.е. контрольных образцов.

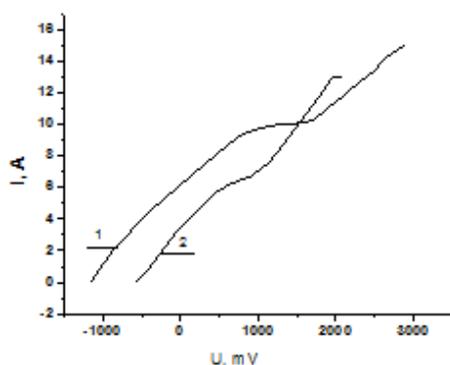


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики осаждения Zn–Co: 1 — облученный образец, 2 — контрольный образец

Как видно из рисунка, вольтамперная характеристика, соответствующая облучаемому в процессе осаждения образцу, по сравнению с кривой от контрольного образца отличается повышенным током насыщения и углом наклона, что указывает на увеличение скорости осаждения вещества на РЭ, обусловленное интенсификацией массопереноса под облучением [1]. Потенциал разложения у облученных образцов смещается в более электроотрица-

тельную область, что связано, в первую очередь, с радиационно-химическими реакциями в электролите под действием рентгеновского излучения, вследствие которых в растворе образуются первичные продукты радиолиза, взаимодействующие с растворенным веществом и способствующие формированию покрытий с элементным и фазовым составом отличным от контрольных образцов [2].

Как показали исследования элементного состава сплавов Zn–Co, осажденных при плотностях катодного тока от 1 до 3 А/дм², концентрация кобальта в сплавах меньше содержания цинка. Это объясняется тем, что потенциал восстановления цинка, как видно из рис. 1, находится в более отрицательной области по отношению к потенциалу восстановления кобальта, что обеспечивает ему более легкое восстановление на подложке. При этом, потенциал восстановления кобальта в облучаемых электролитах несколько смещен в область положительных потенциалов, т.е. в поле рентгеновского излучения увеличивается доля тока, идущего на восстановление кобальта на катоде. Это свидетельствует о том, что рентгеновское излучение, действующее на электролит в процессе электроосаждения, способствует формированию покрытий с повышенным содержанием кобальта. Так, согласно данным РЭМ у покрытий, полученных в поле рентгеновского излучения концентрация кобальта несколько выше, чем у контрольных необлученных образцов. Так, например, в сплавах Zn–Co, осажденных в течение 1 ч при плотности тока 3 А/дм² в поле рентгеновского излучения, концентрация кобальта составляет 1,7 ат.%, а у контрольных образцов — 1,3 ат.%. Это может быть связано с тем, что рентгеновское излучение препятствует образованию и адсорбции на катоде пленки из труднорастворимых соединений цинка, ингибирующей разряд легирующего компонента при их совместном осаждении с цинком.

Таким образом, проведенные исследования позволили установить, что действие рентгеновского излучения на электролит в процессе электроосаждения сплавов Zn–Co способствует формированию слоев с повышенной концентрацией кобальта.

1. Анищик В.М., Валько Н.Г., Поляк Н.И., Война В.В. Влияние рентгеновского излучения на электроосаждение покрытий Zn–Ni из кислого электролита // Весці НАН Беларусі. Сер. фізіка-матэматычных навук. — 2012, № 3, 101–105
2. Пикаев А.К., Шилов В.П., Гоголев А.В. Радиационная химия водных растворов актинидов // Успехи химии. — 1997 (9), № 66, 845–873

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВОЙСТВ ПРЕПРЕГОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБОЛОЧЕК ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ю.В. Василевич¹, В.М. Сахоненко², К.А. Горелый², Е.В. Малютин², Е.Ю. Неумержицкая¹

¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь; vasilevich@bsu.by

²ОАО «Авангард», Сафоново, Россия

Полимерно-волоконная композиционная среда, находящаяся в неотвержденном состоянии полимеров, т.е. в состоянии препрега, является объектом исследования в настоящей работе. Препреги настолько пластичны, что обладают некоторыми свойствами пластичности. Это позволяет проводить с ними глубокую переработку. В результате уже сформированное изделие может приобрести новые формы с изменением размеров. Такое обстоятельство открывает перед технологами большие возможности, позволяющие в некоторых случаях упростить оснастку, уменьшить период изготовления изделия, повысить качество изделия и его прочностные свойства. При этом, если соблюдать заранее рассчитанные технологические параметры (геометрические размеры, силовые факторы, температуру среды и т.д.), то в процессе переработки в армирующем материале препрега не будут возникать значительные напряжения, влияющие на качество изделия, и можно снизить величину остаточных напряжений в готовом изделии.

Технологический процесс изготовления изделий из композиционно-волоконных материалов состоит из следующих стадий: формирование основных и свободных поверхностей заданной геометрии, т.е. получение полуфабрикатов в виде слоистой структуры семейств волокон (нитей) пропитанных связующим, отверждение связующего, механическая обработка поверхностей изделия до требуемых размеров. При этом особый интерес представляет стадия получения полуфабриката. На этой стадии можно производить некоторые дополнительные операции, позволяющие заменить механическую обработку после отверждения связующего.

Важной областью использования свойств препрегов, является формирование изделий на гибких оправках. Вообще говоря, понятие «гибкие оправки» является относительным. Дело в том, что первоначальное формование заготовки изделия должно осуществляться, когда оправка является жесткой. В дальнейшем при трансформации полученной заготовки оправка должна менять форму в соответствии с заданной программой. В этом смысле и принимается термин «гибкие оправки».

«Гибкие оправки» могут быть разной конфигу-

рации. Это зависит, скорее всего, от поставленной задачи, которую она должна выполнить. Например, имеются разнообразные конструкции оправок, которые состоят из кольцевых конических дисков со сквозными профильными отверстиями. Через эти отверстия протянуты гибкие канаты. Система натяжения канатов позволяет обеспечить плотную стыковку дисков и жесткость собираемой под любым углом оправки. В частном случае оправка может быть и прямолинейной. Таким образом, сначала на прямолинейную оправку наматывается цилиндрическая оболочка, а затем, используя систему натяжения канатов, превращают ее в торовую.

Альтернативой просверленным отверстиям является формование их методом прокалывания в еще неотвержденном полимерно-волоконном материале конструкции. В процессе формования отверстия с помощью заостренного стержня — индентора происходит раздвигание нитей и нарушение регулярной структуры материала изделия. Силовое поле армирующих волокон не прерывается. Стенка отверстия из-за повышенного содержания волокон уплотняется.

Несмотря на то, что при получении таких отверстий армирующие волокна остаются целыми, в них создаются растягивающие напряжения, которые могут, при определенных условиях, сохраниться в отвержденном материале в виде остаточных напряжений. Существуют технологические приемы снижения этих напряжений. Например, прокалывающий стержень должен иметь переменное сечение, нижняя часть которого имеет диаметр больше заданного. Таким образом, вначале прокалывающий стержень под действием силы оформляет отверстие диаметром больше заданного. Под действием этой же силы стержень продолжает движение и фиксируется в положении, когда верхняя часть стержня будет располагаться в отверстии. Образовавшийся зазор вследствие упругих деформаций заполняется полутвержденным материалом. В результате напряжения в нитях композиционно-волоконного материала резко уменьшаются. В районе отверстия их уровень можно снизить таким способом практически до нуля.

МЕТОДЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО НАБОРА ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ю.В. Василевич¹, В.М. Сахоненко², К.А. Горелый², Е.В. Малютин², Е.Ю. Неумержицкая¹

¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь; vasilevich@bsu.by

²ОАО «Авангард», Сафоново, Россия

Элементы конструкции из текстильных композитов, воспринимающие основные и вспомогательные нагрузки, должны изготавливаться из высокомодульных волокон или нитей. К числу основных высокомодульных волокон относятся стеклянные, углеродные, органические, керамические и стальные волокна. Каждый из этих видов волокон обладает своими характерными преимуществами и недостатками по сравнению с другими. Например, углеродные волокна самые жесткие и самые хрупкие. Стеклянные волокна самые дешевые, обладают высокой вязкостью разрушения. Поэтому в течение последних 50 лет стеклянные волокна являлись и являются основными общепринятыми конструкционными материалами для множества разнородных изделий из текстильных композитов.

Разнообразие типов волокнистых наполнителей и связующих, достаточно большой набор методов и приемов формования изделий позволяют обеспечить наиболее рациональный подход к выбору технологий и аппаратного оформления процессов производства.

Контактное формование является традиционным способом изготовления композитных конструкций любых форм, размеров и сложности при сравнительно невысоких капитальных затратах. Контактное формование осуществляется на матрице вручную или методом напыления и является процессом холодного отверждения.

К недостаткам метода контактного формования относятся большие затраты ручного труда, низкая производительность, зависимость качества изделий от квалификации формовщика, трудность обеспечения однородности материала и стабильности его физико-механических свойств, большие разбросы геометрических характеристик.

Использование вакуумного формования и вакуумной пропитки может до определенного предела улучшить характеристики материалов за счет стабилизации содержания смолы. Для изготовления может быть также применен метод инъекции смолы в закрытую форму (RTM-метод). Суть метода заключается в том, что между двумя матрицами укладывается сухой, предварительно раскроенный армирующий материал и под давлением впрыскивается

смола.

Данный метод позволяет:

- обеспечить требуемые размеры и воспроизводство изделий;
- повысить содержание армирующего наполнителя в композите и тем самым значительно повысить физико-механические характеристики по сравнению с ручным формованием;
- сократить время изготовления и повысить оборачиваемость оснастки;
- резко снизить выделение вредных веществ в атмосферу.

Имеются модификации данного метода (Light RTM), когда в рабочей полости форм создается разрежение. К недостаткам метода RTM следует отнести большие затраты на оснастку и оборудование.

Технология пултрузии (протяжки) — метод получения непрерывного профиля путем протяжки пропитанных связующим армирующих стекломатериалов через нагретую формообразующую фильеру. Пултрузия позволяет использовать «мокрую» и «сухую» технологии. При использовании в качестве исходного материала однонаправленных ровингов физико-механические характеристики профиля имеют сильную анизотропию свойств, что может быть в ряде случаев неприемлемым. Поэтому в методе пултрузии могут быть использованы: нетканая нитепрошивная лента с заранее выбранной схемой расположения армирующих элементов, маты, тканые ровинги и их комбинации, что позволяет создать оптимальную схему армирования. За счет строго контроля натяжения и ориентации волокон, уменьшения количества пор и стабилизации содержания армирующих волокон в композите характеристики межслойного сдвига в данном методе на 30—35% выше, чем у способа вакуумного формования. Пултрузия допускает полную автоматизацию технологического процесса и обеспечивает его высокую производительность. Основным недостатком данного метода — дороговизна и уникальность оборудования для изготовления. Кроме того, практически все оборудование выпускается для производства прямых профилей. Наиболее распространенным методом изготовления конструкций является метод намотки.

**АРМИРОВАННЫЕ СТЕКЛЯННЫМИ СЕТКАМИ НАПОРНЫЕ ТРУБЫ
БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА, ПОЛУЧАЕМЫЕ МЕТОДОМ НАВИВКИ**В.В. Коврига¹, Н.В. Бисерова², В.В. Швабауэр³¹ООО «группа Полимертепло»²ООО «Климовский трубный завод»³ЗАО «Завод АНД Газтрубпласт»

В настоящее время чётко прослеживается тенденция повышения рабочего давления в безнапорных трубах большого диаметра. Получение безнапорных труб большого диаметра на технологических линиях фирмы КРА позволяет получить разнообразный ассортимент труб, отличающихся по кольцевой жёсткости, способных работать в безнапорных системах, под землёй на глубине 6—8 метров.

Разработана система армирования труб стеклянными сетками, которые наносятся в технологическом процессе и позволяют получить трубы диаметром до 4 метров. Для оценки свойств армированных трубопроводов разработана методика оценки механических свойств труб по показателю объёмной податливости с использованием дозирующего насоса высокого давления, который позволяет оценить диаграмму растяжения в продольном и поперечном сечении трубы. Проведённые работы по армированию выявляют возможность получения труб с рабочим давлением до 12 бар при послойном нанесении армирующей стеклянной сетки. Проработаны вопросы снижения весовых характеристик на-

порных труб большого диаметра, получаемых методов прямой экструзии, путём использования армирующих элементов на базе стеклянных сеток. Показана возможность снижения веса трубы на 35—40% при сохранении диаметра и рабочего давления. Предлагаемая схема позволяет вести формование трубопроводов без использования специальных марок антисайдинговых полиэтиленов, предотвращающих стекание в толстых стенках. Изучен механизм разрушения армированных труб большого диаметра, показано, что в ходе нагружения материал сначала деформируется с сопротивлением деформирования в 1,5 раза превышающим сопротивление чистого полиэтилена. Затем при нагружении происходит резкий рост воспринимаемой нагрузки при отсутствии практически заметной деформации. Наконец, на последней стадии происходит разрушение трубопровода в условиях его пластического деформирования, когда большие деформации развиваются без роста нагрузки. На основании проведенных работ выданы исходные данные для проектирования производства труб диаметром до 4 м.

КЛЕИ-РАСПЛАВЫ НА ОСНОВЕ ДИСПЕРСНО-НАПОЛНЕННЫХ ТЕРМОПЛАСТОВ

А.В. Кравцевич

Научно-исследовательский центр проблем ресурсосбережения ГНУ «Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси», Гродно, Беларусь; krautsevich_a@tut.by

Клеи-расплавы — термопластичные материалы, которые переходят при нагревании в вязкотекучее состояние и обеспечивают быстрое склеивание субстратов при затвердевании путем охлаждения. Благодаря способности быстрого затвердевания при формировании клеевого соединения, клеи-расплавы применяются в высокопроизводительных процессах склеивания. В настоящее время их используют при склеивании упаковки из бумаги и гофрокартона, креплении облицовочных и декоративных элементов, при изготовлении автомобильных воздушных фильтров и др. Большинство клеев-расплавов, применяемых в Республике Беларусь, импортируются из-за границы, поэтому разработка аналогов клеевых композиций с преимущественным компонентным составом из отечественного сырья является актуальным вопросом.

В то же время одним из способов управления техническими характеристиками разрабатываемых композиций клеев-расплавов может быть введение в их состав небольших добавок высокодисперсных наполнителей. В частности, имеются сведения о возможности увеличения прочности клеевых соединений из сополимера этилена с винилацетатом (СЭВ), наполненного углеродным наноматериалом (УНМ) [1], ультрадисперсным диоксидом кремния [2]. Однако, применяемые на практике клеи-расплавы, как правило, содержат кроме полимерной основы функциональные добавки (пластификаторы, модификаторы липкости). Отсутствует достаточная информация о возможности совершенствования технических характеристик таких многокомпонентных клеев-расплавов за счет введения в их состав малых добавок высокодисперсных наполнителей.

В качестве наполнителей для композиций клеев-расплавов выбраны образцы монтмориллонита и УНМ, различающиеся величиной их удельной поверхности (измеренной по методу BET): ММТ1 — 65,2 м²/г; ММТ2 — 3,4 м²/г; УНМ — 219,5 м²/г. Содержание наполнителя в опытных композициях было 0—2,0 мас.%. В качестве полимерной основы клеев-расплавов использован СЭВ марки 11708-210. Для получения многокомпонентных композиций клеев-расплавов в качестве пластификатора использовали воск полиэтиленовый, а в качестве модификатора липкости — канифоль сосновую. Подготовка композиций велась методом смешения в расплаве в

одношнековом экструдере.

Подготовка образцов для определения прочности клеевого соединения при сдвиге (в системе оцинкованная сталь—адгезив—оцинкованная сталь) проведено по ГОСТ 14759–69 «Клеевые соединения металлов. Метод определения прочности при сдвиге». Поверхность разрушения клеевых соединений изучалась с помощью оптического и сканирующего электронного микроскопов. Методом прессования между антиадгезионными подложками из композиций клеев-расплавов готовились пленки для изучения их рентгеноструктурных параметров и деформационно-прочностных характеристик.

Установлен практически двукратный рост прочности при сдвиге клеевых соединений из СЭВ, наполненного 1,0 мас.% ММТ1. Прочность клеевых соединений из многокомпонентных клеев-расплавов, наполненных ММТ1 возрастала на 30—50%.

Введение наполнителей, характеризующихся высокой удельной поверхностью, в состав полимерных клеев-расплавов способствовало уменьшению размера их надмолекулярных структур и, как следствие, увеличению когезионной прочности. Кроме этого, рост когезионной прочности зачастую сопровождался увеличением количества активных центров закрепления адгезива на поверхности металла, что видно на снимках поверхности разрушения клеевых соединений (рис. 1).

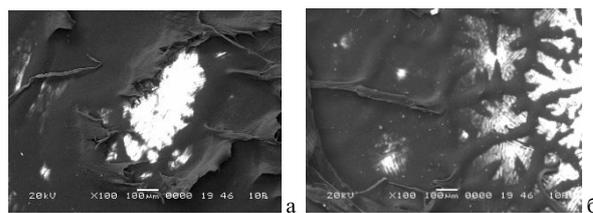


Рис. 1. СЭМ-изображения поверхности разрушения клеевых соединений из многокомпонентных адгезивов: *а* — без наполнителя; *б* — наполненного ММТ1

1. Sviridenok A., Krautsevich A., Makarenko O., Voina V. Structure and adhesive properties of nanocomposites based on functionalized nanofillers // *Acta mechanica et automatica*. — 2011 (5), 105—109
2. Торосян, Ю.В. Разработка технологии производства обуви с использованием клеевых композиций повышенной экологичности: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Санкт-Петербург: СПбГУТД. — 2011

ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ СМЕСИ ПОЛИПРОПИЛЕНА И СОПОЛИМЕРОВ ЭТИЛЕНА С ВЫСШИМИ α -ОЛЕФИНАМИ В ПРОЦЕССЕ РЕАКЦИОННОЙ ЭКСТРУЗИИ

Ю.М. Кривогуз, О.А. Макаренко

Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель, Беларусь;
yurikriv@tut.by

Основной целью работы является изучение особенностей свободнорадикальной прививки *транс*-этилен-1,2-дикарбоновая кислота (ТЭДК) к макромолекулам смесей полипропилена (ПП) с сополимерами этилена и высших α -олефинов (СЭВО) в процессе реакционной экструзии (РЭ), установление важнейших параметров структуры и свойств полученных продуктов, а также изучение возможностей их использования в качестве модификаторов конструкционных термопластов.

Объектами исследования служили изотактический ПП марки 01030-16, сополимер этилена с α -олефинами (содержание α -олефина 20 мас.%, температура стеклования -56 °С), полиамид 6 (ПА6, марка 210/310, ТУ РБ 500048054.009-2001). Использовали также ТЭДК квалификации «ч.» и пероксидный инициатор 1,3-бис-(трет-бутилпероксиизопрпил) бензол. Процесс прививки осуществляли в двухшнековом экструдере TSSK 35/40, шнеки которого снабжены специальными смесительными элементами ($D = 35$ мм; $L/D = 40$; количество зон нагрева — 10).

Полученные в ходе исследования результаты свидетельствуют о возможности получения в процессе РЭ функционализированных смесей ПП/СЭВО с высоким (68—89%) выходом привитого продукта. Ход побочных реакций в значительной степени определяется фазовой структурой смеси и концентрацией инициатора свободно-радикальных реакций. В смесях с преобладанием фазы ПП или равным соотношением ПП/СЭВО при функционализации преобладает β -распад макромолекул ПП, приводящий к получению (ПП/СЭВО)-п-ТЭДК с низкой вязкостью расплава (высоким ПТР). Смеси, в

которых СЭВО образует дисперсионную среду, преимущественно сшиваются при функционализации. Модифицирование ПП путем смешения с СЭВО является эффективным приемом управления ударной вязкостью, деформационно-прочностными свойствами и морозостойкостью функционализированного продукта, что способствует расширению областей его практического применения. В смесях (ПП/СЭВО)-п-ТЭДК термодинамическая совместимость отсутствует. Однако по данным релаксационной спектроскопии можно утверждать о реализации частичной совместимости компонентов.

Установлено, что смешение ПА6 с функционализированными смесями ПП/СЭВО является эффективным способом получения композитов с высоким уровнем значений ударной вязкости на образцах с надрезом. Эффект повышения ударной вязкости наиболее ярко выражен в смесях с равным соотношением ПП и СЭВО или с преобладанием последнего. Причиной этому является образование оптимальной микрогетерогенной структуры, обуславливающей разрушение по механизму мультиплетного крейзообразования.

Из релаксационных спектров смесей ПА6/Ф(ПП/СЭВО) видно отсутствие единой температуры стеклования, что является следствием выраженной термодинамической несовместимости компонентов. Установлено, что для разных составов значения температур характеристических переходов отдельных фаз (ПА6 и СЭВО) несколько отличаются, что, видимо, является результатом изменения интенсивности межфазных взаимодействий при варьировании состава.

НЕПРЕРЫВНОЕ ЛИТЬЕ ЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА С НАНОСТРУКТУРНЫМ КРЕМНИЕМ

Е.И. Марукович, В.Ю. Стеценко, А.П. Гутев, Р.В. Коновалов

Институт технологии металлов НАН Беларуси, Могилев, Беларусь; lms@itm.by

В ИТМ НАН Беларуси разработана и используется технология циклического литья заготовок из эвтектического силумина с наноструктурным кремнием. Данная технология основана на методе литья закалочным затвердеванием [1]. На опытной литейной площадке производятся заготовки диаметрами 50...120 мм. Они используются в качестве заготовок антифрикционных деталей (подшипников скольжения) взамен аналогичных из бронз. Главными недостатками метода литья закалочным затвердеванием являются относительно низкая производительность и выход годного литья. Поэтому была исследована возможность получения эвтектического силумина с наноструктурным кремнием методом непрерывного горизонтального литья. Для этой цели был разработан специальный струйный кристаллизатор с затоплено-струйной системой охлаждения [2]. По сравнению с обычным щелевым кристаллизатором струйный позволял существенно (в 2...3 раза) повысить скорость затвердевания слитка. Было разработано устройство затоплено-струйного вторичного охлаждения, позволяющее дополнительно увеличить скорость затвердевания слитка [3]. Для повышения дисперсности его микроструктуры использовали метод наследственного модифицирования. Для этого литьем закалочным затвердеванием получали отливки из эвтектического силумина с наноструктурным кремнием дисперсностью 300...500 нм. Эти заготовки в количестве 20% добавляли в основную шихту, состоящую из чушкового сплава АК12. Разливку жидкого металла осуществляли на установке непрерывного горизонтального литья (рис. 1). Получали слитки диаметром 70 мм со средней скоростью литья 0,88 м/мин. Микроструктуру опытных образцов исследовали методом металлографического анализа с помощью электронного микроскопа VEGA//TESCAN при увеличении 13000 крат. В результате проведенных исследований было установлено, что в опытных слитках эвтектического силумина кристаллы кремния приобретали глобулярную форму и измельчались до 500...600 нм (рис. 2).

Таким образом, была определена возможность получения методом непрерывного горизонтального литья слитков диаметром 70 мм из эвтектического силумина с наноструктурным кремнием. Установлены рациональные металлургические и технологические режимы литья. В настоящее время непрерывнолитые слитки из эвтектического силумина с наноструктурным кремнием производятся на опытной литейной площадке ИТМ НАН Беларуси и поставляются на ОАО «Белшина». Заготовки из этого

материала в 2 раза дешевле бронзы Бр05Ц5С5, отличительной особенностью разработанного материала является его высокая износостойкость. Таким образом, разработана технология непрерывного литья эвтектического силумина с наноструктурным кремнием.



Рис. 1. Установка непрерывного горизонтального литья

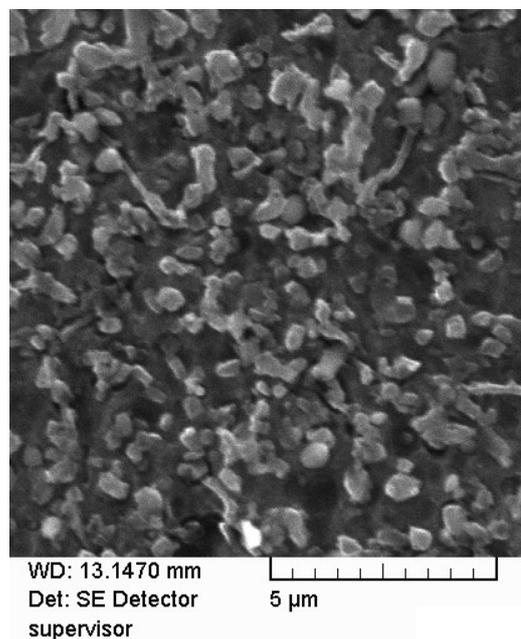


Рис. 2. Структура слитка

1. Марукович Е.И., Стеценко В.Ю. Модифицирование сплавов. — Минск: Беларусь. Наука. — 2009
2. Патент РБ № 6830. Кристаллизатор для литья слитков / В.Ю. Стеценко, А.М. Певнев, Р.В. Коновалов // Афіцыйны Бюлетэнь. — 2011, № 6, 163
3. Патент РБ №8439. Устройство вторичного охлаждения непрерывного литья слитка / В.Ю. Стеценко, А.М. Певнев, Р.В. Коновалов // Афіцыйны Бюлетэнь. — 2012, № 4, 189

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕР-МИНЕРАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

К.С. Носов¹, Е.М. Лапшина¹, В.И. Ткачëв²

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

²КУП «Спецкомунтранс», Гомель, Беларусь

В настоящее время в области технологий строительного производства и обустройства дорог перспективным направлением является разработка полимер-минеральных композитов (ПМК), применяемых для производства тротуарной плитки, бордюрного камня, организации дренажных и ливневых систем, кровельных материалов различного эксплуатационного назначения.

Вследствие широкого спектра номенклатурной принадлежности данных материалов возникает потребность в получении изделий с заранее заданными физико-механическими свойствами, которые в свою очередь зависят от множества рецептурно-технологических параметров.

Целью работы явилось исследование влияния технологических параметров: температуры расплава и способа подачи компонентов смеси в плавильно-смесительный агрегат на механические свойства полимер-песчаных композиций.

Материалы и методы исследования

В качестве наполнителя использовали строительный (ГОСТ 8736-93) и формовочный (ОАО «Гомельский литейный завод «Центролит») песок с размером частиц 315 и 500 мкм.

В качестве полимерного связующего применяли первичные крупнотоннажные полиолефины в частности ПЭВД (ГОСТ 16337-77), ПЭНД (ГОСТ 16338-85) и ПП (ГОСТ 26996-86).

Композиции получали путем гомогенизации исходных компонентов в смесителе лопастного типа при температурах переработки используемых поли-

меров.

Образцы получали холодным прессованием полученных формовочных масс с приложением нагрузки 16 тонн/см².

Механические свойства композитов исследовали на автоматизированном стенде INSTRON 5567 (Великобритания) по стандартной методике (ГОСТ 11262-80).

Результаты и их обсуждение

В результате проведенных исследований установлены зависимости механических свойств ПМК от температурных параметров переработки и способа подачи компонентов смеси в плавильно-смесительный агрегат. Показано, что наилучшие показатели прочности образцов получены при переработке в интервале температур 115—130 °С. Установлена эффективность подачи компонентов смеси в плавильно-смесительный агрегат порционно при помощи питающего ленточного конвейера с отдельными желобами. При этом общий объем загрузки разделён на несколько равных частей. В результате этого на выходе из плавильно-смесительного агрегата достигается равномерный прогрев массы и, соответственно, её лучшая однородность.

Проведена апробация оптимизированных рецептур и выбранных технологических параметров переработки в опытно-промышленных условиях, при изготовлении изделий для жилищно-коммунального хозяйства, строительного, дорожно-строительного назначения.

РАЗДЕЛЕНИЕ СМЕСИ ПОЛИМЕРОВ МЕТОДОМ ФЛОТАЦИИ

Е.В. Опимах, А.Э. Левданский

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

Введение

Разделение вторичных полимеров методом флотации, основанном на избирательной смачиваемости, с добавлением поверхностно-активных веществ (ПАВ), был предложен давно [1]. Однако этот процесс до настоящего времени не изучен.

Цель

Целью работы являлось нахождение экспериментальных зависимостей процесса флотации смеси полимеров акрилонитрилбутадиенстирола (АБС) и полиамида (ПА) в пропорции 1:1 от концентрации ПАВ, расхода воздуха и температуры жидкости.

Материалы и методы

Эксперименты были выполнены на лабораторном флотационном аппарате колонного типа с пневматической аэрацией пульпы.

Концентрат отводился вместе с пеной в верхней части аппарата, хвосты — через штуцер в нижней части аппарата. Затем проводилась сушка и взвешивание концентрата ($m_{\text{конц.}}$), окончательное разделение и взвешивание АБС в концентрате ($m_{\text{конц.}}^{\text{АБС}}$).

На основании полученных результатов рассчитывались содержание флотируемого компонента (чистота концентрата), β и извлечение флотируемого компонента (АБС), ϵ по формулам 1 и 2 [2]:

$$\beta = \frac{m_{\text{конц.}}^{\text{АБС}}}{m_{\text{конц.}}} \cdot 100\%, \quad (1) \quad \epsilon = \frac{m_{\text{конц.}}^{\text{АБС}}}{m_{\text{исх.}}^{\text{АБС}}} \cdot 100\%. \quad (2)$$

Исследования выполнялись с использованием смеси ПАВ на основе лауретсульфата натрия и кокамид DEA.

Результаты и их обсуждение

Полученные результаты флотации представлены на рис. 1—3.

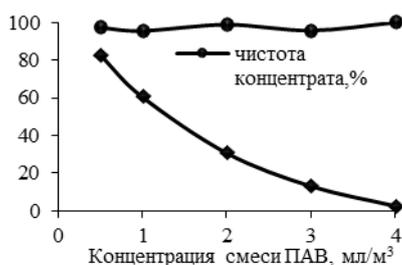


Рис. 1. Зависимости чистоты концентрата и извлечения АБС от концентрации смеси ПАВ при расходе воздуха 0,11 м³/(мин·м²)



Рис. 2. Зависимости чистоты концентрата и извлечения АБС от расхода воздуха при количестве смеси ПАВ 0,5 мл/м³

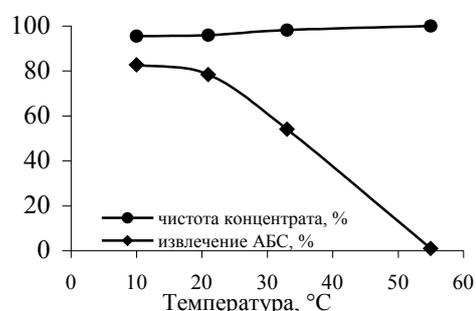


Рис. 3. Зависимости чистоты концентрата и извлечения АБС от температуры жидкости

Анализ результатов впервые проведенные исследования флотационного разделения смеси широко используемых полимеров АБС и ПА в лабораторном флотационном аппарате колонного типа с пневматической аэрацией пульпы показали возможность осуществления такого процесса. При этом были получены основные закономерности процесса флотации смеси полимеров от концентрации ПАВ, расхода воздуха и температуры жидкости. Флотационное разделение полимеров, основанное на их избирательной смачиваемости, является перспективным направлением при переработке смешанных пластмассовых отходов. При простом аппаратном оформлении и малых расходах ПАВ и воздуха возможно создание высокопроизводительного процесса сортировки полимерных отходов.

1. Дуденков С. В. и др. Повышение эффективности заготовки, обработки, переработки и использования вторичных полимерных материалов // Обзорная информация «Рациональное использование вторичных полимерных материальных ресурсов». — М.: ЦНИИТЭИМС. — 1979, Вып. 9
2. Абрамов А. А. Флотационные методы обогащения. // Учебник для вузов. — М.: Недра. — 1984

МЕТОДИКА МОДИФИКАЦИИ ПОЛОВОЛОКОННЫХ МЕМБРАН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕЖФАЗНОЙ ПОЛИКОНДЕНСАЦИИ

Е.С. Пикуцкая, А.В. Бильдюкевич

Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь; pikutskaya_elen@mail.ru

Межфазная поликонденсация, при которой полимер образуется на границе раздела двух несмешивающихся жидких фаз, используется для получения широкого круга как гетероцепных (полиамиды, полиэферы, полисилоксаны и др.), так и карбоцепных (полиметилены, полиариленалкилы, фенолформальдегидные смолы и др.) полимеров [1].

В мембранной технологии межфазная поликонденсация впервые предложена Кадотте [2] для формирования тонких и ультратонких селективных слоев на пористых мембранах-подложках при получении обратноосмотических мембран. Преимущества данного метода состоит в том, что в этом случае не требуется применения мономеров особой чистоты, ни точных стехиометрических соотношений реагентов. Поэтому в настоящее время, подавляющее большинство плоских обратноосмотических и нанофильтрационных тонкопленочных композитных мембран (TFC membranes) получают именно этим методом. Использование межфазной поликонденсации для модификации мембран в виде полых волокон в литературе не описано.

В данной работе предложена методика и оборудование для модификации полволоконных мембран с типом фильтрации «изнутри-наружу» методом межфазной поликонденсации (рис. 1). Сущность методики заключается в следующем. Полное волокно фиксируется на капиллярах и с помощью перистальтического насоса поочередно обрабатывается водным раствором аминного компонента и раствором ди- или трихлорангидрида карбоновой кислоты в органическом растворителе, не смешивающимся с водой (гексан, гептан, октан, нефрас и т.п.). На первой стадии из емкости 1 во внутренний канал волокна подается раствор аминного компонента. Подачу осуществляют в режиме фильтрации, при этом реагент полностью заполняет поры мембраны. Затем избыток импрегнирующего раствора удаляется с помощью насоса и дополнительно — пропусканьем воздуха. Далее проводится обработка внутреннего канала волокна раствором хлорангидрида в органическом растворителе. После обработки избыток раствора сливается, а окончательное удаление органического растворителя производится сжатым воздухом. В результате протекания реакции поликонденсации в порах мембраны происходит образование сшитого слоя полиамида, при этом на самой по-

верхности мембраны значительных сшивок не происходит.

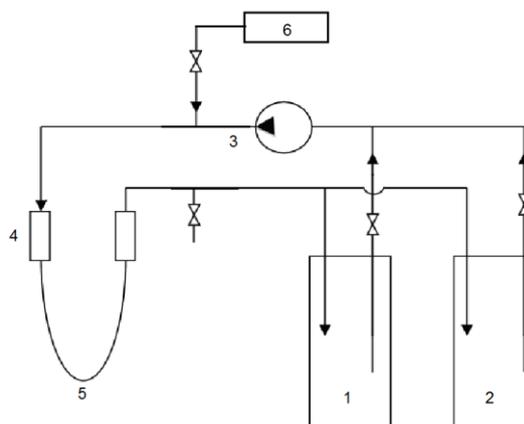


Рис 1. Схема лабораторной установки для модификации полволоконных мембран методом межфазной поликонденсации: 1 — емкость для аминного компонента, 2 — емкость для ацильного компонента; 3 — перистальтический насос; 4 — капилляры-держатели мембран; 5 — мембрана; 6 — источник сжатого воздуха

Проведена апробация методики на полволоконной мембране марки ПС-ПВ-100 производства ГНУ «Институт физико-органической химии НАН Беларуси» (ТУ РБ 100185198.091–2008). Показано, что с помощью данного метода возможно получение мембран с воспроизводимыми характеристиками.

В результате проведенных исследований определены концентрационно-временные режимы обработки, обеспечивающие формирование селективных слоев с различными транспортными характеристиками. Установлено, что время контакта аминного компонента с мембраной можно ограничить 2–3 минутами, а для раствора хлорангидрида — 20–40 сек. Варьируя концентрацию модифицирующих агентов возможно увеличить задерживающую способность мембран с 33–34% до 79–82% (калибратор поливинилпирролидон К-15, $M_n = 10000$ г/моль).

1. Коршак В.В., Козырева Н.М. Успехи в области синтеза высокомолекулярных соединений // Успехи химии. — 1979, № 1, 5–29
2. US Patent № 4520044, 1985
3. Свитцов А.А. Введение в мембранную технологию. — М.: ДеЛи принт. — 2007

ПОЛУЧЕНИЕ ДИСПЕРСИЙ МНОГОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Т.В. Плиско, А.В. Бильдюкевич

Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь; sumire-san@tut.by

Из-за ряда ценных физических свойств, таких как электропроводность и высокая механическая прочность, углеродные нанотрубки являются перспективными наполнителями для создания полимерных композиционных материалов [1]. Основными проблемами при использовании углеродных наноматериалов является сложность их диспергирования в большинстве растворителях из-за гидрофобности и высокого потенциала ван-дер-ваальсового взаимодействия между поверхностями отдельных нанотрубок, что приводит к образованию прочных агрегатов и связано с высокой поляризуемостью π -электронной системы на поверхности нанотрубок [1]. Целью данной работы являлась разработка простого и эффективного метода диспергирования многостенных углеродных нанотрубок в различных растворителях без модификации для введения их в полимерные растворы.

Углеродные многостенные нанотрубки получены в Институте тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси методом каталитического осаждения из газовой фазы (пропан-бутановая смесь) в кипящем слое. Диаметр полученных нанотрубок составляет 12—20 нм, количество стенок 7—12 [2].

В данной работе изучена возможность получения устойчивых дисперсий многостенных углеродных нанотрубок в N,N-диметилацетамиде (ДМАА, BASF), N-метил-2-пирролидоне (Экос-1, Россия) и воде при использовании различных полимеров в качестве диспергирующих агентов: полиэтиленгликоля с $M = 400$ г/моль (ПЭГ-400, BASF), $M = 4000$ г/моль (Merck), $M = 20000$ г/моль (Sigma-Aldrich) и $M = 40000$ г/моль (Sigma-Aldrich), поливинилпирролидона с $M = 10000$ г/моль (K-15) и $M = 40000$ г/моль (Fluka), блоксополимеров полиэтиленгликоля и полипропиленгликоля с $M = 8400$ г/моль (Synperonic F-108, Fluka) и $M = 12600$ г/моль (Pluronic F-127, Sigma-Aldrich), этилендиамин тетраакис(этоксилат-блок-пропоксилат)тетрола с $M = 3600$ г/моль (Tetronic 701) и $M = 7200$ г/моль (Sigma-Aldrich).

Для приготовления дисперсии нанотрубок сначала готовили 1÷6 мас.%, раствор полимерного диспергирующего агента в растворителе, а затем вводили 0,25 мас.% нанотрубок и обрабатывали ультразвуком (частота 21 кГц) в течение 15—30 мин. Полученные дисперсии имели черную окраску и были устойчивы в течение более 2,5 месяца.

Подавляющее большинство исследованных полимеров пригодны для получения дисперсий нанотрубок, за исключением полиэтиленгликолей с $M \geq 20000$ г/моль и этилендиамин тетраакис(этокси-

лат-блок-пропоксилат)тетрола с $M = 7200$ г/моль. В случае последнего дисперсию нанотрубок вообще не удалось получить, а при использовании высокомолекулярных полиэтиленгликолей наблюдалась низкая кинетическая устойчивость дисперсий.

Методом динамического светорассеяния (90Plus Particle Size Analyzer, Brookhaven Instr. Corp., USA) были получены диаграммы распределения частиц по размерам в 0,25 мас.% дисперсиях нанотрубок в ДМАА с концентрацией диспергирующего агента (ПЭГ-400 и K-15) 1,37 мас.% (рис. 1). На рис. 1 приведена диаграмма распределения коллоидных частиц по размерам в дисперсии с ПЭГ-400. Установлено, что данная дисперсия характеризуется достаточно узким распределением частиц по размерам, а эффективный диаметр частиц в дисперсиях составляет 234,1 нм (ПЭГ-400) и 239,0 нм (K-15).

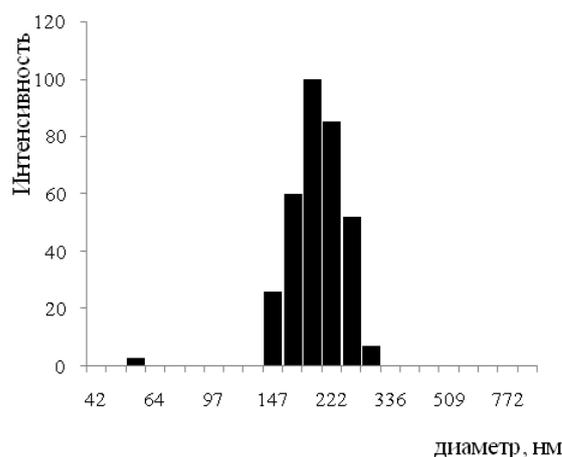


Рис. 1. Диаграмма распределения частиц по размерам в 0,25% дисперсии нанотрубок с ПЭГ-400 в ДМАА.

Проведены скрининговые исследования по введению дисперсий нанотрубок в концентрированные полимерные растворы полисульфона в ДМАА в диапазоне концентраций 0,002÷0,050% нанотрубок. Установлено, что введение углеродных нанотрубок приводит к увеличению вязкости и мутности полимерных систем. На основе данных растворов с добавками нанотрубок 0,0024÷0,01% были получены капиллярные мембраны для ультрафильтрации.

1. Shvartzman-Cohen R., Levi-Kalisman Y., Nativ-Roth E. Generic Approach for Dispersing Single-Walled Carbon Nanotubes: The Strength of a Weak Interaction // *Langmuir*. — 2004 (20), 6085—6088
2. Современные перспективные материалы. / Под ред. В.В. Клубовича. — Витебск: ВГТУ. — 2011

ОГНЕЗАЩИЩЕННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ПОЛИОЛЕФИНОВ И АЗОТ-ФОСФОРСОДЕРЖАЩИХ ЗАМЕДЛИТЕЛЕЙ ГОРЕНИЯ

О.В. Рева¹, В.В. Богданова², З.В. Шукело², Л.В. Радкевич²

¹ Командно-инженерный институт МЧС Минск, Беларусь

² НИИ физико-химических проблем БГУ, Минск, Беларусь

Композиционные материалы на основе синтетических полимеров таких как полиэтилен, полипропилен, сополимер этилена с винилацетатом нашли широкое применение в электротехнической, радиоэлектронной, строительной, приборо- и машиностроительной отраслях промышленности. Эти материалы используются для изготовления кабельной изоляции, деталей, корпусов приборов и машин, складных изделий, труб, изделий промышленной и бытовой электротехники. Применение полимерных композиционных материалов позволяет замещать дорогостоящие природные материалы, изготавливать детали сложной формы путем отливки и прессования, удлинить срок эксплуатации изделий различного назначения вследствие их долговечности и устойчивости к воздействию влаги и агрессивных сред.

Полиолефины являются наиболее пожароопасным классом полимерных материалов. Обладая высокой теплотворной способностью, они сгорают практически без остатка, образуя воду, двуокись углерода и газообразные низшие углеводороды. Поэтому создание огнезащищенных композиционных материалов на основе полиолефинов представляет собой наиболее трудную задачу по сравнению с другими классами полимерных материалов. До настоящего времени в Республике Беларусь для изготовления огнезащищенных полимерных материалов различных классов используются замедлители горения, ввозимые из-за рубежа. При этом необходимо отметить, что эти замедлители горения представляют собой синергические смеси на основе оксида сурьмы и бромсодержащих органических соединений, которые в прогретом слое полимера образуют весьма токсичные продукты, являющиеся ингибиторами горения.

В соответствии с современными требованиями необходимо использовать замедлители горения, не образующие токсичных продуктов термического разложения и горения. Однако до настоящего времени информация о рецептурах безгалогенных замедлителей горения является коммерческой тайной. В литературе нет определенной точки зрения относительно механизма ингибирующего действия азот-фосфорсодержащих замедлителей горения, что сдерживает их разработку для каждого конкретного вида полимера.

Обязательным требованием к полиолефиновым

материалам является наличие физико-механических характеристик, позволяющих изготовить из них кабельную изоляцию (предел текучести при растяжении, прочность при разрыве, относительное удлинение и т.д.). Следует отметить, что введение замедлителей горения в полиолефиновую матрицу приводит к значительным изменениям вышеперечисленных физико-механических свойств.

Цель работы заключалась в разработке рецептуры безгалогенного огнезащищенного композиционного материала, пригодного для кабельной изоляции на основе полиэтилена высокого давления.

Для достижения необходимой степени огнезащиты исследован ряд рецептур полиолефинового материала, в которых варьировали природу и содержание ингибиторов горения и полимерных модификаторов. Азот-фосфорсодержащие ингибиторы горения вводили в композиционные расплавы полимерных матриц в процессе переработки материалов. Кроме того, в процессе разработки варьировали фракционный состав ингибиторов горения и изменяли технологию их подготовки для введения в полимер. Оценка эффективности огнезащиты полученных материалов проводили согласно ГОСТ 28779 «Материалы электроизоляционные твердые. Методы определения воспламеняемости под воздействием источника зажигания». Образцы дважды поджигали в вертикальном положении и по результатам испытаний суммировали время самостоятельного горения, учитывая при этом наличие горящих капель. Физико-механические характеристики полученных огнезащищенных материалов проверяли по ГОСТ 11262 «Пластмассы. Метод испытания на растяжение».

В результате исследований по приданию огнестойкости найдены системы азот-фосфорсодержащих ингибиторов горения с определенным фракционным составом (размер частиц в диапазоне от 1 мкм до 100 мкм), которые в суммарной концентрации от 30 до 40% позволяют получить огнезащищенный композиционный материал, соответствующий группе ПВ-0 (время самостоятельного горения < 10 сек, горящие капли отсутствуют) с физико-механическими характеристиками оптимальными для изготовления кабельной изоляции (предел текучести при растяжении 7 МПа, относительное удлинение 430%).

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КАУЧУКОВ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ОКИСЕЙ

А.В. Румянцева, Г.М. Хвостик, С.К. Курлянд, В.И. Клочков, Г.П. Петрова

ФГУП «НИИСК», Санкт-Петербург, Россия

Исследовались технологические свойства отечественных и импортных каучуков на основе органических окисей: СКПО, СКЭХГ-СТ производства ОАО «Синтезкаучук»; Т-6000, Т-3000 фирмы «Zeon».

Все каучуки содержали АГЭ в количестве от 2 до 4%. Определены модульные и вязкостные характеристики этих каучуков. Было установлено аномальное поведение вязкости каучуков СКПО и Т-6000 в интервале от 40—200 °С, вязкость практически не зависит от температуры. Вязкость каучука СКЭХГ резко снижается при повышении температуры до 40—60 °С, а затем мало зависит от температуры. Для каучука Т-3000 наблюдается классическая зависимость вязкости от температуры. Исследование деформационно-прочностных свойств, проведенное на невулканизированных каучуках, подтвердило проявление особенностей структуры каучуков отечественного производства.

Изучено влияние ускорителей и вулканизирующих агентов на кинетику вулканизацию ненаполненных и наполненных техническим углеродом резин на основе этих каучуков.

Установлено, что каучук марки Т-6000 термо-вулканизуется при температуре выше 160 °С. Перекиси при вулканизации вызывают не только структурирование, но и деструкцию, которая проявляется особенно сильно на заключительных стадиях вулканизации. В качестве ускорителей серной вулканизации использовались каптакс, тиурам, альтакс, сульфенамид, тиурам,ДФГ. Все эти каучуки вулканизируются тиурамом в отсутствие серы, а каучук марки Т-3000 вулканизуется еще и ДФГ.

Для каучуков СКЭХГ-СТ и СКПО характерны уменьшение прочности при увеличении содержания технического углерода. Следует отметить, что при введении небольших количеств сажи (около 1 м.ч.) наблюдается повышение прочности и относительного удлинения, что, очевидно, связано с кристаллизацией этих каучуков, т.к. технический углерод, в небольших количествах, является зародышеобразователем при их кристаллизации.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЗОТ-ФОСФОРСОДЕРЖАЩИХ ЗАМЕДЛИТЕЛЕЙ ГОРЕНИЯ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ОГНЕСТОЙКОСТЬ ПЕНОПОЛИУРЕТАНА МАРКИ «ИЗОЛАН-125»

М.М. Тихонов, О.В. Рева

КИИ МЧС Республики Беларусь, Минск, Беларусь; max_t@tut.by

Одним из способов снижения отрицательных последствий пожара в кабельных шахтах гражданских зданий является превентивное создание огнепреграждающих конструкций, ограничивающих распространение пожара по кабельным шахтам, и разработка мер по эффективной локализации таких пожаров, если огнепреграждение отсутствует или не обеспечивает защитных функций. В качестве объекта исследования выбран вспенивающийся пенополиуретановый (ППУ) материал марки «Изолан-125», способный заполнить пустоты и зазоры по всему периметру кабельного сооружения. Установлено [1], что материал, пригодный для огнепреграждения, должен быть трудногорючим, а напыляемый ППУ «Изолан-125», согласно предварительным испытаниям, относится к горючему материалу, что неприемлемо для его использования в качестве огнепреграждающего средства. Учитывая экономические аспекты и специфику химических свойств реакционной системы А и Б [2] нами предложена огнезащитная система, состоящая на 80% из порошкообразных азот-фосфорсодержащих замедлителей горения и на 20% из трихлорэтилфосфата (ТХЭФ). Для определения пригодности разрабатываемой ППУ композиции в качестве огнепреградителя проведено исследование ее реакционных, физико-химических и огнестойких свойств.

Группу горючести получаемых материалов определяли по ГОСТ 12.1.044 [3] п. 4.3. Эффективность локализации горения с применением трудногорючего ППУ исследована с помощью экспериментальной установки [4].

Таблица 1. Реакционные параметры и физико-химические свойства ППУ композиций марки Изолан-125

Образец ППУ	Время старта, с	Время гелеобразования, с	Время роста пены, с	Кажущаяся плотность ППУ, кг/м ³	Теплопроводность ППУ, Вт/(м·К)
исходный	15	31	22	43,8	0,025
огнезащитный	16	33	40	48,3	0,03

Найдено, что при 15% введении системы за-

медлителей горения в компонент А удается сохранить хорошие реакционные параметры и физико-химические свойства пенополиуретанового материала (табл. 1). Согласно результатам испытаний по определению группы горючести данного ППУ установлено (табл. 2), что он является трудногорючим.

Таблица 2. Результаты испытаний по определению группы горючести ППУ

Образец ППУ	Максимальное приращение температуры, ΔT , °С	Потеря массы образца, Δm , %	Группа горючести
исходный	250,5	71,9	горючий, легковоспламеняемый
огнезащитный	35,5	50,1	трудногорючий

Экспериментами по определению устойчивости антипиреновой системы в компоненте А в зависимости от времени установлено, что после двухгодичного хранения изменений в реакционной способности и физико-химических свойствах ППУ композиции с использованием хранившегося в присутствии огнезамедлительной системы компонента А не обнаружено.

Таким образом, показана перспективность применения трудногорючего ППУ марки «Изолан-125» в качестве средства (активного и пассивного), способствующего прекращению горения в кабельных шахтах гражданских зданий.

1. Богданова В.В., Тихонов М.М. // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: Матер. междуна. науч.-практ. конф. / Редкол.: И.С. Сазонов и др. — Могилев. — 2011, Ч. 2, 87—88
2. Берлин А.А. Пенополимеры на основе реакционноспособных олигомеров. — М.: — 1978
3. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения: ГОСТ 12.1.044-89. — Введ. 01.01.91. — Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь. — 1991
4. Богданова В.В., Тихонов М.М. Исследование эксплуатационных и огнезащитных свойств пенополиуретановых конденсированных пен // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. — 2013, № 1, 24—28

РОЛЬ ЧАСТОТЫ ТОКА ПРИ ПЛАЗМЕННОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ

Е.М. Толстопятов

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

Цель

Плазменная полимеризация — многопараметровый процесс, в котором кинетика плёнообразования, химическое строение синтезируемого полимера и другие свойства плёнок зависят от состава, давления и скорости протока газовой смеси, схемы согласования источника тока с плазмой, вводимой мощности, частоты тока, и других параметров. Целью настоящей работы являлась оценка влияния частоты источника тока на химическое строение и скорость роста покрытий в плазме октафторциклобутана (ОФЦБ).

Эксперименты проводились на вакуумной установке ВУП-4 по схеме асимметричной емкостной связи источника с плазмой, с открытыми электродами. Частота тока — 40,68 и 5,28 МГц; 12...35 кГц; 50 Гц. Подложка помещалась на электрод, соединённый с корпусом установки. Давление ОФЦБ устанавливалось на уровне 18...20 Па при дросселированной откачке без газа-носителя. Скорость осаждения покрытия определялась кварцевыми микровесами.

Результаты и их обсуждение

Скорость роста покрытия при частотах в ВЧ диапазоне (40,68 и 5,28 МГц) слабо изменяется с частотой — различие результатов находится в пределах экспериментальной погрешности, определяемой главным образом погрешностью воспроизведения мощности, вводимой в плазму.

Скорость роста покрытия в плазме при частоте тока 15 кГц оказалась в 5 раз выше, чем в ВЧ плазме, причём зависимость от частоты в СЧ диапазоне была падающей. При этом мощность электрического разряда поддерживалась с большей точностью по результатам измерения тока разряда.

Результаты ИК спектроскопии синтезированных покрытий демонстрируют уширение и слияние полос поглощения при использовании СЧ плазмы, что указывает на более широкую молекулярную структуру и пониженное отношение «фтор/углерод». Такие эффекты проявляются преимущественно на электродах, и в значительно меньшей степени на поверхностях, находящихся под плавающим потенциалом. Объяснение этому давалось двойное. В [1] предположено, что эти эффекты обусловлены неоднородностью плазмы и небольшой диффузионной длиной, в пределах которой частицы сохраняют активность и способны её утратить либо вследствие дезактивации, либо в реакциях рекомбинации в объёме. Авторы [2] считали, что причина заключается в

изменении функции распределения электронов по энергиям, и, следовательно, концентрации активных частиц, с изменением частоты возбуждения.

Однако следует обратить внимание и на другую особенность плазмы в частотном диапазоне ниже ВЧ. Для поддержания разряда недостаточно ёмкостных токов с электродов и необходим прямой перенос электронов и ионов на электроды. При этом ионы в катодной зоне должны обладать энергией, значительно превышающей тепловую, чтобы вызвать эмиссию электронов с катода. Следовательно, ионы в этой зоне приобретают способность к активации молекул полимеризуемого газа, и сечение активации ионами на порядок выше, чем электронами. Кроме этого, концентрация адсорбированных на поверхностях электродов молекул намного превышает их эффективную концентрацию на пути заряженных частиц в объёме. Поэтому скорость полимеризации молекул, адсорбированных на поверхностях, бомбардируемых ионами, намного выше, чем при бомбардировке электронами, и тем более выше, чем скорость активации в объёме. По данным [3] скорость роста покрытия при бомбардировке ионами может быть на два порядка выше, чем при бомбардировке электронами.

При возбуждении плазмы источником тока ВЧ диапазона бомбардировка электродов электронами и ионами с повышенной энергией отсутствует, а процесс полимеризации идёт только за счёт диффузии активированных частиц из объёма. С понижением частоты тока возрастает вклад механизма поддержания разряда за счёт прямой бомбардировки электродов заряженными частицами, который доходит до 100% в плазме постоянного тока.

Однако использование постоянного и низкочастотного переменного токов для получения качественных покрытий нецелесообразно из-за неоднородности плазмы и дефектов, образованных ионными треками в покрытии. Оптимальными можно считать частоты СЧ диапазона. Ещё более перспективным является двухчастотное ВЧ + СЧ возбуждение, а также возбуждение в виде меандра импульсов с регулируемой скважностью.

1. Ясуда Х. Полимеризация в плазме. — М.: Мир. — 1988
2. Lopata E. and Countrywood J. The effect of excitation frequency on emission spectra of polymerization plasmas // J. Vac. Sci. Technol. A. — 1988 (6), 2949—1952
3. Филатов В.Н., Сысоев А.А., Морозов О.В. Образование диэлектрических плёнок на электродах источника ионов масс-спектрометра // Приборы и техника эксперимента. — 1981, № 1, 179—181

НОВЫЕ СОПОЛИМЕРЫ ПОЛИФЕНИЛЕН-1,3,4-ОКСАДИАЗОЛА

В.С. Яценко, Д.А. Василевский, В.Г. Петушок, В.К. Ольховик

Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь; slavol@ichnm.basnet.by

Значительный интерес среди высокопрочных термостойких полимеров представляют поли-1,3,4-оксадиазолы (ПОД-полимеры). В настоящее время широкое применение нашли только волокна на основе полифенилен-1,3,4-оксадиазола, известные под маркой «Арселон» и «Оксалон». Они выдерживают длительную эксплуатацию при температуре 230—250 °С, а температура их термической деструкции выше 470—480 °С. Основным же их недостатком является относительная высокая горючесть — кислородный индекс волокна не превышает 26—28% и низкая светостойкость [1]. Одним из перспективных способов модификации ПОД-полимеров, позволяющих направленно изменять свойства, является получение их различных сополимеров (СП). Последние, как правило, наряду высокой термостабильностью, обладают более широким спектром полезных свойств.

С целью получения новых материалов обладающих повышенными огнезащитными характеристиками нами был разработан метод синтеза сополимеров поли (1,3,4-оксадиазол-2,5-диил-1,4-фенилена) содержащие в полимерной цепи фрагменты 5,5'-диоксидибензотиофен-3,7'-дикарбоновой кислоты (ДБТ).

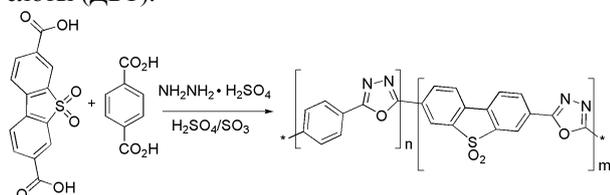


Рис. 1. Схема синтеза сополимера

Синтез сополимеров проводился по одностадийной схеме (рис. 1), аналогично реализуемой на ОАО «СветлогорскХимволокно» при получении волокна «Арселон». Совместная поликонденсация 5,5'-диоксидибензотиофен-3,7'-дикарбоновой кислоты (ДБТ), терефталевой кислоты (ТФК) и гидразин сульфата проводилась в 20%-м олеуме при температуре 100—120 °С.

Было 8 вариантов сополимеров на основе ТФК и ДБТ с различной массовой долей содержания ДБТ. Исследование механических свойств сополимеров проводилось на пленках одинаковой толщины и было показано, что введение в полимерную цепь звеньев ДБТ улучшают прочностные характеристики получаемых полимеров, а при введение 19% от массы в 5,8 раз увеличивается удлинение при разрыве. Физико-механические характеристики пленок сополимеров представлены в табл. 1.

Таблица 1. Физико-механические и огнестойкие свойства сополимеров ТФК и ДБТ

№ образца	ω(сульфона) в мон. смеси, %	Прочность на разрыв, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	КИ, %
1*	0	10,924	0,641	24,4
2	5	4,011	0,288	25,0
3	8	14,976	0,874	26,3
4	10	13,366	0,692	26,4
5	16	13,335	0,779	26,4
6	19	13,467	3,700	27,6
7	25	13,237	2,760	27,2
8	30	15,987	0,901	26,0
9	50	10,749	0,337	25,9
10**	100	—	—	—

* — гомополимер на основе ТФК; ** — гомополимер на основе ДБТ

Введение в полимерную цепь фрагментов ДБТ также приводит к повышению огнестойкости полимера. При массовой составляющей ДБТ 20—25 мас.% кислородный индекс пленок достигает максимального значения 27,2% (таблица 1).

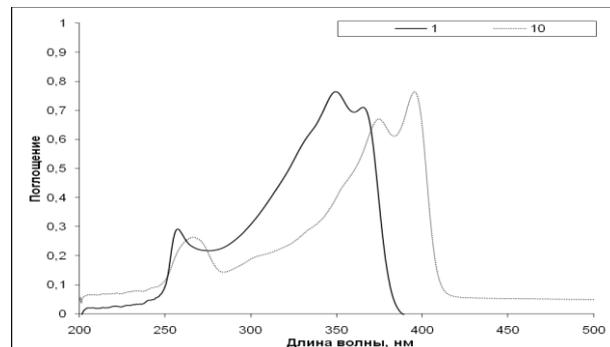


Рис. 2. УФ-спектр поглощения гомополимеров ТФК и ДБТ

Изучение УФ-спектров растворов сополимеров показало смещение максимумов поглощения в область с большей длиной волны, что может положительно сказаться на светостойкости полиоксадиазольного полимера. Дополнительные исследования по светостарению будут выполнены на соответствующем волокне.

Таким образом, введение в полимерную цепь фрагментов дибензотиофен-5,5'-диона в концентрациях 19—25%, позволяет улучшить физико-механические, огнестойкие характеристики получаемого сополимера по сравнению с гомополимером на основе терефталевой кислоты.

1. Перепелкин К.Е., Макаров Р.А., Дресвянина Е.Н., Трусова Д.Ю. // Химические волокна. — 2008, № 5, 8—14

СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция 4

Трибоматериаловедение

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ И ТРИБОЛОГИЯ
(ПОЛИКОМТРИБ-2013)

24—27 июня 2013 г., Гомель, Беларусь

INVESTIGATION OF TRIBOCONTACT OF PIEZOELECTRIC ACTUATOR

J. Padgurskas¹, A. Žunda¹, A. Andriušis¹, D. Metrikaitė¹,
V. Jankauskas¹, R. Rukuiža¹, R. Bansevicius²

¹ Institute of Power and Transport Machinery Engineering, Aleksandras Stulginskis University

² Mechatronics Centre for Research, Studies and Information, Kaunas University of Technology, Kaunas

Most of acoustic motors architecture is a friction-based drive mechanism. And understanding the static and dynamic friction phenomenon is important for how the wear can affect on motor parameters. It needs to be mentioned that acoustic motor can be characterized as high cycle, micro step and high frequency friction pair. Investigation of various materials for piezoelectric motor friction contacts is very important [1—3].

One characteristic of motors is developing the torque and rotating (sliding) speed. This characteristic depends on contact force between friction couple elements, surface roughness of these elements and material of them. Two first factors can change significantly during motor exploitation. Usually rotors surface can be performed from various materials, such as hard alloys, ceramic, steel, brass and etc. Counter body can be rubber, plastics, antifriction materials or etc.

In our Institute of Transport and Force Engineering was developed a device for investigation of acoustic rotary motor parameters (fig.).

Using this device few parameters of friction couple was identified: such as friction coefficient, torque, wear, rotating speed and dependence between some of these parameters in situ. Some of this research data are presented in this paper.

Acknowledgment: This study was funded by the Research Council of Lithuania (Project TriboPjezo, contract MIP-079/2012).

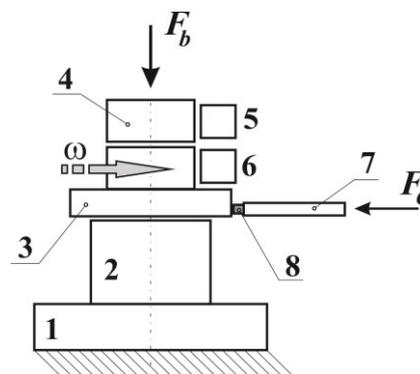


Fig. Principal scheme of piezotribometer: 1 — base of tribometer; 2 — air bearing; 3 — sample-rotor; 4 — break; 5 — torque sensor; 6 — speed sensor; 7 — piezoceramic element; 8 — frictional pin — counter body; ω — rotating direction; F_b — break force; F_c — contact force

1. Paine J.S.N., Johns M.E., Sesler J.J., Stefanick M.T., Kennedy J.A. Linear high-Force “Step and Repeat” Piezoelectric Motors. Proceedings of the 39 Aerospace Mechanisms Symposium, NASA Marshall Space Flight Center, May 7—9, 2008
2. Spaltmann D., Hartelt M., Woydt M. Triboactive materials for dry reciprocating sliding motion at ultra-high frequency // *Wear*, 2009 (266), 167—174
3. Padgurskas J., Bansevicius R., Žunda A., Rukuiža R., Andriušis A.. Investigation of the tribological properties in the piezoelectric contact // *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. New York: Allerton Press, Inc. ISSN 1068-3755. — 2013 (49), no. 5

СОВРЕМЕННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ТЕРМОПЛАСТОВ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ

В.Н. Анисимов

Украинский государственный химико-технологический университет, Днепропетровск, Украина;
vn7anisimov@ukr.net

Цель

Опыт использования полиуретановых материалов в промышленности диктовал необходимость создания композиционных материалов с широким комплексом эксплуатационных свойств. Одним из таких способов является их модификация добавками многофункционального назначения.

Объекты и методики исследований

В качестве исходных материалов были выбраны термопластичные полиуретаны на основе олигоэтиленгликольадипината молекулярной массы близкой к 2000, бутандиола и диизоцианата при соотношении ОЕГА:БД:МДИ = 1:4:5, а также полиуретана на основе олигоэтиленбутиленгликольадипината молекулярной массы близкой к 2000, бутандиола и диизоцианата при соотношении ОЕБГА:БД:МДИ = 1:3:4. Физико-механические характеристики композиционных материалов определяли по принятым методикам.

Результаты и их обсуждение

С целью повышения теплостойкости в полиуретаны вводили смолы резольного типа, например, фенолформальдегидную, нафталинформальдегидную в количестве 5—20 мас.%. Присутствие жестких фенольных и нафталиновых ароматических ядер в полимерной цепи способствует формированию структуры по принципу взаимопроникающих сеток. Это приводит к некоторому росту прочностных и других показателей, а также теплостойкости.

Кроме смол резольного типа целесообразно введение в состав полиуретановой композиции 5—10 мас.% эпоксидиановой смолы. Композиция, содержащая эпоксидиановую смолу, позволяет существенно улучшить такие свойства как адгезия, химическая стойкость, теплостойкость, диэлектрические показатели. Положительный эффект достигается за счет реализации в процессе получения и горячей переработки химического взаимодействия как между эпоксидными олигомерами и формальдегидными смолами, так и между эпоксиолигомерами и конечными непропреагировавшими изоцианатными и диольными группировками.

Недостатком данной композиции являются низкие триботехнические характеристики (интенсивность изнашивания, коэффициент трения) в условиях отсутствия внешней смазки.

Поставленную задачу удалось решить дополни-

тельным введением 5—10 мас.% тонкодисперсного порошка графита марки С1 (ГОСТ 5261-68) и приобретением композицией свойств самосмазывания. Композиция имеет удовлетворительные значения коэффициента трения и интенсивности изнашивания.

С целью улучшения реологических свойств, уменьшения чувствительности к сдвиговым напряжениям и интервалу температуры переработки с сохранением высоких прочностных и триботехнических характеристик к исходным полиуретанам кроме эпоксидных и фенольных смол, графита добавляли кубовые остатки производства высших алифатических аминов. Присутствие аминов в количестве 0,5—2 мас.% способствует, например, в полиуретане на основе ОЕБГА:БД:МДИ = 1:3:4 повышению показателя текучести расплава в 2 раза (до 23 г/10 мин).

С целью повышения термостойкости к исходным полиуретанам кроме эпоксидных и фенольных смол добавляли металлический порошок из сплава на основе меди марки ПГ-19М-01 (ТУ48-19-383-84), который состоит из 8,5—10,5 мас.% алюминия, 2—4% железа, остальное — медь. Присутствие в полиуретановой матрице металлического порошка на основе меди, железа и алюминия в количестве 5—20 мас.% обуславливает более эффективный теплоотвод и способствует условиям для самообразования тонкой сервовидной медной пленки на рабочей металлической поверхности трения.

Для нагруженных узлов трения с периодической подачей смазки или при ее отсутствии к исходным полиуретанам кроме эпоксидных и фенольных смол добавляли полиэлектролитный комплекс на основе полиакрилата натрия и поливинилбензилтриметиламмонийхлорида. Полиэлектролитный комплекс в составе полиуретановой композиции в количестве 1,5—3 мас.% способствует сосредоточению влаги на рабочей поверхности изделия. А это, в свою очередь, создает условия для образования разделяющей жидкостной пленки между поверхностями трения, в результате чего происходит резкое снижение силы трения в сопряжении, рост износостойкости.

Даны рекомендации по применению и работоспособности широкой номенклатуры изделий из разработанных материалов в условиях химических, металлургических и горнодобывающих производств.

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

А.Г. Анисович¹, В.В. Ажаронок², Л.В. Доготарь¹, В.Ф. Гологан³, Д.М. Кройтору³

¹Физико-технический институт НАН, Минск, Беларусь

² Институт физики НАН, Минск, Беларусь

³ Институт прикладной физики Республики Молдова

Исследовано влияние высокочастотной магнитно-импульсной обработки [1] на структуру и свойства электролитического покрытия хрома на Сталь 3. После МИО существенно изменяется структура покрытия (рис. 1). В исходном состоянии покрытия обладали большим количеством микротрещин и других дефектов (рис. 2, *a*), после обработки образуются сферические поры [2]. Микротвердость покрытий в результате МИО снижается [1]. МИО способствует существенному изменению уровня макронапряжений (табл. 1). Испытания на износ проводились при трении без смазки на машине возвратно поступательного движения.

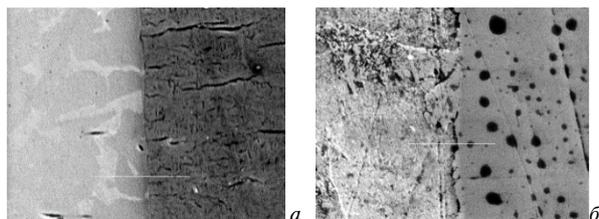


Рис. 1. Структура поверхности покрытия ($\times 312$): *a* — исходное состояние; *b* — после МИО

Таблица 1. Остаточные напряжения в покрытиях

№ обр.	Остаточные напряжения, МПа			
	Исходные значения		После МИО	
	По линии {200}	По линии {211}	По линии {200}	По линии {211}
5	1270,5	534,7	1270,5	-675,9
6	1546,7	-675,9	1546,7	-272,4
7	2375,3	-1079,5	1270,5	131,1
8	718,1	-272,4	1546,7	-474,1

a

b

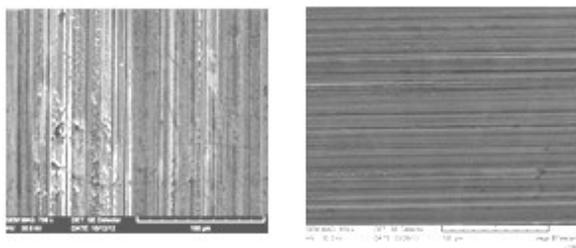


Рис. 2. Влияние МИО на границу раздела композиции сталь-покрытие: 1 — исходное состояние (обр. 2); 2, 3 — после МИО (обр. 2); 4 — после МИО (обр. 4)

МИО способствует снижению износа в 1,5—2 раза как в процессе приработки, так и при ус-

тановившемся износе (рис. 3).

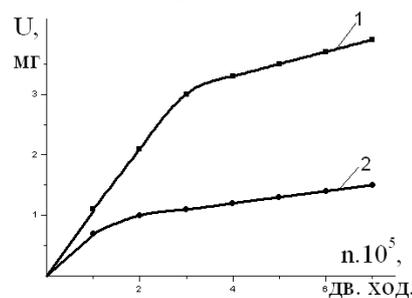


Рис. 3. Износ покрытий хрома: 1 — без МИО, 2 — с МИО

После испытаний на трение микротвердость исходного покрытия возрастала на ~ 50 , после МИО на ~ 300 кг/мм². В отсутствие МИО на поверхности трения образовывались микротрещины и вырывы частиц покрытия, у покрытий после МИО такой вид разрушения поверхности менее заметен (рис. 2). Аналогичную картину изменения поверхности трения наблюдали в [3] для сплавов БрБ2 и Д16. Снижение микротвердости в результате МИО может быть связано с повышением пластичности покрытия в магнитном поле. Основной причиной повышения пластичности является возможность генерации подвижных дислокаций в процессе механических испытаний. В соответствии с [4] при импульсных воздействиях формируются структуры с низкой плотностью дислокаций, что облегчает процесс скольжения, а также с большим количеством высокоразориентированных границ, что создает условия для зарождения новых дислокаций в процессе приложения механической нагрузки.

1. Анисович А. Г. и др. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на свойства хромовых покрытий электронная обработка материалов. — 2013, 49(2), 13—17
2. Bologa M.K., Anisovich A.G., Gologan V.F., Aharonok V.V., Bicylyuk L.V. Change of chrome electrolytic coating surface under its exposure pulse magnetic treatment. Plasma physics and plasma technology. Contributed papers of VII international conference. Minsk, Belarus, 17—21 September, 2012. — 2012 (1), 396—399
3. Здор Г.Н., Анисович А.Г., Яскович А.Г. Влияние импульсного магнитного поля на изменение износостойкости сплавов цветных металлов // Теория и практика машиностроения. — 2003, № 2, 40—43
4. Анисович А.Г., Тофпенек Р.Л., Марукович Е.И. Причины повышения пластических свойств сплавов цветных металлов при импульсных воздействиях // Проблемы машиностроения и надежности машин. — 2004, № 2, 26—30

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРА ПОРЯДКА МЕЗОГЕННОГО СМАЗОЧНОГО СЛОЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

Е.В. Березина¹, А.В. Волков¹, В.А. Годлевский², Д.С. Фомичев¹

¹Ивановский институт государственной противопожарной службы МЧС России

²Ивановский государственный университет

Поляризационная микроскопия является распространенным методом исследования фазового состояния соединений, в том числе мезоморфных структур. Она позволяет наблюдать эффекты объемного структурирования в растворах. Это дает возможность использовать данную методику и для оценки фазового состояния смазочных материалов в тонких слоях, вплоть до граничных. Обнаружение двулучепреломляющих текстур в объеме смазочного материала позволяет предполагать повышенную склонность к самоорганизации граничного смазочного слоя на поверхности. Ориентационные эффекты на молекулярном уровне, происходят не только и не столько в силу близости поверхностных атомов, сколько в результате приповерхностного сдвига.

С тем, чтобы выявлять, каким образом молекулярные ориентационные эффекты влияют на реологические свойства смазочного слоя, были предложены устройства типа «поляризационного трибометра», позволяющие использовать взаимодействие поляризованного луча света со смазочным веществом, в котором происходит сдвиг [1]. Задачей нашего эксперимента была одновременная регистрация силы трения и оптического сигнала, отражающего анизотропию смазочного материала на поляризационном трибометре оригинальной конструкции [2].

Если принять такую схему трения, когда два диска образуют трибосистему своими плоскими поверхностями при их вращении [3], можно считать, что параметр анизотропии мезогенного материала смазочного слоя («параметр порядка») пропорционален интенсивности светопропускания. Последняя, в свою очередь, зависит от среднего слоевого напряжения деформации или от крутящего момента при относительном движении поверхностей трения.

Поскольку в таком эксперименте нельзя изменить локальное сопротивление сдвигу (крутящий момент) в той области, где ведется непосредственное измерение светопропускания, то следует принять, что данный момент пропорционален некоторому усредненному моменту, который и измеряется моментом трибометра, отражая сопротивление сдвигу на всей площади смазочного слоя.

Для описания реологической картины описанной выше трибосистемы была построена математическая модель движения жидкости при установившемся течении, являющаяся следствием уравнения Навье-Стокса в цилиндрических координатах при

заданных граничных условиях. В результате решения уравнений данной модели стала возможной оценка параметра анизотропии как некоторого соотношения усредненных параметров ориентации отдельных молекул смазочного материала в состоянии покоя и вращательной составляющей анизотропии, вызванной сдвигом.

Для отработки методики поляризационной трибометрии и проверки модели в первом приближении была проведена серия экспериментов на поляризационном трибометре с вращательной схемой. В качестве тестовых объектов для испытаний нового прибора использовали два типа жидкотекучих мезогенных смазочных материалов: на масляной и водной основе с мезогенными присадками различной концентрации.

Было обнаружено, что для обоих типов модельных смазочных материалов (водного и масляного) характерно изменение фотоответа в зависимости от скорости сдвига и толщины рабочего зазора. Отклонения от ньютоновского типа течения увеличивались при снижении скорости сдвига и уменьшении толщины слоя.

При испытании разбавленных (до 5 мас.%) водных растворов ряда ионогенных ПАВ фотоответ не был обнаружен, что, возможно, говорит о недостаточной чувствительности оптико-электрической схемы. Были получены свидетельства того, что при остановке сдвигового процесса не происходит быстрого возврата интенсивности оптического сигнала к исходному состоянию. Такого рода гистерезис ориентационного эффекта может служить одной из дополнительных характеристик «мезогенности» смазочного материала и приводит к заключению о необходимости исследовать закономерности изменения оптических сигналов в переходных процессах (при пусках и остановках привода прибора).

1. Левченко В. А. Нанотрибология // Современная трибология: успехи и перспективы. — М.: Изд-во ЛКИ. — 2008, 324—325
2. Березина Е.В., Годлевский В.А., Фомичев Д.С. Корсаков М.Н. Установка для исследования оптических свойств смазочного материалов в условиях сдвига // Проблемы машиноведения: Трибология — машиностроению. Тр. Всерос. науч.-техн. конф. с участием иностр. спец. Москва, 29—31 октября 2012 г. ИМАШ РАН. — 2012 (1), 238—241
3. Березина Е.В., Годлевский В.А., Корсаков М.Н., Сандлер В.А. Поляризационный трибометр // Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. «Полимерные композиты и трибология» — ПОЛИКОМТРИБ-2011. Гомель. Беларусь. 27—30 июня 2011 г. Электр. Ресурс.

ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС ПРИ РАСЧЕТЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ СМАЗОЧНОГО СЛОЯ

Е.В. Березина¹, В.А. Годлевский², Д.С. Фомичев¹

¹Ивановский институт государственной противопожарной службы МЧС России

²Ивановский государственный университет

Следует констатировать, что к настоящему времени исследование трибосистем методами молекулярной динамики находится в зачаточном состоянии. Требуется разработать теоретические, программные и технические решения, направленные на выявление взаимосвязей между молекулярной природой смазочного материала (СМ) и его поведением при различных режимах трения [1]. Методы молекулярной динамики могут тут быть полезными в случае, если они будут способны работать с достаточно большими группами молекул. Количество частиц должно быть достаточно для отображения на нем надмолекулярных эффектов. Нами был получен опыт молекулярного моделирования трибосистемы со смазочным слоем с использованием специально разработанного программно-алгоритмического комплекса [2]. В основе расчетов лежит «оптимизационная» процедура, которая служит для поиска такой конфигурации молекулярной системы, которая соответствует минимуму ее потенциальной энергии.

Была использована оптимизационная процедура, основанная на алгоритме Полака-Райбера («сопряженных градиентов»). Расчет потенциальной энергии молекулярной системы как функции от координат атомных ядер этих молекул выполняли по методу ММ+, опирающемуся на эмпирические данные для определения силовых констант, определяющих состояние равновесия [3].

Оптимизационный процесс Полака-Райбера представляет из себя модификацию метода сопряженных градиентов. Суть его заключается в нахождении локального минимума функции на основе информации о её значениях и градиенте этой функции. Направление k -го шага спуска определяется

$$\vec{S}_k = -\nabla f(\vec{x}_k) + \omega_k \vec{S}_{k-1}, \quad \omega_k = \frac{\nabla f^T(\vec{x}_k) \cdot (\nabla f(\vec{x}_k) - \nabla f(\vec{x}_{k-1}))}{\nabla f^T(\vec{x}_{k-1}) \cdot \nabla f(\vec{x}_{k-1})}, \quad (1)$$

где S_k — вектор направления k -го шага спуска, ω_k — коэффициент для определения направления сопряженного вектора.

Для расчета взаимодействий при моделировании методом молекулярной динамики был использован метод молекулярной механики (ММ+) [3], при котором уравнение потенциальной энергии молекулярной системы имеет следующий вид:

$$E_i = U_f + U_b + U_t + U_v, \quad (2)$$

где E_i — полная потенциальная энергия системы, U_f — потенциал линейной связи, U_b — потенциал угловой связи, U_t — потенциал двугранного угла, U_v — потенциал Ван-дер-ваальсовых взаимодействий. Ниже представлены уравнения для каждого из компонентов:

1) гармоническая функция для вычисления потенциала линейной связи

$$U_f = \sum_i K_r (r^i - r_0^i)^2, \quad (3)$$

где K_r — коэффициент жесткости линейной связи, r — текущее положение частицы, r_0 — положение равновесия частицы.

2) гармоническая функция для вычисления потенциала угловой связи

$$U_b = \sum_i K_\theta (\theta^i - \theta_0^i)^2, \quad (4)$$

где K_θ — коэффициент жесткости угловой связи, θ — текущий угол поворота частицы, θ_0 — угол между тремя атомами, при котором они находятся в равновесии.

3) функция потенциала двугранного угла

$$U_t = \sum_i \frac{V_n}{2} [1 + \cos(n\phi^i - \phi_0^i)], \quad (5)$$

где V_n — силовой коэффициент двугранного угла, n — периодичность ряда Фурье, ϕ — двугранный угол, ϕ_0 — фазовый угол

4) Функции, Леннарда-Джонса (моделируют Ван-дер-Ваальсовы взаимодействия в силовом поле)

$$U_v = \sum_{i < j} \left[\frac{A_{ij}}{R_{ij}^{12}} - \frac{B_{ij}}{R_{ij}^6} \right], \quad (6)$$

где R_{ij} — расстояние между 2 несвязанными атомами, A_{ij} и B_{ij} — Ван-дер-ваальсовы параметры для взаимодействия пары атомов. Член выражения R_{ij}^{-6} описывает притяжение Лондона при дисперсионном взаимодействии двух атомов, R_{ij}^{-12} описывает отталкивание, называемое удалением Паули.

Критерием останова процедуры оптимизации является градиент полной энергии системы, являющийся первой производной полной энергии по всем трем осям для каждого атома.

1. Березина Е.В., Годлевский В.А., Кузнецов. Оценка супрамолекулярной самоорганизации смазочного материала в зоне трения методом компьютерного молекулярного моделирования // Тез. докл. междунауч.-техн. конф. «Полимерные композиты и трибология» — ПОЛИКОМТРИБ-2011. Гомель, Беларусь, 27—30 июня 2011 г.
2. Березина Е.В., Годлевский В.А., Кузнецов С.А. Программный комплекс для компьютерного молекулярного моделирования граничных смазочных слоев // Трение и износ. — 2012 (33), № 1, 585—592
3. Haile J.M. Molecular Dynamics Simulation: Elementary methods. — J. Wiley&Sons. — 1997

КИНЕТИКА ИЗНАШИВАНИЯ ШАРИКОВ В ЧЕТЫРЕХШАРИКОВОЙ МАШИНЕ ТРЕНИЯ В ПРИСУТСТВИИ ЖИДКОГО И КОНСИСТЕНТНОГО СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА

С.Б. Булгаревич, М.В. Бойко, К.С. Лебединский, Д.Ю. Марченко

ФГБОУ ВПО РГУПС, Ростов-на-Дону, Россия; bulgarevich@rambler.ru

Стандартной оценкой качества смазочного материала является средний диаметр пятна износа на четырехшариковой машине трения согласно ГОСТ 9490-76. При стандартном испытании зависимость площади пятна износа от времени не рассматривается. Мы полагаем, что для понимания сущности процесса износа изучение кинетики износа совершенно необходимо. Проведены кинетические испытания зависимости диаметра пятна износа от времени на четырехшариковой машине трения. В качестве кинетической модели исходили из теории механоактивации трущихся тел [1—3], согласно которой скорость w реакции механоактивации при граничном или смешанном трениях описываются уравнением (1):

$$w = kC_1C_2, \quad (1)$$

где k — константа скорости; C_1 и C_2 — поверхностные концентрации шероховатостей на теле и контртеле, входящие в непосредственный контакт. Рассматривалась область фрикционного взаимодействия, в которой устанавливаются равновесные шероховатости ($C_i = \text{const}$). Тогда из (1) получаем (2):

$$\frac{dS}{d\tau} = KS^2. \quad (2)$$

Здесь S — номинальная площадь соприкосновения тела и контртела, τ — текущее время, K — константа скорости процесса. Производная в левой части уравнения (2) описывает скорость реакции истирания трущихся тел пропорциональную квадрату площади их контакта. Полагаем, что при каждом проходе уносится слой примерно одинаковой толщины, тогда правая часть уравнения (2) пропорциональна числу частиц, которые производятся при трении. Левая часть (2) описывает прибыль номинальной площади контакта трущихся тел. Решение (3) соответствует катастрофическому росту поверхности истирания:

$$S = \frac{S_0}{1 - S_0 K \tau}, \quad (3)$$

где S_0 — начальная площадь номинального пятна контакта. Из (3) следует критическое время $\tau_{\text{едсо}} = \frac{1}{kS_0}$, при приближении к которому площадь контакта $S \rightarrow \infty$. Это время условно и соответствует шарикам бесконечных размеров. Эта характе-

ристика может служить мерой качества смазочного материала, т.к. указывает на время, при приближении к которому износ гиперболически растет.

Проведены испытания ряда масел и смазок, представленные в табл. 1. На кривых $S = S(\tau)$ обнаруживается два участка. Первый относится к режиму приработки и продолжается до 10 минут в зависимости от сорта смазочной среды. Второй, начинающийся с излома первой кривой, и продолжается вплоть до конечного времени испытания. Кинетическая обработка для уравнения (2) проводилась для второго участка, находились величины K , $\tau_{\text{крит}}$ и $\tau_{1/2}$. Величина $\tau_{1/2}$ соответствует истиранию шарика наполовину.

Таблица 1. Испытание масел и смазок

Состав смазочной среды	$K, \text{ м}^{-2}\text{с}^{-1}$	$\tau_{\text{крит}}, \text{ мин}$	$\tau_{1/2}, \text{ мин}$	$d, \text{ мм}$
Трансформаторное масло	28555	320,6	320,6	0,77
Нерафинированное подсолнечное масло	51097	142,7	142,7	0,70
Литиевая смазка на стеариновой кислоте	75388	156,1	156,1	0,88
Литиевая смазка на стеариновой кислоте с 3% янтарной кислоты	47706	345,5	345,5	0,44

Размер пятна контакта по окончании опыта, в соответствии с ГОСТ, не коррелирует с $\tau_{\text{крит}}$ и $\tau_{1/2}$. Полагаем, что $\tau_{\text{крит}}$ и $\tau_{1/2}$ являются более адекватными характеристиками качества смазки. В частности, для нерафинированного подсолнечного масла и смазки со стеариновой кислотой несмотря не то, что пятно контакта по ГОСТ для последнего больше, его критические характеристики несколько лучше. С добавлением янтарной кислоты и критические характеристики и пятно контакта становятся лучше по сравнению с остальными изученными смазочными средами. Таким образом, янтарная кислота как присадка является эффективной для предотвращения износа.

1. Колесников В.И., Булгаревич С.Б., Бойко М.В., Фейзова В.А. Механоактивация при фрикционных взаимодействиях и законы трения скольжения и качения // Трение и износ. — 2011 (32), № 6, 489—495
2. Булгаревич С.Б., Бойко М.В., Тарасова Е.Н., Фейзова В.А., Лебединский К.С. Кинетика механоактивации трибохимических процессов // Трение и износ. — 2012 (33), № 5, 473—485
3. Булгаревич С.Б., Бойко М.В., Фейзова В.А., Тарасова Е.Н. Механоактивация трибохимических процессов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. — 2011 (44), № 4, 178—189

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОРГАНОПЛАСТИКОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИОКСАДИАЗОЛЬНОГО ВОЛОКНА

А.И. Буря, Н.Г. Черкасова, Н.В. Ильюшенко

Украинская Технологическая Академия, Днепропетровск, Украина; ol.burva@gmail.com

Введение

Одним из путей повышения надежности и долговечности машин и механизмов, снижения их металлоемкости, является использование износостойких, высокопрочных полимерных композиционных материалов. К таким материалам можно отнести композиты на основе полимерной матрицы, армированной термостойкими органическими волокнами. Использование хаотической схемы армирования, помимо определенных преимуществ, позволяет также в качестве армирующего наполнителя использовать не только кондиционные волокна, но и различные виды некондиционной продукции волоконного производства, что расширяет сырьевую базу разработок, позволяет снизить стоимость органо-пластиков (ОП) и решать проблему по рациональной утилизации биологически неразлагаемых отходов.

Цель

В работе исследовались физико-механические, трибологические и теплофизические свойства ОП на основе фенолформальдегидного связующего и некондиционного (путанка) полиоксиадиазольного волокна оксалон.

Материалы и методы

Для проведения исследований из отпрессованных пластин вырезались стандартные образцы в трех взаимно-перпендикулярных направлениях. Сравнение прочностных характеристик ОП при сжатии в различных направлениях показало, что максимальной прочностью и модулем упругости обладает материал в направлении z , совпадающем с направлением прессования, а их наименьшие значения зафиксированы в направлении x (табл. 1).

Таблица 1. Прочностные характеристики органо-пластика при сжатии

Направление	Разрушающее напряжение, МПа	Относительная деформация при разрушении, %	Модуль упругости, МПа	Работа разрушения, кДж
x	70	5,9	133	0,275
y	85	6,8	105	0,320
z	120	13,5	156	0,089

Величина ударной вязкости образцов в направлении z составляла 27—30, в направлении x — 7,7—11,6 кДж/м². Разрушающее напряжение при изгибе — 53—54 МПа (модуль упругости $E_u = 2,5—2,6 \cdot 10^3$ МПа) — в направлении x и 73—74 МПа — в направлении прессования. Тепло-

стойкость по Мартенсу во всех трех направлениях имела значения 458—463 К, твердость материала соответствовала 111—112 H_R .

Анализ теплофизических характеристик ОП (коэффициент теплопроводности — 0,203 Вт/м·К, температуропроводность — $0,950 \cdot 10^{-7}$ м²/с, удельная теплоемкость — 1759 Дж/кг·К) указывает на хорошую тепло- и температуропроводность материала, что обеспечивает диссипацию тепла из зоны трения и способствует повышению износостойкости композита.

Таблица 2. Технические характеристики органо-пластика

Показатели	Направление	Давление, МПа			
		2,5	5	7,5	10
Коэффициент трения	x	0,103	0,094	0,089	0,088
	z	0,094	0,107	0,103	0,089
Линейный износ, $м \cdot 10^{-6}$	x	6	12	37	93
	z	2	25	33	42
Интенсивность линейного износа, $м \cdot 10^{-9}$	x	2	4	12	31
	z	0,7	8,3	11,0	14,0
Изменение массы, $кг \cdot 10^{-6}$	x	+2	+1	-1	-5
	z	+1,1	+1,5	+2,0	-2,1

Исследования триботехнических характеристик материала в условиях смазки водой в диапазоне удельных нагрузок 2,5—10,0 МПа при скорости скольжения 0,8 м/с, свидетельствуют о том, что коэффициент трения ОП имеет достаточно низкие значения (0,09—0,11) во всем диапазоне нагрузок, износостойкость же материала с увеличением давления с 5 до 10 МПа уменьшается в 1,7 раза в направлении прессования, в то время как для других направлений в аналогичных условиях — в 7—8 раз. Пластик показал также довольно высокую абразивостойкость. При нагрузке 14 Н, частоте вращения 60 мин⁻¹, числе циклов — 600, абразиве — электрокорунд №16-Н, массовый абразивный износ составил $103,6 \cdot 10^{-6}$ кг

Заключение

Таким образом, проведенные исследования позволили установить пределы работоспособности ОП на основе фенолформальдегидной матрицы и отходов производства волокна оксалон, определить области применения материала как конструкционного. Показано, что наиболее высокие прочностные характеристики и износостойкость характерны для материала в направлении прессования. Исследуемый ОП рекомендован для использования в качестве деталей антифрикционного назначения при смазке водой в интервале PV от 2 до 8 МПа·м/с.

ВЛИЯНИЕ СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ НА ТРЕНИЕ СТАЛИ ПО КОМПОЗИЦИОННОМУ ПОКРЫТИЮ КЕРАМИКА + МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ УГЛЕРОД

И.А. Буяновский¹, А.Н. Большаков¹, В.А. Левченко², В.Н. Матвеевко²

¹Институт машиноведения РАН, Москва, Россия; buyan37@mail.ru

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Цель

Целью предлагаемой работы является выявление влияния различных смазочных масел на антифрикционные свойства специально синтезированных нанокomпозиционных покрытий керамика + монокристаллический углерод (м-углерод). Ранее установлено, что покрытие м-углеродом обеспечивает при граничной смазке образование высокоупорядоченного граничного слоя, имеющего высокую температурную стойкость и хорошие антифрикционные свойства [1].

Материалы и методика

Исследовали антифрикционные свойства двух масел: минерального И-20 и синтетического (полиальфаолефинового) ПАОМ-4. Испытания проводили на машине трения возвратно-поступательного движения ВП-1, осуществляющей трение неподвижного цилиндра (стандартного роликоподшипникового ролика диаметром 8 мм из стали ШХ-15) и возвратно-поступательно перемещаемой пластины (также из закалённой стали ШХ-15) в направлении, перпендикулярном образующей ролика [2]. Оправка с верхним образцом подвешена на пружинах, и их деформацию при трении регистрируют с помощью механотронного датчика.

На рабочую поверхность пластины наносили исследуемое покрытие, получаемое путём синтеза нанокomпозиционных покрытий «керамика + монокристаллический углерод» с использованием на первом этапе процесса системы газозафазного синтеза керамики на установке динамической металлизации Димет-4 и на втором — ионно-плазменного осаждения (поверх керамического покрытия) наноструктурированного монокристаллического углерода [3]. Толщина полученного комбинированным методом композиционного покрытия составляла 3—4 мкм (включая слой м-углерода толщиной 1 мкм). Твердость композиционного материала составляла $HV = 24$ ГПа.

Для сравнения испытывали исследуемые масла также при трении роликов по закалённой пластине из стали ШХ-15, но без покрытия.

Режим испытания на машине возвратно-поступательного движения: частота осцилляции 60 мин^{-1} , нагрузки варьируются от 12,5 до 37,5 Н, продолжительность испытаний при каждой нагрузке — 60 мин. Каждые 10 минут регистрировали величину момента трения.

Результаты эксперимента

Результаты испытаний представляли в виде зависимостей коэффициентов трения от продолжительности испытаний. Во всех случаях коэффициенты трения мало зависят от продолжительности испытаний. При трении стали по покрытию коэффициенты трения в исследуемом интервале нагрузок для обеих смазочных сред заметно ниже, чем при трении стали по стали. Соответственно, износ и пластины и ролика при трении стали по стали выше, чем износ при трении по покрытию. На рис. 1 приведены эти зависимости для всех сравниваемых сочетаний масел и материалов при нагрузке 25 Н.

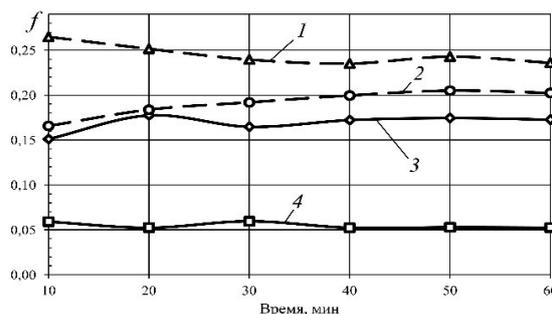


Рис. 1. Зависимости $f = f(t)$ при нагрузке 25 Н со смазкой: 1 и 3 — масло И-20; 2 и 4 — масло ПАОМ-4; 1 и 2 — сталь без покрытия; 3 и 4 — сталь с композиционным покрытием

Продолжительность испытаний не оказывает значительного влияния на значения коэффициента трения, что позволяет утверждать, что на протяжении всего процесса испытаний механизм трибологического процесса остаётся постоянным.

Таким образом, исследуемое композиционное покрытие повышает смазочную способность и синтетического и минерального масел.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 11-08-00519-а).

- Буяновский И.А., Игнатъева З.В., Левченко В.А., Матвеевко В.Н. Ориентационная упорядоченность граничных слоёв и смазочная способность масел // Трение и износ. — 2008 (29), № 4, 375—381
- Большаков А.Н., Буяновский И.А., Игнатъева З.В. и др. Лабораторные трибологические испытания тонких покрытий в смазочных средах // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2011, № 11, 27—31
- Levchenko V.A., Matveenko V.N., Buyanovsky I.A., Ignatieva Z.V. New type of nanocomposite coatings. In.: Intern. Tribology Conf., Hiroshima 2011, Oct. 30—Nov. 3. — 2011, Hiroshima, Japan, ITC D4-11

ВЛИЯНИЕ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ СТРУКТУРИРОВАННОГО УГЛЕРОДА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИАМИДНЫХ ПОКРЫТИЙ

А.М. Валенков

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

В современном полимерном материаловедении все возрастающий интерес проявляется к разработкам новых композиционных составов для получения защитных покрытий поверхности деталей узлов трибосопряжения. Однако, при формировании такого рода покрытий, эксплуатируемых в условиях высоких нагрузок и знакопеременных температур, возникает необходимость в улучшении их механических и триботехнических характеристик, что может достигаться введением в базовую полимерную матрицу различных наполнителей и в частности частиц структурированного углерода. При этом необходимым условием успешного сочетания углеродных частиц и полимерной матрицы является не только максимально однородное распределение наполнителя в объеме связующего, но и реализации физико-химического взаимодействия между компонентами композиционной системы [1]. Решением данной проблемы может явиться предварительное модифицирование поверхности вводимого наполнителя.

Целью работы явилось исследование влияния плазмохимической обработки поверхности полидисперсных частиц углерода на механические и триботехнические характеристики полиамидных покрытий.

Материалы и методы исследований

В качестве наполнителя использовали полидисперсные частицы структурированного углерода ТУ ВУ 690654933.001-2011, полученные в плазме высоковольтного разряда атмосферного давления, по способу описанного в [2]. Плазмохимическую обработку поверхности частиц структурированного углерода проводили в вакуумной установке при давлении 50 Па. Для возбуждения низкотемпературной плазмы использовали высокочастотный электрический разряд (5,47 МГц). В качестве плазмообразующей среды применяли кислород, озон, диоксид углерода и уксусный ангидрид. В качестве полимерного связующего применяли порошокобразный полиамид-6 с размером частиц не более 200 мкм, полученный криогенным измельчением гранулированного продукта ОСТ 6-06-09-83. По-

крытия получали путем погружения в псевдооживленный слой порошковой смесевой композиции металлических подложек, изготовленных из стали марки 45, предварительно нагретых до температуры 270 °С. Спекание композиции до получения сплошного покрытия на металлической поверхности осуществляли в электропечи СНОЛ при температуре 240 °С в течение 5 минут.

Механические характеристики композитов исследовали на автоматизированном стенде INSTRON 5567 (Великобритания) по стандартной методике (ГОСТ 11262-80) при скорости перемещения подвижных захватов 50 мм/мин.

Триботехнические характеристики покрытий исследовали на возвратно-поступательном микро-трибометре МТУ-2К7 (ИММС НАНБ Беларусь) без смазки при нагрузке 750 мН. В качестве контртела использовали шарик из стали ШХ15.

Результаты и их обсуждение

В результате проведенного исследования, установлено, что последовательная плазмохимическая обработка поверхности полидисперсных частиц структурирующего углерода в среде озона и уксусного ангидрида позволяет повысить деформационно-прочностные и триботехнические характеристики полиамидных покрытий, прежде всего за счет улучшения адсорбционного взаимодействия между модифицированной поверхностью частиц наполнителя и проходных цепей в аморфных областях полимерной матрицы. При этом сопряжение компонентов композиции не сопровождается образованием общих ковалентных связей, а обусловлено вандер-ваальсовым взаимодействием.

1. Valenkov A.M., Gofman I.V., Nosov K.S., Shapovalov V.M., Yudin V.E. Polymer composite systems modified with allotropic forms of carbon (review) // Russian of Applied Chemistry. — 2011 (84), no. 5, 735—750
2. Способ получения углеродного наноматериала: пат. 10010 Респ. Беларусь, МПК 2006 D 01F 9/12, C01B 31/00, B82B 3/00 / С.А. Жданок, А.П. Солнцев, А.В. Крауклис, И.Ф. Буяков; заявитель ГНУ Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова — № а 20050321; заявл. 31.03.05; опубл. 30.12.06 // Афіцыйны бюл. / Нац. Цэнтр інтэлектуал. Уласн., 2006

АДАПТИВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ СТРУКТУРНО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ПРИСПОСОБЛЯЕМОСТИ СИЛИКАТНЫХ ПОКРЫТИЙ

К.Н. Долгополов, Д.Н. Любимов, Е.А. Глазунова

ООО Инжиниринговый центр «Любимов и компания», Сургут, Россия;
rostexx@rambler.ru, kir-tribotex@yandex.ru

При производстве полимерных и смазочных материалов широкое применение получили минералы класса слоистых силикатов, позволяющие создавать композиции с уникальными барьерными свойствами. Наряду с изученными вопросами триботехнической применимости минералов и механизмов формирования ими защитных пленок, факторы деградации их структуры не были до конца выявлены. Решение этой проблемы позволит рационализировать подбор материалов пар трения и условий их эксплуатации для обеспечения высоких значений показателей надежности трибосопряжений.

Цель состоит в экспериментальном исследовании механизмов реорганизации структурных дефектов защитного покрытия, формируемого на поверхностях трения минералами класса слоистых силикатов — серпентинов.

Материалы и методы. Испытания проведены в условиях сухого трения на четырехшариковой машине при различных скоростях скольжения и нагрузках, а также граничного трения на трибометре торцевого типа на сталях 60Г-70Г по схеме «палец-диск». Для испытаний применялись минеральная паста порошка лизардита, дисперсностью менее 10 мкм, и вазелинового масла, а также суспензия его в масле И-20А. Приведены трибограммы и фотографии пятен износа. Рентгеноспектральные исследования выполнены на рентгеновском фотоэлектронном микрозонде ESCALAB 250.

Результаты и их обсуждение. Установлено, что при однократном смазывании рабочего участка вращающегося шарика минеральной пастой, образующаяся на ней защитная пленка обладает высокой адгезией к поверхности металла, но обеспечивает стабильно высокие значения коэффициента трения близкие к сухому трению шариков. Дано описание геометрических особенностей различно окрашенных участков пленки. Пленка при нагрузке 59 Н и частоте вращения 580 об/мин работоспособна в течение 4,5 часов. Заедание необработанных металлических шариков наступает через 28 минут испытаний. Установлено, что главным фактором разрушения пленки является фрикционный разогрев, на который основополагающее влияние оказывает скорость скольжения. Выводы, сделанные о механизмах деструкции материала защитного покрытия, построены на основании анализа спектров Mg1s и C1s-уровней различно окрашенных участков пленки. Данные выводы соотносятся с опубликованными в работах [1, 2] сведениями о химических и струк-

турных особенностях материала минерального покрытия. Установлено, что в результате тепловых процессов и усадки материала пленки в процессе ее образования, как тонкий поверхностный слой, так и межфазная граница с подложкой металла пересыщаются дефектами типа пор, стержней, прорастающих за легированный слой, вызывающих перенапряжение его структуры и развитие трещин с поверхности вглубь пленки [3]. Показано, что доминирующей примесью, промотирующей ослабление материала покрытия является углерод, с увеличением содержания которого растет его дефектность [4]. Смазочная среда с низкой термоокислительной стабильностью способна не только нивелировать износ пары трения, но при использовании силикатов в условиях граничной смазки провоцировать износ образуемых ими покрытий. По поверхностным химическим соединениям определен температурный диапазон генерирования пленок. Отслежен механизм конкурирующего влияния элементов трибосистемы (Fe, Mg, C, O) на окислительно-восстановительные процессы при трении с участием минералов. Проиллюстрирована цепочка эволюции материала покрытия. Обосновывается предположение, что для силикатных пленок большое влияние играют скорости скольжения, таким образом, что не высокие скорости в условиях трения приводят к схлопыванию и залечиванию поверхностных и подповерхностных трещин, пор и т.д., а высокие обуславливают их образование и появление неустойчивостей (скачков) в работе трибосопряжения.

Выводы. Рекомендуется использовать минералы для сталей с не высоким содержанием углерода при сухом трении в условиях высоких нагрузок и малых скоростей скольжения, или в условиях граничного трения со смазочным материалом имеющим хорошую стойкость к термодеструкции.

1. Любимов Д.Н. и др. Улучшение эксплуатационных свойств смазочных материалов применением добавок глинистых минералов // Трение и износ. — 2011 (32), № 6, 489—499
2. Долгополов К.Н., Любимов Д.Н. и др. Трибохимические аспекты взаимодействия высокодисперсных частиц серпентинов с металлической поверхностью трения // Трение и износ. — 2012 (33), № 2, 90—97
3. Титов В.В. Роль механических напряжений при легировании материалов с помощью ионных пучков // Препринт ИАЭ — 3774/11. — М.: Институт атомной энергии им. И.В. Курчатова. — 1983
4. Ingason A.S., Eriksson A.K., Lewin E., Jensen J., Olafsson S. Growth and structural properties of Mg:C thin films prepared by magnetron sputtering // Elsevier: Thin Solid Films. — 2010 (518), 4225—4230

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ Cu И Al, АРМИРОВАННЫХ СВЕРХУПРУГИМИ ТВЕРДЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ ЧАСТИЦАМИ, ПОЛУЧЕННЫМИ ИЗ ФУЛЛЕРЕНОВ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Е.И. Дроздова¹, И.Н. Потапова¹, О.П. Черногорова¹, Е.А. Екимов²

¹Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия; drozdova@imet.ac.ru

²Институт физики высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина РАН, Троицк, Московская обл., Россия

Электротехнические материалы, такие как желонангруженные скользящие контакты, помимо высокой электропроводности, должны обладать стойкостью к истирающим нагрузкам при сухом трении, антифрикционными свойствами и коррозионной стойкостью. К числу материалов, сочетающих высокую износостойкость с низким коэффициентом трения, относятся металломатричные композиционные материалы (КМ), армированные частицами сверхупругого твердого углерода, полученного при распаде фуллереновых молекул под давлением [1, 2].

Трибологические свойства по контртелу из стали марки ШХ 15 (HRC 62—64) и сопротивление абразивному изнашиванию (по абразиву зернистостью 18 мкм, длина пути 9 м) исследованы с помощью универсальной установки CETR по схеме «палец-диск» при круговом движении. Все эксперименты проводили при постоянной скорости 0,15 м/сек. в диапазоне давлений от 10 до 50 Па.

Металломатричные КМ синтезированы из порошков Cu и сплава на основе Al (Al25, Al-Si-Cu) с 5 и 10 вес.% фуллеренов. Высокотемпературная обработка смесей реагентов под давлением обеспечивала коллапс фуллереновых молекул и превращение фуллеренов в частицы сверхупругой твердой углеродной фазы. По данным измерительного индентирования с записью кривых нагружения и разгружения, эта фаза характеризуется следующими свойствами: твердость $H = 12—35$ ГПа, модуль Юнга $E = 70—190$ ГПа, упругое восстановление при индентировании $R > 88\%$. Характерное свойство углеродных частиц — высокая степень упругого восстановления выражается в отсутствии отпечатка после микроиндентирования.

Установлено, что армирование меди сверхуп-

ругими твердыми частицами, полученными из фуллеренов, при незначительном снижении коэффициента трения (с 0,30 до 0,27) повышает износостойкость в 7—11 раз, соответственно по отношению к износостойкости и коэффициенту трения матричного металла. Армирование сплава Al25 частицами сверхупругого твердого углерода, полученного из фуллеренов, повышает износостойкость в 3—5 раз при снижении коэффициента трения в 2,4—4 раза (с 0,56 до 0,17—0,14, соответственно).

Электросопротивление КМ на основе меди, армированного сверхупругими твердыми углеродными частицами, составляет $1,7 \cdot 10^{-6}$ Ом·см, что в пределах ошибки измерения (15%) соответствует электропроводности меди.

Таким образом, сверхупругие твердые углеродные частицы являются уникальным армирующим материалом, обеспечивающим эффект одновременного повышения износостойкости и снижения коэффициента трения металломатричных композитов на основе меди и алюминия при незначительном повышении электросопротивления для композитов (до 15% с медной матрицей).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (№12-03-00568-а, № 12-03-31282-мол.-а).

1. Банных О.А., Овчинникова И.Н., Черногорова О.П., Дроздова Е.И., Сиротинкин В.П. Структура и особенности разрушения сверхупругих твердых углеродных материалов, полученных из фуллеритов под давлением // *Металлы*. — 2011, № 5, 10—16
2. Chernogorova O., Drozdova E., Ovchinnikova I., Soldatov A., Ekimov E. Structure and properties of superelastic hard carbon phase created in fullerene-metal composites by high temperature-high pressure treatment // *Journal of Applied Physics*. — 2012, 111, 112601-112605-5

СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ БИНАРНОЙ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОРАЗМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ

В.И. Жорник, А.В. Ивахник

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь; zhornik@inmash.bas-net.by

Свойства пластичного смазочного материала (ПСМ) зависят, в первую очередь, от основных его компонентов: дисперсионной среды (масла) и дисперсной фазы (ДФ). Двухфазная композиция — дисперсионная среда и дисперсная фаза — составляют так называемую базовую смазку, свойства которой могут улучшаться за счет применения функциональных присадок и добавок, вводимых обычно на стадии охлаждения смазочного материала. Наибольшее распространение в качестве загустителя ПСМ получили соли высокомолекулярных кислот.

К числу эффективных модификаторов смазочных материалов (СМ) относится наноразмерная алмазосодержащая шихта (АШ) детонационного синтеза [1]. Однако введение наноразмерных добавок в ПСМ представляет значительную технологическую сложность, что связано с характерной трехмерной структурой ДФ пластичных смазок и склонностью частиц АШ к агрегированию.

Формирование структуры пластичной смазки в общем случае проходит в две стадии: а) образование первичных мицелл (центров кристаллизации), их рост и развитие до макроассоциатов определенных размеров; б) взаимодействие образующихся дисперсных макроассоциатов друг с другом с образованием трехмерного структурного каркаса.

При введении АШ в ПСМ на стадии охлаждения после образования его структурного каркаса наночастицы добавки остаются свободно мигрирующими в дисперсионной среде с возможностью объединяться в крупные агрегаты. Модифицированный подобным образом ПСМ характеризуется низкой коллоидной стабильностью, невысокими антифрикционными и противозадирными свойствами и не отличается длительной работоспособностью. В трибосопрежении дисперсная фаза смазки испытывает в зоне трения интенсивное деструктурирующее воздействие, в результате которого происходит разрушение ее длиноволокнистой структуры. При этом частицы АШ, незакрепленные в структурном каркасе, склонны к коагуляции с образованием твердых абразивных конгломератов.

В работе [2] предложен способ получения пластичной смазки, модифицированной наноразмерными добавками, в котором модификатор вводится в дисперсионную среду до начала процесса кристаллизации ДФ. В этом случае формирование структурного каркаса протекает с участием наночастиц добавки. После введения и расплавления высокомолекулярной кислоты происходит осаждение ее молекул на частицах наноразмерной добавки за счет

физико-химических и сорбционных процессов, обусловленных структурирующим действием электростатических полей, вызванных наличием нескомпенсированного заряда на поверхности частиц АШ. При этом происходит образование изотропного расплава в виде частиц АШ с присоединенными к ним молекулами кислоты и несвязанных молекул кислоты. В процессе омыления реакция нейтрализации идет с участием несвязанных молекул кислоты и молекул кислоты, осажденных на поверхности частиц АШ, а гелеобразование протекает уже не только между отдельными молекулами мыла (золями), но и с участием наночастиц добавки благодаря связанным с ними молекулам мыла. Частицы АШ покрываются оболочкой структурированных солей, и дальнейший рост волокон дисперсной фазы идет от их поверхности. В результате происходит пространственная сшивка волокон структурного каркаса узловыми образованиями, содержащими наночастицы АШ, и формируется более разветвленный бинарный каркас из частиц АШ и коротковолокнистых нитей, образованных солями высокомолекулярных кислот, который характеризуется большей прочностью и маслоудерживающей способностью. Наночастицы добавки оказываются имплантированными в структуру дисперсной фазы (каркас из молекул мыла), а не остаются в дисперсионной среде, что предотвращает их агрегатирование и седиментацию в смазочном материале.

Наиболее эффективно процесс модифицирования нанодобавками протекает в случае формирования дисперсной фазы на основе комплексных солей, поскольку они имеют геометрические размеры элементов первичной структуры дисперсной фазы, сопоставимые с размерами частиц АШ.

Повышение триботехнических свойств трещионного сопряжения с ПСМ, имеющим бинарную ДФ, обусловлено как улучшением свойств самого СМ (повышенную коллоидную стабильность, термостойкость, нагрузочную способность), так и упрочнением поверхностных слоев элементов пары трения за счет их интенсивного пластического деформирования в процессе трения под воздействием наноразмерных частиц АШ.

1. Долматов В.Ю. Детонационные наноалмазы. Получение, свойства, применение. — Санкт-Петербург: НПО «Профессионал». — 2011
2. Пластичная комплексная литиевая смазка и способ ее получения: патент 13722 Респ. Беларусь. Б.И. № 3 от 30.10.2010 / Жорник В.И., Ивахник А.В.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОЛИГОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ТРУБ НА ГИДРОАБРАЗИВНЫЙ ИЗНОС И ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ РАСЧЁТА ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПО ДАННЫМ СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЗАНИЮ

В.В. Коврига¹, А.А. Шмелёв¹, Е.М. Желваков¹,
А.Л. Качалина², И.В. Зайчикова³, С.С. Пендик³

¹ООО «группа Полимертепло»

²ОАО «Институт пластмасс Г.С. Петрова»

³ООО «НПП «Полипластик»

Полимерные трубопроводы для воды и газа имеют хорошо разработанную систему определения рабочего ресурса, который составляет сегодня не менее 50 лет. Применение полиэтиленовых труб в пульпопроводах, где определяющим является износ материала, в настоящее время не обеспечено научно-обоснованной системой определения рабочего ресурса. Целью настоящей работы является разработка основных положений и системы методов испытаний, необходимых для расчёта рабочего ресурса пульпопроводов. Поскольку определяющим видом износа пульпопроводов является гидроабразивный износ, система оценки складывается из трёх элементов:

– Оценка износостойкости исходных материалов. Оценка проводится традиционными методами испытания на абразивный износ, а именно износом по свежей шкурке, определением износостойкости на колесе Табера и оценкой сопротивления абразивному износу на не закреплённом абразиве, на приборе Бёма. По результатам этих испытаний проводится построение сравнительных рядов износостойкости материалов.

– Исследование температурных зависимостей сопротивления резанию показало, что сопротивление резанию в строго определённых условиях для различных видов полимерных трубных материалов меняется с различной интенсивностью. Поэтому от-

носительный ряд износостойкости меняется в зависимости от диапазона температур, в котором используются пульпопроводы.

Помимо испытаний материалов в систему входят испытания труб на гидроабразивный износ, согласно дармштадскому методу и японской методике абразивного износа труб при подаче пульпы на вращающийся в трубе ротор. Эти испытания позволяют оценить износостойкость при долговременном износе, и часто используется для оценки рабочего ресурса пульпопроводов.

Наиболее уязвимым для износа элементом пульпопровода являются отводы. В них изнашивание происходит при различных углах атаки гидроабразивной струи на поверхность полимерного материала. Поэтому система включает испытательные элементы, позволяющие оценить влияние угла атаки на гидроабразивный износ отвода. Отмечено, что в ряде случаев по мере изнашивания происходит возрастание угла атаки до критических значений. Поскольку система оценки рабочего ресурса пульпопроводов исключительно важна для надёжного применения полимерных трубопроводов, как в добывающих, так и в перерабатывающих отраслях промышленности, авторы надеются на заинтересованное обсуждение ситуации с участниками конференции.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ГЕРМЕТИЗИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА, ОПТИМИЗИРОВАННОЙ ПО КРИТЕРИЯМ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ИЗНОСА

О.В. Кропотин

Омский государственный технический университет, Россия; kropotin@mail.ru

Цель

Проектирование конструкции радиального герметизирующего устройства с вращательным движением уплотняемой поверхности, которое защищает полость с рабочей жидкостью от попадания пыли, грязи и воды из окружающей среды.

Материалы и методы

При разработке конструкции герметизирующего устройства (ГУ) исследовалось пространство параметров, набор пробных точек для которого был сформирован с применением ЛП-последовательностей [1]. Количество варьируемых геометрических параметров — 6. Выбранные критерии качества: Δm — массовый износ уплотняющего элемента; P_{\min}/P_{\max} — отношение минимального и максимального значения контактного давления на уплотняемой поверхности; $PL = \int Pdl$ — интеграл по уплотняемой поверхности от контактного давления на участках уплотняемой поверхности, на которых значение контактного давления превышает минимальное (по условиям герметизации). Функциональное ограничение: $\Delta l/a_3 = 1$, где $\Delta l/a_3$ — отношение суммарной длины участков уплотняемой поверхности, на которых значение контактного давления превышает минимальное, к длине уплотняемой поверхности. На каждом этапе расчетов, который характеризуется соответствующим значением пути трения, решали задачу напряженно-деформированного состояния уплотняющего и силового элементов, получали распределение контактного давления по уплотняемой поверхности. Учет деформации и массового износа в процессе фрикционного взаимодействия проводили по следующей схеме: после определенного количества циклов вращательного движения (интервала времени эксплуатации) уплотняемой поверхности вала изменяли геометрические параметры уплотняющего элемента в соответствии с результатами расчетов линейного износа, полагая величину износа пропорциональной контактному давлению и интенсивности изнашивания, рассчитанной на единицу контактного давления и определенной для этапа приработки и этапа установившегося трения. Исследовалось 32 точки в пространстве параметров, на последующих этапах оптимизации дополнительно исследовалось 8 точек вблизи точки, признанной оптимальной по результатам первой итерации.

Результаты и их обсуждение

В результате проведенного имитационного моделирования на разработанной конечно-элементной

модели определены приближенно эффективные точки, выполнен расчет массового износа, формоизменения, параметров контактного взаимодействия и напряженно-деформированного состояния для периода эксплуатации, превышающего назначенный ресурс в 1,4 раза. Определена оптимальная точка и соответствующая оптимальная конструкция ГУ. Эпюра распределения контактного давления на уплотняемой поверхности (рис. 1) для этой точки в целом сохраняет свой вид, так же как и профиль контактной поверхности уплотняющего элемента (рис. 2).

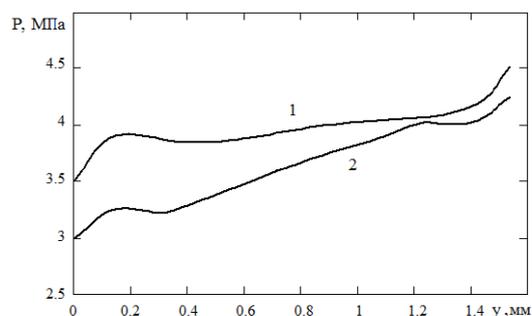


Рис. 1. Зависимость контактного давления на уплотняемой поверхности от осевой координаты u для оптимальной конструкции ГУ: 1 — на этапе начального деформирования; 2 — через 390 часов эксплуатации (фрикционного взаимодействия)

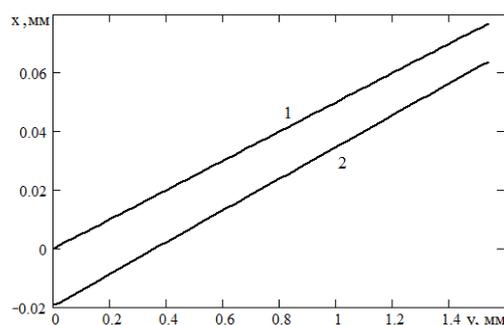


Рис. 2. Зависимость радиальной координаты x от осевой координаты u (профиль контактной поверхности уплотняющего элемента) для оптимальной конструкции ГУ: 1 — в начале эксплуатации; 2 — через 390 часов эксплуатации (фрикционного взаимодействия)

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 12-08-98022) и Министерства образования и науки РФ (код проекта 14.B37.21.1104).

1. Соболев И. М., Статников Р. Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. — М.: Наука. — 1981

ИЗНАШИВАНИЕ АЛМАЗА В ИНСТРУМЕНТЕ ПРИ ОБРАБОТКЕ ХУДОЖЕСТВЕННОГО СТЕКЛА

В.Я. Лебедев, А.М. Кузей

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

Технологические возможности алмазных инструментов основываются на уникальных физико-механических, химических и тепловых свойствах кристаллов алмаза. Работа каждого зерна в инструменте определяется величиной возникающих в процессе резания упругих и пластических деформаций, причем подавляющая часть работы при резании переходит в теплоту. Высокая теплопроводность и теплоемкость алмаза способствует поглощению и лучшему отводу тепла от обрабатываемого изделия.

Обычно в работе зерна в шлифовальном круге выделяют два этапа: 1 — с момента контакта с обрабатываемым материалом до появления на зерне площадки износа критического размера. Окончание первого этапа характеризуется потерей функциональных свойств алмазных зерен и переходом процесса резания в чисто деформационное взаимодействие. Второй этап заканчивается разрушением зерна и формированием на нем новых режущих кромок или выпадением его из связки под действием возросшей силы резания и теплового воздействия. При шлифовании, в силу сопутствующих такому процессу таких факторов, как высокие температура и давление, на площадках контакта создаются условия для активизации химических и фазовых превращений алмаза. Кроме того, эти факторы ускоряют диффузионные явления, способствуют адгезии обрабатываемых материалов к алмазу. Ряд исследователей выделяют следующие основные механизмы изнашивания алмазов: адгезионный, абразивный, диффузионный. При обработке отдельных сплавов имеют место также окислительное и эвтектическое изнашивание, графитизация алмаза, но заметного влияния на общий износ они не оказывают. Вследствие импульсного характера резания единственным зерном при шлифовании и высокой температуре в локальных точках взаимодействия возникает «тепловой» износ алмаза. Таким образом, изнашивание алмазных зерен в процессе шлифования является результатом сложных физико-химических и механических процессов, периодически изменяющихся и параллельно протекающих. Потому необходимо найти общие закономерности, определяющие кинетику этих явлений и алгоритм воздействия на параметры процесса резания с целью повышения работоспособности алмазных кругов и качества обработанных поверхностей.

Образование характерных рельефов на поверхности площадок износа кристаллов указывает на механизмы их образования. Каждому виду изнашивания соответствует характерный вид поверхности

алмаза: адгезионному — бугристая поверхность; абразивному — риски вдоль направления шлифования; диффузионному — гладкая площадка износа; комбинированному — сочетание соответствующих видов.

При обработке стеклоизделий из хрусталя используется значительное количество алмазного инструмента на металлических связках. Удаление обрабатываемого материала при шлифовании стекла происходит в результате хрупкого разрушения. Под вершинами алмазных зерен возникают области напряжения сжатия, а ниже — растяжения. Когда значение напряжения под острием зерна достигает предела текучести стекла в его микрообъемах имеет место хрупкое разрушение с одновременной пластической деформацией. Внутренние напряжения растяжения приводят к хрупкому микроразрушению и диспергированию поверхности стекла. Отдельные результаты исследований приведены на рис. 1.

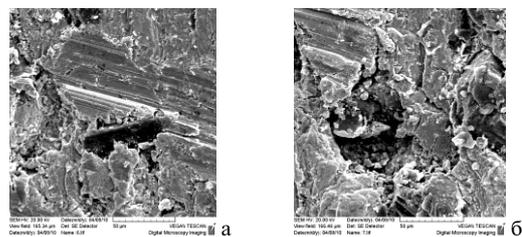


Рис. 1. Морфология изношенной поверхности алмазного круга (а — площадка износа, б — сколы вершины)

Вершины алмазных зерен в круге непрерывно изнашиваются и хрупко разрушаются. Одновременно с разрушением алмаза деструкции подвержена связка. Введение водорастворимых наполнителей в связку улучшает процесс самозатачивания инструмента, снижает усилие шлифования, формирует поверхностный слой реза с более равномерной морфологией, что снижает затраты на химполировку изделий (рис. 2) и повышает производительность изготовления стеклоизделий в целом.

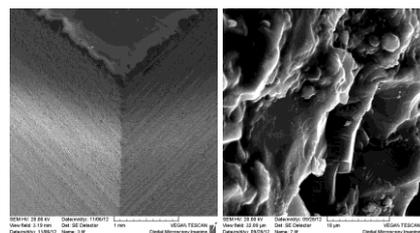


Рис. 2. Морфология обработанной поверхности стекла алмазным кругом с водорастворимым наполнителем

МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИАМИДА, НАПОЛНЕННОГО НАНОПОРОШКОМ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ

С.И. Микулич, Г.А. Жогло

Научно-исследовательский центр проблем ресурсосбережения Института тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, Гродно, Беларусь; resource@mail.grodno.by

Целью работы являлось исследование механических и триботехнических свойств нанокompозита на основе полиамида.

Материалы и методы. Использовали гранулят полиамида ПА-6 марки 210/310, наночастицы диоксида кремния «Таркосил» Т150 (удельная поверхность $130\div 150$ м²/г), полученные испарением чистого кварцевого песка с последующей конденсацией высокотемпературного (около 3000 °С) пара [1].

Для получения наноконцентрата был использован метод введения наполнителя в раствор ПА-6 с последующим его осаждением. Образцы нанокompозиционного гранулята ПА-6 получали путем смешения в расплаве расчетных количеств полиамидного наноконцентрата Т150 с чистым гранулятом ПА-6 в двухшнековом экструдере [2].

Деформационно-прочностные характеристики опытных образцов полимерных композитов ПА-6 были исследованы на универсальной разрывной машине Instron 5567 при скорости раздвижения зажимов 25 мм/мин. Микротвердость литевых образцов ПА-6 измеряли при помощи микротвердомера ПМТ-3М по методу Виккерса. Трибомеханические характеристики образцов ПА-6 исследованы на универсальном микротрибометре «MTU-2K7» по схеме сфера—плоскость при возвратно-поступательном движении стального шарика диаметром 6 мм в диапазоне нагрузок $0,1\div 1$ Н.

Результаты и их обсуждение. При обсуждении результатов исследования следует отметить, что каждая окончательная композиционная смесь из вариантов опыта содержала по 10% полимера, подвергнутого предварительному растворению, и расчетное количество наполнителя. Поэтому испытания были проведены для двух типов контрольных образцов, полученных из чистого ПА-6 (образец 1) и смеси чистого ПА-6 с 10% ПА-6, подвергнутого предварительному растворению (образец 2).

При испытании на растяжение образцов ПА-6, модифицированного нанопорошком SiO₂ Т150, установлено, что образцы ПА-6 с содержанием наполнителя $0\div 1,0$ мас.% характеризуются вязким разрушением, а при содержании SiO₂ начиная с 2,5 мас.% — хрупким. Небольшие добавки Т150 ($0,1\div 1,0$ мас.%) приводят к незначительному уменьшению относительного удлинения испытуемых образцов. Также отмечен незначительный рост предела текучести у образцов ПА-6 с $0,1$ мас.% Т150 в сравнении с контрольными образцами. Модуль упругости при концентрациях SiO₂ $0,1\div 1,0$ мас.% постепенно уменьшается, при 2,5 мас.% — увеличи-

вается на 28%, при большем наполнении полиамида SiO₂ — уменьшается.

Микротвердость контрольных образцов существенно различается: микротвердость образца 2 ниже, чем образца 1. Наполненные образцы ПА-6 целесообразно сравнивать с образцом 2, содержащим растворенный ПА-6. Микротвердость опытных образцов ПА-6 с содержанием SiO₂ $0,1\div 1,0$ мас.% была на $20\div 25\%$ выше, чем у ненаполненного образца. При чем значения микротвердости приблизительно одинаковые. Микротвердость образца ПА-6 с содержанием SiO₂ 2,5 мас.% увеличилась на 30%, а у образца с содержанием наполнителя 5,0 мас.% — на 40%.

Введение наноразмерных порошков диоксида кремния существенно изменяет характер трения опытных образцов композитов. Для большинства исследованных образцов отмечалось увеличение коэффициента трения, а также увеличение неустойчивости данного показателя в ходе проведения эксперимента. В то же время для образца ПА-6 с содержанием SiO₂ 5,0 мас.% было установлено, что данная характеристика наиболее стабильна, причем значения коэффициента трения оказались несколько ниже, чем у контрольного образца 2.

При анализе влияния концентрации наполнителя на трение исследованных композитов необходимо принимать во внимание два фактора. Первый из них связан с изменением механических свойств материалов, а второй с экранированием частицами наполнителя площади контакта матричного полимера с металлическим контртелом. Сравнивая результаты физико-механических испытаний можно прийти к заключению, что наиболее хрупкий и твердый образец обладает наименьшими и стабильными значениями коэффициента трения. Выполнение дальнейших исследований образцов позволят более точно понять изменение трибомеханических характеристик образцов в результате наполнения.

1. Способ получения ультрадисперсной двуокиси кремния, устройство для его осуществления и ультрадисперсная двуокись кремния: пат. 2067077 РФ, МПК7 С 01 В 33/18 / В.П. Лукашов, С.П. Бардаханов, Р.А. Салимов, А.И. Корчагин, С.Н. Фадеев, А.В. Лаврухин. — № 94002568/26; заявл. 26.01.94; опубл. 27.09.96.
2. Свириденок А.И., Новик И.Г., Жданок С.А., Григорьев А.Я., Головач В.А., Игнатовский М.И., Сечко А.Э., Кравцевич А.В. Влияние термоциклирования концентрата нанонаполнителя на механические и барьерные свойства композиционного пленочного материала // // Материалы. Технологии. Инструменты. — 2009 (14), № 2, 38—42

ИССЛЕДОВАНИЕ СОТС С ПРИСАДКАМИ МЕЗОГЕННЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ СВЕРЛЕНИИ И РАЗВЕРТЫВАНИИ ОТВЕРСТИЙ

В.В. Новиков¹, Е.Е. Нуждина¹, М.С. Маршалов²

¹Ивановский государственный университет, Иваново, Россия; novikov-ww@mail.ru

²Ивановский институт государственной противопожарной службы МЧС России, Иваново, Россия

Цель работы — проведение комплекса испытаний проверки способности присадок мезогенных соединений холестерина (МСХ) улучшать свойства смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) на операциях сверления. Для проведения исследований нами был разработан ряд экспериментальных составов СОТС. В качестве базовых СОТС были взяты готовые составы режущих масел СП-4, СП-7 (не содержащие химически активных присадок), ГСВ-1 (содержащая химически активные присадки), которые выпускаются ОАО «Ивхимпром» г. Иваново и применяются на производстве.

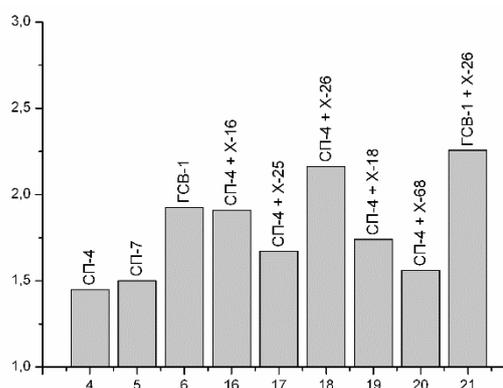
Базовые СОТС модифицировались введением присадок МСХ марок Х-16 ($C_{45}H_{78}O_2$), Х-18 ($C_{38}H_{66}O_2$), Х-25 ($C_{34}H_{49}ClO_2$), Х-26 ($C_{27}H_{45}Cl$), Х-37 ($C_{42}H_{66}O_3$), Х-68 ($C_{46}H_{74}O_3$), а также олеиновая кислота. Присадки растворяли на водяной бане при температуре 95...100 °С. Содержание присадок в базовом масле варьировалось от 0 до 3 мас. %.

Сравнительные испытания смазочной способности СОТС при сверлении проходили при скоростях резания $v = 21,9$ м/мин (1040 об/мин), и осевой нагрузке $P = 270$ Н. Используемый инструмент — сверла $\varnothing 6,7$ мм из быстрорежущей стали Р6М5. Подача СОТС осуществлялась капельным методом с расходом 1 мл/мин. Обрабатываемый материал — сталь 3 в виде полос $510 \times 12 \times 6$ мм. Образцы для исследований закреплялись в держателе на столике динамометра, который позволял определять крутящий момент, возникающий при сверлении и развертывании. Сигнал с датчиков динамометра поступал через АЦП на ПК и обрабатывался программой PowerGraph 3.0. В качестве показателей процесса сверления, определяющая эффективность СОТС был средний крутящий момент, шероховатость, время сверления, подача, частота колебаний. На основе их измерений рассчитывался комплексный критерий относительной эффективности χ .

Испытания на развертывание проводились в следующих условиях. В качестве обрабатываемого материала использовались образцы из стали 45 толщиной 10 мм. Образец закрепляли на столике сверлильного станка, высверливали отверстие $\varnothing 6,7$ мм, а затем развертывали отверстие разверткой $\varnothing 7$ мм с классом точности 7Н из быстрорежущей стали Р6М5. Режим сверления отверстия под развертывание (скорость резания — 27,3 м/мин, подача — 0,1 мм/об, масло И20А). Режим развертывания (ско-

рость резания — 11,4 м/мин, подача — 1 мм/об). Шероховатость обработанной поверхности R_a измеряли на профилографе-профилометре «Абрис ПМ-7».

Результаты исследований экспериментальных СОТС различных составов представлены на рис. Установлено, что, во-первых, введение в состав присадок МСХ существенно улучшает смазочную способность базовой СОТС. Причем СОТС изначально с химически неактивными присадками по своим характеристикам достигали значений для масла ГСВ-1, содержащего химически активные присадки.



Относительная эффективность СОТС с присадками МСХ

Во-вторых, показатели СОТС с хлорсодержащими присадками МСХ оказались на уровне СОТС с присадками, не содержащими в составе хлор.

Оба этих факта косвенно подтверждают прева-лирование структурного механизма смазочного действия присадок МСХ в СОТС над химическим. Это позволяет при создании новых СОТС для сверления не использовать хлорсодержащие присадки МСХ, как потенциально опасные для экологии.

СОТС с присадками МСХ показали свою эффективность и при исследовании процессов развертывания отверстий. Отмечено значительное улучшение шероховатости обработанной поверхности.

Таким образом, в работе показана перспективность использования присадок МСХ для повышения эффективности СОТС на низкоскоростных операциях металлообработки: сверлении и развертывании отверстий.

ПРИНЦИПЫ ОПТИМИЗАЦИИ СОДЕРЖАНИЯ ПРИСАДОК МЕЗОГЕННЫХ СОЕДИНЕНИЙ В СОТС ДЛЯ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ

В.В. Новиков¹, С.А. Сырбу^{1,2}, М.С. Маршалов²

¹Ивановский государственный университет, Иваново, Россия; novikov-ww@mail.ru

²Ивановский институт государственной противопожарной службы МЧС России,

Улучшение процесса обработки металлов напрямую зависит от эффективности применяемых смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС). Одним из наиболее действенных способов их совершенствования является улучшение состава СОТС посредством введения в них различных по природе и химическому строению функциональных присадок.

Общим недостатком применения функциональных присадок является в большинстве случаев их токсичность. Поэтому большой интерес вызывает замещение их в составе СОТС экологически более безопасными аналогами. К таким альтернативным присадкам относятся мезогенные соединения холестерина (МСХ). Данные вещества являются нетоксичными, не обладают канцерогенным действием, полностью биоразлагаемы. Кроме того, благодаря своему химическому строению молекулы МСХ способны структурироваться в зонах трибологического контакта инструмента и обрабатываемой поверхности. В последнее время были синтезированы соединения, имеющие высокие температуры термического разложения, что делает возможным применение их в процессах металлообработки [1—4].

Ранее нами была показана высокая эффективность некоторых присадок жидкокристаллических соединений холестерина (МСХ) в экспериментах по трению. В частности, было выявлено, что наилучшей способностью улучшать условия трения обладают холестерилловые эфиры, содержащие в своем составе атом хлора. По предположению авторов трибологическая активность данных присадок может быть связана со способностью в процессе трения распадаться на фрагменты с образованием свободных радикалов хлора и молекулярного остатка, которые иммобилизуются на металлической поверхности, образуя прочную защитную пленку [5].

Известно, что смазочное действие смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) при обработке металлов тоже во многом определяется их способностью разлагаться по радикальным механизмам, образуя на поверхностях прочные хемосорбированные защитные смазочные пленки. Применяя в качестве присадок к СОТС МСХ, можно ожидать синергического эффекта от применения присадок не только химически активных, но и способных структурно упорядочиваться в зоне контакта [6].

Кроме того, рабочая часть сверла нагрета неравномерно. Температура на главных режущих кромках может достигать 400 °С, в то же время при скольжении стружки по винтовым поверхностям температура падает до комнатной. При этом по всей длине рабочей части сверла необходимо обеспечить максимально легкое скольжение стружки. Поэтому предлагается использовать в составе смазочной композиции такие присадки МСХ, которые обеспечат непрерывное существование структурированного состояния при сверлении в зоне резания и по всей длине рабочей части сверла, где происходит движение стружки, высокотемпературные МСХ присадки должны дополняться низкотемпературными.

С использованием методов математического планирования нами были проведены исследования и определены составы СОТС, содержащие комбинацию двух присадок МСХ с различным диапазоном мезоморфного состояния, обеспечивающему в рациональном диапазоне концентраций наилучшее смазочное действие при сверлении ряда конструкционных сталей. Была доказана практическая независимость действия каждой из используемых присадок. Таким образом, можно сделать вывод о взаимодополняющем взаимодействии данных присадок, каждая из которых обеспечивает смазочное действие в зоне своей трибологической активности.

1. Справочник по триботехнике. Под общ. ред. М. Хебды и А.В. Чичинадзе. — М.: Машиностроение. — Т. 2, 1990
2. Ермаков С.Ф., Родненков В.Г., Белоенко Е.Д., Купчинов Б.И. Жидкие кристаллы в технике и медицине. — Мн.: ООО «Асар», М.: ООО «ЧеРо». — 2002
3. А.с. 601304 (СССР) Смазочно-охлаждающая жидкость для механической обработки металлов / Р.И. Карабанов, В.Н. Латышев, И.Г. Чистякова, В.М. Чайковский. Опубл. в Б.И. — 1978, № 13
4. Топлива, смазочные материалы и технические жидкости. Ассортимент и применение: Справочник под ред. В.М. Школьников. — М.: Издательский центр «Техинформ». — 1999
5. Колбашов М.А., Латышев В.Н., Новиков В.В., Сырбу С.А. Трибологические свойства некоторых жидкокристаллических соединений холестерина // Трение и износ. — 2009 (20), № 6, 564—567
6. Латышев В.Н. Трибология резания. Кн. 1: Фрикционные процессы при резании металлов. — Иваново: Иван. гос. ун-т, — 2009

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ФРИКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА МЕХАНИЗМ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ИЗНАШИВАНИЯ

А.К. Погосян, Н.Г. Меликсетян

Государственный Инженерный Университет, Ереван, Армения; ankarapetyan@web.am

Результаты исследований показывают, что процесс трения органических фрикционных тормозных материалов в условиях поверхностных температур выше 250...280 °С, по характеру отличается от низкотемпературного трения [1]. При высоких температурах создаются определенные условия для образования микродефектов и зарождения в области их скопления микротрещин. Переход процесса изнашивания материалов от умеренного к интенсивному с одновременным уменьшением коэффициента трения в условиях деструкции связующего, наличие процессов фрикционного переноса и сложное агрегатное состояние поверхности трения фрикционных материалов указывают на то, что изменяется механизм разрушения поверхностных слоев. Процесс разрушения невозможно объяснить, основываясь только на концепции усталостной теории изнашивания. В связи с этим представляет интерес выявление влияния термического расширения на интенсивность изнашивания органических фрикционных материалов при высокотемпературном трении.

Цель работы. Изучение процесса термического расширения фрикционных органических материалов при температурах 250...750 °С и выявление его влияния на механизм высокотемпературного изнашивания.

Материалы и методы. Исследовали фрикционные композиционные материалы на основе каучукового, смоляного и комбинированного связующих. Испытания выбранных материалов на трение и износ проводились согласно [2] на установке FM-9. Определение коэффициентов термического расширения осуществляли на dilatометре системы Ригаку-Денки.

Результаты и их обсуждение Анализ полученных данных показывает, что каждый исследуемый материал имеет специфический закон изменения коэффициента термического расширения. При температурах до 300 °С, особенности изменения проявляются более отчетливо. С дальнейшим повышением температуры нагрева резко изменяются коэффициенты термического расширения. При температурах выше 600 °С значения коэффициентов термического расширения исследуемых материалов примерно одинаковы, что может являться следст-

вием полной деструкции связующего. Кроме того, начиная с 250...280 °С, в зависимости от типа связующего, при повышении температуры наблюдается резкое увеличение относительного удлинения материалов.

Такое поведение композиционных материалов указывает на то, что при их трении по металлическому контртелу между рабочим поверхностным слоем и основным материалом, где температура достигает примерно 250...280 °С, образуются микротрещины, так как существенно отличаются коэффициенты термического расширения. Трещины распространяются по зонам одинаковой температуры и наименьшего сопротивления сдвига — почти параллельно поверхности трения. С течением времени эти микротрещины смыкаются и образуют подповерхностные магистральные трещины, которые, соединяясь с поверхностными трещинами, способствуют растрескиванию рабочего слоя и образованию продуктов износа.

В работе путем сопоставления результатов dilatометрического анализа и трибологических испытаний выявлен механизм разрушения (изнашивания) поверхностных слоев органических фрикционных материалов при трении в режиме высокотемпературного интенсивного изнашивания.

Показано, что в процессе разрушения поверхностных слоев определенную роль играет аккумуляция повреждений в подповерхностной зоне. С учетом этого постоянно действующего фактора наиболее полностью явление высокотемпературного изнашивания фрикционных органических материалов возможно объяснить, основываясь на концепции усталостно-деламинационного разрушения поверхностей трения, базирующейся на принципах многократности нагружения и аккумуляции повреждений в подповерхностном слое.

1. Фрикционные композиты на основе полимеров / А.К. Погосян, П.В. Сысоев, Н.Г. Меликсетян и др. — Минск: Информтрибо. — 1992
2. ГОСТ Р ИСО 7881-94 Транспорт дорожный. Накладки тормозные. Оценка характеристик фрикционного материала. Метод испытания малого образца на машине трения

РАЗРАБОТКА АНТИФРИКЦИОННЫХ ОРГАНОВОЛОКНИТОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ ДЛЯ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ ПАР ТРЕНИЯ

А.Г. Пономаренко, А.Г. Калмыкова, Т.А. Ширяева, С.Б. Зайченко

НИИ физической и органической химии Южного федерального университета, Ростов-на-Дону, Россия;
invec@mail.ru

В НИИ ФОХ ЮФУ исследования и разработки антифрикционных самосмазывающихся органолокнитов (АСО) проводятся в течение более 30 лет. Разработана серия связующих, в основном, феноло-каучуковых, ряд технических тканей, содержащих волокна политетрафторэтилена (ПТФЭ), технологии нанесения покрытий.

Конструктивно антифрикционные самосмазывающиеся органолокниты (АСО) представляют собой волокна, ткань или мат из волокон, пропитанные и прикрепленные к подложке связующим материалом. Иногда роль подложки выполняет само связующее. Толщина антифрикционного слоя обычно находится в пределах от 0,2 мм до 0,8 мм.

Технические ткани, применяемые для АСО, могут иметь различную структуру расположения волокон, однако необходимым условием длительной работоспособности покрытия является превалирование антифрикционных волокон на лицевой стороне ткани. Типы плетения ткани могут быть различными: однослойными, полутораслойными или многослойными, в зависимости от условий эксплуатации АСО.

Каждый из компонентов полимерной композиции выполняет свои функции, обеспечивая работоспособность узла трения в целом. Антифрикционная компонента необходима для получения низкого коэффициента трения, а нагрузки, возникающие при работе, перераспределяются между компонентами композита таким образом, что они воспринимаются и передаются на подложку в основном армирующими волокнами. Кроме перераспределения нагрузок армирующая компонента воспринимает возникающие при механическом воздействии внутренние напряжения и препятствует распространению трещин [1].

Связующее в составе АСО должны обладать рядом специфических свойств, которые трудно обеспечить одновременно. Оно должно обеспечить адгезию к подложке, армирующим волокнам и антифрикционным волокнам ПТФЭ, быть достаточно прочным и жестким для обеспечения работы при высоких нагрузках и достаточно эластичным для ус-

тойчивости к вибрациям, особенно при низких температурах. Кроме того, связующее обеспечивает формирование устойчивых пленок переноса на поверхностях трения, от которых зависит ресурс работы АСО.

Исследования пленок переноса проводили методом ИК-спектроскопии НПВО. Показана зависимость устойчивости пленок переноса от состава связующего.

При использовании в качестве связующего фенолокаучуковых композиций АСО длительно работают при нагрузках 100 МПа при скоростях линейного скольжения до 0,1 м/с при температурах от -70° до $+250^{\circ}$ C [2]. Отдельные испытания проводились при -196° C. Коэффициент трения снижается от 0,2 до 0,02 с повышением температуры и давления, увеличивается с повышением скорости скольжения.

В случае использования в качестве связующего акрилонитрильной резины значительно возрастает износостойкость АСО, но нагрузки не должны превышать 1 МПа [3]. Такие композиции можно использовать в шаровых шарнирах и уплотнениях разного типа.

Покрытия из АСО применяются в шарнирных подшипниках и других подшипниках скольжения в авиационной технике, проведены испытания покрытий в узлах трения грузовых и легковых автомобилей, тракторов, экскаваторов, строительной и дорожной техники, оборудовании металлургических предприятий и прокатных станков.

1. Слюсарь Б.Н., Флек М.Б., Гольдберг Б.С., Рождественская Н.В., Шевцов С.Н. Технология вертолетостроения. Технология производства лопастей вертолетов и авиационных конструкций из полимерных композиционных материалов. — Ростов-на-Дону. Изд-во ЮНЦ РАН. — 2013
2. Кохановский В.А. Антифрикционные полимерные композиции для тяжело нагруженных пар трения: Дис. на соискание доктора техн. наук. Ростов-на-Дону. — 1995
3. Рядченко Г.В., Болотников В.С., Рядченко В.Г. Триботехнические свойства на основе эластомеров, модифицированных волокнами политетрафторэтилена // Вестник Донского государственного технического университета. Ростов-на-Дону. — 2002 (1), 63—67

МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СНИЖЕНИЯ ВИБРАЦИИ И ШУМА ФРИКЦИОННЫХ УЗЛОВ ТРЕНИЯ МАШИН

В.П. Сергиенко, С.Н. Бухаров

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

Новые материалы с улучшенными свойствами являются важным фактором в создании высокотехнологичных наукоемких компонентов для машиностроения, обеспечивающих поддержание и повышение его конкурентоспособности. Из всего многообразия используемых в технике материалов, особое место занимают фрикционные материалы, поскольку именно они в значительной мере определяют безопасность, надежность и комфортность эксплуатации машин.

В автомобильной промышленности испытания фрикционных материалов — наиболее затратная часть их разработки. Также наблюдается рост требований в области правовых и гарантийных обязательств, которые, в основном, связаны с проблемами шума при торможении [1].

Разработка новых фрикционных композиционных материалов, обеспечивающих снижение вибрации и шума непосредственно в источнике их возникновения — фрикционном контакте — перспективное направление в решении данной проблемы.

Имеющиеся научные данные показывают, что такой подход уже на стадии проектирования позволяет осуществлять выбор материалов пары трения и, тем самым, влиять на виброакустические характеристики трибосопряжений. Принято полагать, что фрикционные автоколебания, являющиеся одной из причин тормозного шума и вибрации, обусловлены отрицательным градиентом коэффициента трения по скорости скольжения, а также его зависимостью от времени относительно неподвижного контакта. Тем не менее, теории, объясняющие возбуждение фрикционных автоколебаний процессами происходящими при относительном покое и перемещении трущихся элементов с учётом соответствующих статико-кинетических характеристик, не позволяют определить приемлемые на практике критерии оценки фрикционных композитов по склонности пары трения к виброакустической активности. Кинетические и статические характеристики пары трения зависят от нагрузочно-скоростных условий, свойств трущихся материалов и множества других факторов. В ряде случаев фрикционные автоколебания и вибрация типа флаттер возможны даже при условии идеального постоянства коэффициента трения. Кроме того, возможность управления статико-кинетическими фрикционными характеристиками пар трения с целью улучшения их виброакустических характеристик ограничена в связи с необходи-

мостью обеспечения заданных эксплуатационных свойств, в том числе, триботехнических. Теоретическими исследованиями, основанными на рассмотрении молекулярной динамики нелинейно-упругой конечно-растяжимой модели полимеров установлено, что снижение склонности фрикционной пары к вибрации и шуму при сохранении высокого и стабильного коэффициента трения может быть достигнуто путём использования в качестве матричной фазы фрикционного материала полимера с определённым набором структурных характеристик [2].

Результаты исследований авторов показывают, что состав, структура и тип матричной фазы фрикционных композиционных материалов определяют их динамические механические характеристики и, как следствие, склонность к вибро-шумообразованию в узлах трения [3].

Однако сложность компонентного состава фрикционных композиционных материалов и высокая чувствительность фрикционно-износных характеристик к каким-либо его изменениям обуславливает значительные трудности теоретического анализа. Для получения любого практического результата необходимо проведение большого числа экспериментальных исследований. Универсального подхода при выборе состава, обеспечивающего компромисс по всем характеристикам материала или хотя бы возможность управления одним свойством без изменения других, в настоящее время не существует. В этой связи актуальна разработка принципиально новых методов оптимизации структуры и свойств композиционных материалов. В работе обсуждаются некоторые подходы к управлению структурой и свойствами полимерных композиционных материалов с целью улучшения виброакустических характеристик изделий, основанные на применении различных физических воздействий на композиты или их компоненты, а также на создании заданной анизотропной структуры материала в изделии.

1. Abendroth H. Worldwide Brake — Friction Material Testing Standards, Challenges, Trends // Proceedings of the 7th International symposium of friction products and materials Yarofri, September 9—11, 2008. — Yaroslavl. — 2008, 140—150
2. Nishiwaki M. et al. A Study on Friction Materials for Brake Squeal Reduction by Nanotechnology // SAE Technical paper No. 2008-01-2581. — 2008
3. Sergienko V.P., Bukharov S.N. Formula and structure effect of frictional materials on their damping properties and NVH performance of friction joints // SAE Technical paper No. 2009-01-3016

ТЕОРЕТИКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ТРЕНИИ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ОКСИДОВ

Е.В. Торская¹, К.С. Кравчук², Н.Н. Фролов³¹Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва, Россия; torskaya@mail.ru²Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных материалов, Москва, Россия³ОАО «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии», Москва, Россия

Данная работа проводится в рамках исследования трибологических свойств наноструктурированных покрытий на основе многокомпонентных оксидов. Технология получения покрытий, в том числе ее преимущества, а также некоторые результаты испытаний на трение, приведены в работе [1]. Получаемые покрытия имеют толщину от 60 до 400 нм, поэтому для изучения механизма их разрушения были проведены эксперименты на установке ФГБНУ «ТИСНУМ», позволяющие проводить фрикционное нагружение малыми нагрузками (в данном случае от 10 до 60 мН) и использовать контр-тела малого радиуса. Для двух образцов были проведены серии экспериментов с возрастающей нагрузкой. При малых нагрузках происходит постепенное изнашивание покрытия, при увеличении нагрузки происходит быстрое образование трещины и покрытие скалывается. Расчет напряжений, выполненный по методу, представленному в работе [2], позволяет получить зависимость от нагрузки максимальных значений растягивающих напряжений, отвечающих за хрупкое разрушение покрытий. На рис. 1 приведен пример подобного разрушения покрытия и результат расчета напряжений. Для данного образца пороговое значение максимума растягивающих напряжений находится в пределах от 0,151 ГПа (нагрузка 20 мН, скола нет) до 0,172 ГПа (нагрузка 30 мН, скол есть). В случае нагружения данного покрытия другим контртелом (при этом изменятся геометрия контакта и значение коэффициента трения), можно провести предварительный расчет напряженного состояния и оценить вероятность разрушения данного покрытия.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 12-08-01171-а).

1. Торская Е.В., Курбаткин И.И., Мезрин А.М., Морозов А.В., Муравьева Т.И., Фролов Н.Н., Сахаров В.В. Механические и трибологические свойства наноструктурированных покрытий на основе многокомпонентных оксидов // Трение и износ. — 2013 (34), № 2
2. Торская Е.В. Исследование влияния трения на напряженное состояние тел с покрытиями // Трение и износ. — 2002 (23), № 2, 130—138

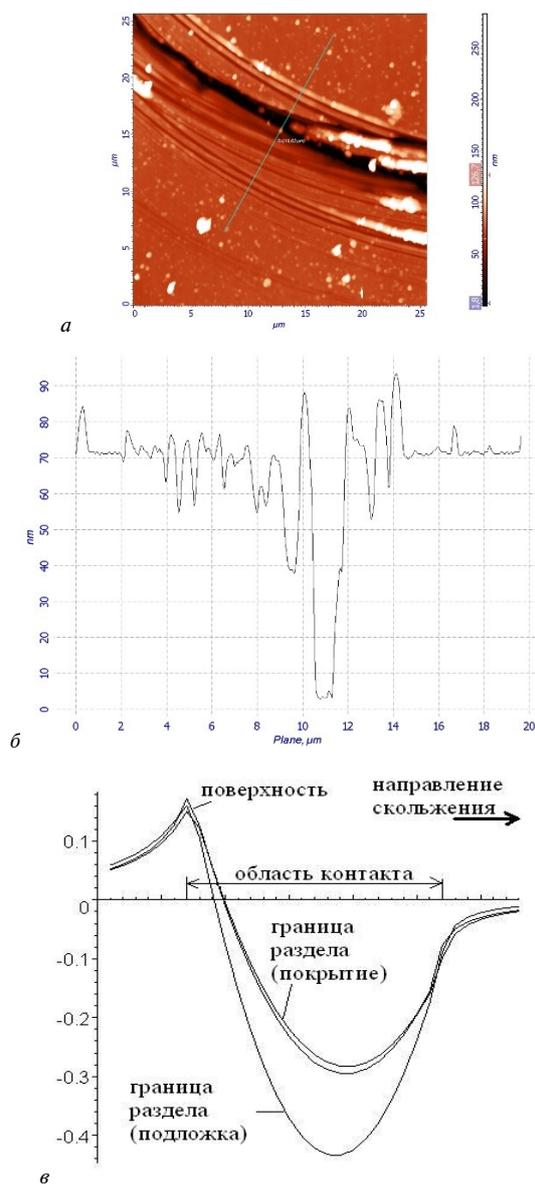


Рис. 1. Покрытие из оксидов циркония и иттрия, контр-тело шарик из оксида алюминия радиусом 650 мкм, нагрузка 30 мН, коэффициент трения 0,17: *a* — дорожка трения со сколом, *б* — профиль дорожки трения, *в* — растягивающие (положительные) и сжимающие напряжения в ГПа, на поверхности и на границе раздела покрытия с подложкой

СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция 5

Медико-биологические аспекты применения полимерных композитов

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ И ТРИБОЛОГИЯ
(ПОЛИКОМТРИБ-2013)

24—27 июня 2013 г., Гомель, Беларусь

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ХИРУРГИЧЕСКИХ НИТЕЙ

А.Л. Башлакова, Н.П. Глазырин

Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь;
rits@tut.by

Общепринятыми требованиями к современной хирургической нити являются следующие: высокая разрывная прочность при минимальной толщине, высокие манипуляционные качества, отсутствие реактогенности. Оптимальным для современной хирургии является создание и испытание шовного материала, обладающего высокими манипуляционными и механическими характеристиками: равномерной по диаметру гладкой поверхностью, заданными жесткостью и характеристиками трения в водной среде, низкими потерями прочности в узлах [1, 3].

Наиболее распространенными полимерными материалами для нитей общей хирургии остаются полиамид, полиэфир и натуральный шелк. Основным преимуществом данных материалов является их низкая стоимость вследствие оптимизации всех технологических операций переработки и легкость стерилизации.

Из-за сложности предъявляемых требований производителям и хирургам приходится применять нити из различных материалов, ориентируясь на полезные свойства и стараясь свести к минимуму их вредные воздействия. Полиэфирные нити прочны и биоинертны, но обладают высокой жесткостью (15...20% удлинение при разрыве), поэтому для наружных швов используют более эластичные полиамидные нити (30...35% удлинение при разрыве). Но полиамидные нити реактогенны, и показатели их трения по биоткани в водной среде неудовлетворительно высоки. Шелковые нити обладают наилучшими манипуляционными свойствами, но по реактогенности и показателям трения они еще хуже, чем полиамидные.

Неудовлетворительные характеристики обычно удается исправить путем нанесения тонких (2...20 мас.%) полимерных или олигомерных покрытий, устраняющих реактогенность и гидрофильность, снижающих трение нитей. Для всех видов нитей на 20...50% снижается усилие трения и усилие страгивания, что является важным с точки зрения снижения травматичности шовного материала и является одним из критериев качества. Облегчается работа с нитью, в частности, завязывание узлов. Поверхность нитей становится гидрофобной. Поэтому прочность мокрых нитей возрастает значительно больше и практически не отличается от прочности сухих нитей. Особенно выражен этот эффект для шелка, по-

теря прочности которого при намокании превышает 25%. Существенно снижается сила трения во влажном состоянии. Нить более легко проходит через ткани, вызывая минимум повреждений. Это непосредственно связано со снижением среднего усилия трения, и, самое главное, усилия страгивания [1, 2].

Но покрытие на нити изменяет ее характеристики разнонаправленно, более того, нередко фирмы-изготовители используют покрытия не по физико-химическим основаниям, а из маркетинговых соображений. Целью данной работы является отработка методики оценки эффективности применения покрытий посредством механических испытаний. Показано, что приборные измерения жесткости нити, показателей разрыва, характеристик сухого и водного трения позволяют рассчитать величину «механического совершенства» нити $K_{\text{общ}}$ и объективно определить, лучше или хуже стала нить после нанесения покрытия.

Таблица 1. Механические характеристики и коэффициент качества полифиламентных хирургических нитей из полиамида

Вид испытания	Производитель			
	Футберг	Фиатос	Мос-нитки	КБ НП*
Лин. плотность, текс	111	99	65	70
Жесткость, отн. ед.	38	33	6	8
Разрыв, Н				
без узла	39,5	31,8	31,6	32,0
с узлом	28,2	24,7	26,7	29,1
Сила трения, Н				
сухое (страгивание/протягивание)	4,9/3,3	4,7/2,6	4,4/2,3	3,3/2,5
мокрое (страгивание/протягивание)	10,7/9,6	10,2/8,2	11,1/8,9	6,3/5,1
$K_{\text{общ}}$	28,5	28,5	22,2	70,7

* конструкторское бюро «Научное приборостроение» НАН Беларуси, нить с полипарааксилеленовым покрытием.

1. Буянов В.М., Егиев В.Н., Удодов О.А. Хирургический шов. — М: Рапид-Принт. — 1993
2. Shadrin V.V., Teplikov A.V. Handling characteristics of surgical threads // Russian Journal of Biomechanics. — 2001 (5). no. 3, 41—50
3. Шилько С.В., Гракович П.Н., Хиженок В.Ф., Паркалов С.В. Биомеханические свойства хирургических нитей с функциональным покрытием // Российский журнал биомеханики. — 2003 (7), № 2, 85—91

АНАЛИЗ ВКЛАДА ЦИТОСКЕЛЕТА В СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКУЮ НЕОДНОРОДНОСТЬ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ КЛЕТОК, ОЦЕНЕННУЮ ПО ПАРАМЕТРАМ СИЛ ТРЕНИЯ МЕЖДУ ОСТРИЕМ АСМ-ЗОНДА И ПОВЕРХНОСТЬЮ КЛЕТКИ

Н.И. Егоренков, М.Н. Стародубцева

Гомельский государственный медицинский университет, Гомель, Беларусь, marysta@mail.ru

При сканировании поверхности твердых тел на атомно-силовом микроскопе (АСМ) в контактном режиме в двух противоположных направлениях оказывается возможной оценка сил трения, возникающих между острием зонда и материалом исследуемого образца, то есть исключение из реально фиксируемого сопротивления продвижению острия зонда по твердой поверхности вклада ее рельефа [1]. АСМ-сканирование позволяет получать карты сил трения поверхностей, то есть характеризовать их структурно-механическую нанонеоднородность.

Большой интерес вызывает интерпретация экспериментально получаемых параметров этих сил трения для поверхностного слоя биологических клеток, представляющего собой слоистый композит, включающий слой с кортикальным цитоскелетом.

Цель

Оценить вклад цитоскелета в силы трения между острием АСМ-зонда и поверхностью высушенных клеток при сканировании в интервале температур 20—100 °С с учетом результатов модельных опытов с высоко- и низкомолекулярными веществами.

Материалы и методы

АСМ-исследования проводили на атомно-силовом микроскопе «НТ-206» («МикроТестМашины», Беларусь) в контактном режиме сканирования (в двух противоположных направлениях) с использованием игл-зондов «MicroMash» CSC38 (уровень В) и термоплатформы ТТ-01. Условия сканирования: средняя скорость нагрева образцов до достижения заданной температуры 0,5 °С в минуту, частота сканирования — 0,2—0,5 Гц, нагрузка на АСМ консоль — 1,2—1,6 нН. Влажность среды — 55±10%, температура — 22±5 °С. Объекты — высушенные препараты эритроцитов человека и крысы, фибробласты человека и др. клетки, технический стеарин, каприлакton Сара6800, поливинилбутираль.

Результаты и их обсуждение

Выявлено, что для исследуемых препаратов клеток средние значения (F_f) и разброс вокруг среднего значения сил трения (σ_f) между острием АСМ-зонда и поверхностью клеток значительно увеличиваются с увеличением температуры после достижения некоторой критической температуры, значение которой зависит от типа клетки (например, для ти-

моцитов — 50–60 °С [1], эритроцитов — 40–45 °С). В этих областях температур возможны структурно-релаксационные переходы высокомолекулярных (белки — денатурация) и низкомолекулярных (липиды — плавление) веществ поверхностного слоя клетки. Аналогичное явление наблюдается для синтетических аморфных полимеров при переходе через температуру их структурного стеклования (например, для поливинилбутираля 57 °С). Известно, что силы трения между острием АСМ-зонда и поверхностью липидного слоя при переходе через температуру его плавления с увеличением температуры испытаний уменьшаются. Аналогичное явление наблюдается в опытах со стеарином — смесью стеариновой и пальмитиновой кислот с небольшим содержанием непредельных кислот. Следовательно, липидный бислой, как жидкий слой низкомолекулярных веществ, не может рассматриваться в качестве фактора, ответственного за увеличение сил трения между иглой-зондом и поверхностным слоем клеток при увеличении температуры испытаний. Обработка клеток глутаровым альдегидом, способным химически сшивать макромолекулы, включая молекулы белков, приводит к существенному уменьшению и даже полному исчезновению зависимости параметров сил трения от температуры. Рост сил трения с температурой значительно снижается при предварительном прогреве образцов клеток выше температуры денатурации белков, когда возможны процессы образования более плотной структуры. Схожие результаты наблюдаются при сшивании макромолекул линейных полимеров или увеличении густоты сетки сетчатых полимеров. Установлено также, что параметры сил трения для высушенных препаратов клеток находятся в прямой зависимости от состояния цитоскелета на момент высушивания клеток.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют, по нашему мнению, что оцениваемые с помощью АСМ параметры сил трения (F_f и σ_f) между острием зонда и поверхностью биологической клетки определяются, в основном, цитоскелетом — элементом поверхностного слоя клетки как биологического композита.

1. Starodubtseva M.N., Yegorenkov N.I., Nikitina I.A. Thermo-mechanical properties of the cell surface assessed by atomic force microscopy // *Micron*. — 2012 (43), 1232—1238

О МЕХАНИЗМЕ ВЫСВОБОЖДЕНИЯ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ ПРЕПАРАТОВ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИУРЕТАНА С ДОБАВКАМИ ПОЛИ-L-ЛАКТИДА

Л.А. Марченко¹, Г.В. Бутовская¹, Л.П. Круль¹, А.А. Рогачёв², М.А. Ярмоленко³,
А.В. Рогачёв³, Д.В. Тапальский⁴, Н.Ю. Бойцова⁴, В.А. Осипов⁴

¹Учреждение Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», Минск, Беларусь; K-Milaa@yandex.ru

²Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

³Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь

⁴Гомельский государственный медицинский университет, Гомель, Беларусь

Использование металлических и полимерных имплантатов в медицинской практике осложняется развитием послеоперационных инфекций, обусловленных формированием на их поверхности бактериальных пленок, предотвратить образование которых можно защитив поверхность имплантата покрытием из синтетического полимера, в частности полиуретана, с добавками соединений с антибактериальной активностью. Однако скорость высвобождения бактерицидного препарата из полиуретановой пленки в начальном послеоперационном периоде недостаточно высока для того, чтобы создать необходимую локальную концентрацию действующего вещества. Мы предположили, что дополнительное введение в состав исходной композиции добавки биodeградируемого полилактида может обеспечить ускорение диффузии антибактериального препарата в окружающую имплантат среду.

Цель работы заключалась в экспериментальной проверке возможности ускорения диффузии антибактериального препарата из композиционного полиуретанового (ПУ) покрытия за счет введения в его состав добавки биodeградируемого поли-L-лактида (ПЛ).

Материалы и методы

Антибактериальные покрытия формировали в вакууме из активной газовой фазы, образованной продуктами электронно-лучевого диспергирования смеси порошка термопластичного ПУ марки Desmopan 385 «Bayer Material Science AG» с ПЛ марки 4042D «Nature Works LLC» и антибактериальных веществ, таких как ципрофлоксацин (ЦФ) «KRKA», нитрат серебра, оксид серебра и хлорид серебра (ХС). Диффузию серебра из антибактериальных покрытий в модельную среду (деионизованную воду) исследовали с использованием метода плазменной масс-спектрографии на приборе ELAN 9000 «Perkin Elmer». Влияние модельной среды на толщину полимерных покрытий оценивали по изменению резонансной частоты колебаний кварцевых пластин с нанесенным на них полимерным покрытием и помещенных в специально сконструированную ячейку.

Результаты и их обсуждение

На основании экспериментальных данных по

кинетике вымывания серебра из покрытий, нанесенных на марлевые образцы из композиций ПУ–ХС, ПЛ–ХС и ПУ–ПЛ–ХС, показано, что введение добавок ПЛ в композиционное покрытие, включающее ПУ и ХС, приводит к существенному ускорению высвобождения последнего. Количество серебра, выделившегося в воду из трехкомпонентного покрытия ПУ–ПЛ–ХС за 19–240 ч, примерно в 2 раза превышает его количество, выделившееся из двухкомпонентных покрытий ПУ–ХС и ПЛ–ХС (рис. 1).

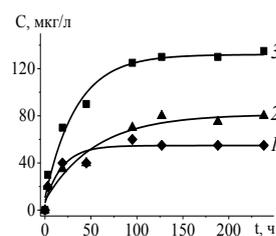


Рис. 1. Зависимость концентрации серебра, перешедшего в модельную среду из покрытия ПУ–ХС (1), ПЛ–ХС (2) и ПУ–ПЛ–ХС (3), от времени его контакта с водой

Установлено, что толщина покрытия из ПУ практически не изменяется за 1–10 ч пребывания в воде при комнатной температуре, тогда как для покрытия из ПЛ его значение линейно возрастает со временем, и спустя 9 ч достигает 140% от исходной величины, что, несомненно, связано с особенностями набухания полимера. Вероятно, и для четырехкомпонентного покрытия ПУ–ПЛ–ЦФ–ХС, которое было нанесено на поверхность титановых пластин, причиной ускорения диффузии антибактериальных веществ является набухание ПЛ компонента композиции в воде, которое сопровождается снижением энергии межмолекулярного взаимодействия между цепями полимера и увеличением свободного объема в покрытии.

Полученные экспериментальные данные позволили предложить состав для получения плазмохимическим синтезом наноразмерного антибактериального покрытия для титановых имплантатов, включающий смесь порошков термопластичного ПУ, ПЛ, ЦФ и ХС.

ДИСПЕРСНЫЕ СУБСТАНЦИИ ИЗ ТРИГЛИЦЕРИДОВ И ПРОИЗВОДНЫХ ПОЛИГЕКСАМЕТИЛЕНГУАНИДИНА ДЛЯ ЗАЩИТЫ СМАЗОЧНЫХ ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ ОТ БИОПОВРЕЖДЕНИЙИ.С. Михаловский¹, В.А. Тарасевич², В.Е. Агабеков², Е.Н. Волнянко³, М.В. Самойлов¹¹Белорусский государственный экономический университет (кафедра технологии); jozef_m@tut.by²Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь³Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

Эксплуатационные характеристики смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) различного назначения, в значительной степени зависят от их биологической защиты. Биопоражение СОЖ, в частности, продукты метаболизма микроорганизмов способны влиять не только на физические процессы в контактной зоне инструмента и поверхности обрабатываемого материала, но и приводить к профзаболеваниям (дерматиты, легочные патологии и др.) рабочих. В этой связи разработка биопротекторов, совместимых с дисперсными системами, входящими в состав СОЖ, является весьма актуальной задачей.

Эффективными биоцидами, способными обеспечить биологическую защиту СОЖ, могут быть производные полигексаметиленгуанидина (ПГМГ). Однако введение полигуанидинов, представляющих собой поверхностно-активные катионные полиэлектролиты, в дисперсные системы в виде растворов, может вызвать снижение агрегативной и седиментационной устойчивости СОЖ, изменить их эксплуатационные характеристики.

Оптимальным способом введения полигуанидинов как биоцидов в СОЖ могут быть инъекции первых в дисперсной форме. Введение ПГМГ в СОЖ в «связанном» с дисперсными частицами состоянии позволит избежать его высоких локальных концентраций и сформировать устойчивые продукты с высокой степенью биозащиты.

Нами ранее разработаны седиментационно- и агрегативно-устойчивые наноструктурные дисперсные системы из ненасыщенных триглицеридов [1, 2]. Установлено, что данные системы могут быть использованы в композиционных материалах триботехнического назначения [3]. Кроме того, полученные по разработанной методике наноструктурные триглицеридные коллоиды из липидов растительного происхождения (рапсовое, подсолнечное масло) представляют собой экологически и биологически безопасные субстанции.

На основе дисперсных систем из триглицеридов созданы экспериментальные образцы биоцидов, у которых биологически активными молекулами яв-

ляются производные ПГМГ (полигексаметиленгуанидинхлорид, полигексаметиленгуанидинфосфат, полигексаметиленгуанидинглюконат, полигексаметиленгуанидинбензоат).

Данные полигуанидины характеризуются высокой биоцидной активностью в составе триглицеридных наноструктур [4].

Разработан и апробирован экспериментальный образец дисперсного биоцида из триглицеридов олеиновой кислоты и полигексаметиленгуанидингидрохлорида в водной среде (ОПГМГ-Хл) в качестве биозащитного средства СОЖ на основе жирных кислот растительного происхождения и предназначенной для механической обработки изделий из металлических сплавов.

Установлено, что введение ОПГМГ-Хл (в концентрации от 1 до 5%) в водный раствор концентрата СОЖ обеспечивает высокую седиментационную и агрегативную устойчивость дисперсной системы, не влияет на вязкость технологической жидкости. ОПГМГ-Хл успешно выполняет биопротекторные функции и при детальной доработке технологии может быть использован в качестве биологической защиты СОЖ при промышленном производстве.

1. Михаловский И. С., Мельникова Г. Б., Тарасевич В. А., Самойлов М. В. Триглицеридные наноструктуры и их пространственно-временная динамика // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии. — 2010 (8), № 4, 861—868
2. Михаловский И. С., Мельникова Г. Б., Тарасевич В. А., Самойлов М. В. Биоцидные коллоидные препараты на основе липидных наноструктур / III междунар. науч. конф. «Наноструктурные материалы — 2012: Россия—Украина—Беларусь», 19—22 ноября 2012 г., Санкт-Петербург. — Санкт-Петербург: Лема. — 2012, 356
3. Михаловский И. С., Тарасевич В. А., Самойлов М. В. Триглицеридные наноструктурированные коллоиды для создания экобезопасных смазочных материалов / Междунар. науч.-техн. конф. «Полимерные композиты и трибология» («Поликомтриб-2011»). — Гомель: ИММС НАН Беларуси. — 2011, 152
4. Михаловский И. С., Тарасевич В.А., Самойлов М. В., Белясова Н.А. Триглицерид-полигуанидиновые дисперсии и их биоцидные свойства / Под. ред. И.Д. Волотовского, С.Н. Черенкевича. — Мн.: Изд. центр БГУ. — 2012

СОЗДАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-АКТИВНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

И.Л. Поболь¹, В.Н. Кохнюк¹, А.М. Прудник², Е.Г. Замостоцкий³

¹НИЦ «Плазмотег» ФТИ НАН Беларуси, Минск, Беларусь; i.pobol@gmail.com

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

³Витебский государственный технологический университет, Витебск, Беларусь

Создание перспективного вида текстильных материалов — функционально-активного текстиля — связано с развитием нано- и биотехнологий. Одна из важнейших функций такого текстиля — защитная. Среди наиболее известных следует отметить антимикробные текстильные материалы и изделия на их основе. Еще одна важная область применения наноматериалов в текстильной промышленности — производство тканых поглотителей и экранов электромагнитного излучения (ЭМИ).

Требования к материалам

Наиболее эффективным методом ослабления ЭМИ является повышение эффективности экранирования. При разработке конструкций экранов или поглотителей электромагнитных волн используются различные материалы, обладающие способностью отражать или поглощать ЭМИ в определенном диапазоне частот. Существует потребность в недорогих радиопоглощающих и радиотражающих материалах, которые могут быть использованы для изготовления защитных экранов различных радиотехнических устройств. Особенно актуальна проблема создания гибких, воздухопроницаемых, технологичных и дешевых материалов, обеспечивающих достаточную степень подавления ЭМИ в широком диапазоне частот.

В медицине и ветеринарии появились новые возможности целенаправленного и дифференцированного использования свойств современных перевязочных средств на различных этапах процесса раневого заживления. В последнее время антибактериальные свойства серебра вновь привлекают к себе внимание. Существующие варианты введения ионов серебра в материалы, используемые для медицинских целей, включают в основном пропитку исходного материала в водном растворе солей серебра. Существенным недостатком таких вариантов является большой расход дорогостоящих препаратов серебра.

Задачей наших исследований стала разработка методов высокопроизводительного нанесения покрытий на ткани с целью создания современных недорогих функционально-активных текстильных материалов.

Материалы и оборудование

В качестве основы для нанесения покрытий использовался трикотаж на основе натуральных, искусственных и синтетических волокон (полиамид,

полиэстер, органза и др.) Покрытия из титана, хрома, меди и серебра наносились вакуумно-дуговым осаждением на стандартном оборудовании. Осаждение металлов выполняли в среде углекислого газа без использования реакционно-способных газов при следующих параметрах: остаточное давление $3 \cdot 10^{-3}$ Па, давление газа $1,5 \cdot 10^{-1}$ Па, ток катодной дуги 55 А, время осаждения 5—20 мин. Толщины наносимых покрытий — 0,1—1,5 мкм.

Экранирующие характеристики

Измерения экранирующих характеристик проводились с помощью панорамного измерителя коэффициентов передачи и отражения в диапазоне от 0,01 до 18 ГГц. Полосы качания частоты измерителя: при измерении коэффициента отражения 0,01—2,15 ГГц и 2—18 ГГц, а при измерении коэффициента ослабления 0,01—3,0 ГГц и 2—18 ГГц. В каждом из указанных диапазонов измерения проводились в 256 частотных точках.

Коэффициенты ослабления ЭМИ образцов текстильных материалов, покрытых медью, имеют значения до 5 дБ, а коэффициенты отражения варьируются в диапазоне 3—11,5 дБ. Для покрытий из титана эти величины составляют 10 дБ и 3,5—10,5 дБ, соответственно, а для покрытий из хрома — 6 дБ и 5,6—7,4 дБ.

Медицинские исследования материалов

Медицинские испытания текстильных материалов проводились в НИИ прикладной ветеринарной медицины и биотехнологии (г. Витебск). Антибактериальный эффект опытных образцов проверяли стандартными методами с помощью коллекционных тест-культур: *S. aureus* ATCC 6538, *E. coli* ATCC 11229, *P. aeruginosa* ATCC 15412, *C. albicans* ATCC 1023 и штаммов, изолированных из раневого содержимого пациентов с гнойной хирургической инфекцией.

Бактериологические исследования *in vitro* продемонстрировали, что антимикробная активность тканей зависит от вида осажденного металла. Наиболее выраженный антимикробный эффект в отношении всех исследованных штаммов возбудителей раневой инфекции присущ образцам тканей с нанопокрытием из серебра. Наиболее чувствительными к металлизированным образцам оказались *B. subtilis* и *E. coli* (диаметр зоны ингибирования роста возбудителей — 10—23 мм).

ПРИОРИТЕТНЫЕ И МНИМЫЕ ПРОБЛЕМЫ В ТРИБОЛОГИИ ЭНДОПРОТЕЗОВ СУСТАВОВ

В.В. Савич

Институт порошковой металлургии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Эндопротезы суставов (ЭПС), в первую очередь тазобедренных (ЭПТС), вошли в клиническую практику передовых стран мира, бывшего СССР, более 50 лет назад. С тех пор, наряду с чисто медицинскими и биологическими проблемами, задачей исследователей и разработчиков данных изделий является их совершенствование. В частности, одной из главных проблем остается асептическая нестабильность ЭПТС, приводящая к ревизии и реимплантации. Причинами нестабильности могут быть: неадекватная биомеханическая конструкция ЭС, не вполне биосовместимые материалы, нарушение технологии изготовления и, как утверждают многие авторы, продукты износа пары трения ЭС.

Целью данной работы является анализ литературных источников, собственных результатов исследований, полученных в период разработки отечественных ЭПТС системы SLPS, применяемых свыше 15 лет в клинической практике Беларуси, выявление главных проблем в трибологии ЭС.

Распространены следующие типы пар трения ЭПТС: металл–полимер; керамика–полимер; металл–металл и керамика–керамика. В качестве металла используют в современных конструкциях CoCrMo-сплавы, как правило с ультрамикроструктурной структурой; полимера — сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ); керамики — алюмооксидную высокоплотную керамику, в последнем поколении — наноструктурную, марки BIOLOX®. По данным ряда исследователей, коэффициенты трения в паре и износ уменьшаются в указанном выше ряду пар. Особенно показательны данные исследований фирмы CeramTec Int. по износу (мм/год): в паре CoCrMo–СВМПЭ — 0,16–0,2;

Al₂O₃–СВМПЭ — менее 0,1; CoCrMo–CoCrMo — 0,02–0,03; Al₂O₃–Al₂O₃ — менее 0,01. Очевидно, что продукты износа первых двух пар — полимер, третьей — соединения металлов, а последней — керамика. При этом наиболее токсичны для организма — именно третьи. Есть и еще одна проблема при использовании пары CoCrMo–CoCrMo: гальванизм в биологических жидкостях организма, представляющих собой электролит, с титановыми компонентами ЭПТС, усугубляющий износ. Есть проблема и в паре Al₂O₃–Al₂O₃ — отсутствие нормальной амортизации при движении, быстро ведущее к асептическому некрозу костных тканей, прилегающих к ножке и чашке ЭПТС.

Таким образом, можно сформулировать следующие выводы.

Длительная стабильность ЭПТС — многофакторный процесс, зависящий от комплекса процессов второго уровня, причем чисто трибологические свойства пары трения не могут быть абсолютизированы и рассматриваться в отрыве от ее биохимических (токсичность продуктов износа), физико-химических (смачивание, гальванизм), биомеханических (амортизация движений) параметров. С этой точки зрения представляется целесообразным в современных конструкциях ЭС (тазобедренных и коленных) оставить два материала в качестве оптимальных для пары трения: Al₂O₃ и СВМПЭ, причем для пациентов зрелого возраста использовать пару Al₂O₃–СВМПЭ, а для более молодых — Al₂O₃–Al₂O₃, но с обязательным введением амортизирующих компонентов из СВМПЭ как минимум в одном из узлов ЭС — ацетабулярном или берцовом, а, при возможности, и в бедренном.

МЕЖФАЗНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФОСФАТОВ ДЕКСТРАНА С ПРОТИВООПУХОЛЕВЫМ ВЕЩЕСТВОМ ПРОСПИДИНОМ

С.О. Соломевич, П.М. Бычковский, Т.Л. Юркштович,
Н.В. Голуб, В.А. Алиновская, Р.И. Костерова

Учреждение Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», Минск, Беларусь; sergeisolomevich@yandex.ru

Цель. Получение иммобилизованной формы проспицина и оценка динамики высвобождения противоопухолевого вещества в модельных опытах *in vitro*.

Материалы и методы. Использованы материалы: декстран (среднемассовая молекулярная масса 60 кДа), микрогели фосфатов декстрана (ФД), противоопухолевое вещество проспицин. Основными методами исследования являются: ИК- и ЯМР ^{31}P -спектроскопии, неводное титрование, элементный анализ, сканирующая электронная микроскопия.

Результаты и их обсуждение. В качестве полимеров-носителей противоопухолевого вещества в системе ортофосфорная кислота-мочевина получены гидрогели фосфатов декстрана с содержанием фосфорнокислых и карбаматных групп 2,5—2,7 ммоль/г и 1,3—2,1 ммоль/г, соответственно, степенью набухания (Q) в воде в интервале 80—160 г/г. Методами ЯМР ^{31}P -спектроскопии и потенциометрического титрования установлено, что фосфаты декстрана представляют собой преимущественно однозамещенные фосфорнокислые эфиры.

Установлено, что иммобилизация проспицина на гидрогелях фосфатов декстрана протекает по механизму ионного обмена и распределительному механизму. Показана возможность образования дополнительных водородных связей между цитостатиком и ФД. Показано, что степень высвобождения проспицина из лекарственной формы фосфата декстрана зависит от степени сшивания полимера и массового соотношения полимер — цитостатик. Установлено, что 45—70% проспицина высвобождается из фазы носителя в течение первых 30 минут. Рассчитаны значения константы высвобождения проспицина из фазы полимера и установлено, что на скорость диффузии цитостатика оказывает влияние не только степень набухания, но и энергия взаимодействия лекарства с функциональными группами макромолекул (табл. 1). Дальнейшее высвобождение цитостатика происходит в результате осуществления перехода гель-золь, о чем свидетельствует факт

потери массы гелеобразующей формы проспицина по мере увеличения времени выдерживания её в буферном растворе (табл. 2).

Таблица 1. Коэффициенты высвобождения проспицина (Pr) из микрочастиц ФД, определяющие диффузионный механизм выделения лекарственного вещества

Массовое соотношение ФД : Pr	ФД (Q=160 г/г) : Pr = 1:1	ФД (Q=160 г/г) : Pr = 4:1	ФД (Q=80г/г) : Pr = 1:1
Константа высвобождения (k)	121,13±11,1	114,8±4,1	62,4±5,4
Коэффициент корреляции (R ²)	0,984	0,999	0,985
Механизм транспорта	Диффузия по закону Фика	Диффузия по закону Фика	Диффузия по закону Фика

Таблица 2. Значения потери массы иммобилизованной формы в процессе релиза

Образец	Потеря массы образца, %						
	5	10	15	30	60	360	1440
ФД(1) : Pr = 1:1	15	15	20	25	35	40	—
ФД(1) : Pr = 4:1	3	8	16	19	41	78	88
ФД(2) : Pr = 1:1	13	20	25	25	30	30	40

Проведенные медико-биологические испытания на моделях саркомы М-1, Йенсена и гепатомы Зайдела свидетельствуют о том, что противоопухолевая активность пролонгированной формы проспицина на основе ФД увеличивается по сравнению с инъекционной формой [1, 2].

Полученные результаты могут найти применение при создании новых видов лекарственных форм, в которых лекарственное средство иммобилизовано в полимерной матрице.

1. Bychkouski P.M., Yurkshovich T.L., Kladijev A.A., and Revtovich M.Yu. Antitumor activity of Gel-forming preparation prospidin on the model of Zaidela ascetic hepatoma // Cell and Tissue Biology. — 2012 (6), no. 3, 233—239
2. Юркштович Т.Л., Бычковский П.М., Голуб Н.В. и др. Противоопухолевая активность полимер-иммобилизованного проспицина *in vivo* на модели саркомы М-1 и саркомы Йенсена крыс // Российский биотерапевтический журнал. — 2012 (12), № 3, 130—135.

СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция 6

Фторполимеры: получение, исследования, применение

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ И ТРИБОЛОГИЯ
(ПОЛИКОМТРИБ-2013)

24—27 июня 2013 г., Гомель, Беларусь

EFFECTS OF RADIATION, IODINIZATION AND IONIZATION ON THE OPTO-ELECTRICAL PROPERTIES OF NATURAL AND SYNTHETIC POLYMER COMPOSITES

M.M. Hossain, M.R. Akter, N.K. Zahan, M.R. Alam

Pabna University of Science & Technology; mozafor_ape@yahoo.com

Nowadays, polymer materials are widely used in different technologies especially in the field of conducting, electrets properties, encapsulation and nano electronics are the important of them. Among the possible synthetic polymers, polyimide and fluorocarbon (teflon) seem quite promising for the wide application ranging from power apparatus and cable to microelectronics. The commercial grade polyimide, fluorocarbon, polyimide-fluorocarbon and fluorocarbon-polyimide-fluorocarbon sandwich polymer materials of 40, 10 and 50 μm thickness are used for this investigation. The effects of radiation, iodination and ionization on the optical, dielectric and conducting properties of above mentioned polymers are investigated by measuring the transmittance, reflectance, absorbance, absorption coefficient, extinction coefficient, optical conductivity and electrical properties like dielectric constant and conductance at different frequencies. The values of transmittance slightly increases after radiated by α , β and γ -rays on the other hand the values of reflectance is higher after γ -radiation than the values after α and β radiation. The values of transmittance and reflectance are varies on both side of the polyimide-fluorocarbon polymer sandwich film. It is also observed that the dielectric constant slightly decreases after radiation. Iodination are also influence the opto-electrical properties of the polymer. It was observed that the transmittance decreases on the other hand reflectance increases with the increase of the iodination time. Dielectric constant also decreases and conductivity increases after the iodination. The ionization with CuSO_4 electrolyte affects the opto-electrical properties of polymers. Polyimide, fluorocarbon, and fluorocarbon-polyimide-fluorocarbon sandwich materials are shown the identical behaviour on the other hand polyimide-fluorocarbon shows different properties. The glass transition temperature may be arrived after 20 hours of electrolyzes due to the electrode heating for polyimide, fluorocarbon and fluorocarbon-polyimide-fluorocarbon materials on the other hand its may be different for polyimide-fluorocarbon polymer film. From the results, it may conclude that the ions are trapped on the surfaces of the bulk of poly-

imide, fluorocarbon and fluorocarbon-polyimide-fluorocarbon materials on the other hand it may trap across the barrier of fluorocarbon-polyimide sandwich film. The peak arises in the transmittance spectrum of all the above mentioned specimens may due to the presence of C–O group in the polymer. The variation of absorbance after ionization for different duration follows the similar trends as observed in the case of reflectance. The optical conductivity shows peak between 2.5—3.5 eV for the polyimide composite specimens but Teflon shows different characteristics. Both sides of the polyimide-fluorocarbon polymer sandwich films also shows different characteristics after and before ionization. It was also observed from the results that the dielectric constant is decreasing with increase in frequency during the different time of ionization. The conductance of the all synthetic polymers remarkably enhanced after ionization. The process of ionization also affects on the properties of natural polymers like silk. Ionization enhanced the reflectance of pure silk with ZnSO_4 and $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ electrolyte. It was observed that the Zn ions are more active on the silk than the Al ions. Ionization may practically implement for improving the shining properties of natural polymers. Biodegradable polymers are most widely used for drug delivery system. It was also investigated that the bio-degradable polymer coating of the same drug capsule of different trade name shows different opto-electrical properties.

1. Ermler W.C. and Kalyon D.M. Computational and theoretical polymer science. — 1997 (7), 75—80
2. McCarthy B. et al. // Nanotechnology. — 2001, no. 12, 187—490
3. Schnable W. Polymer degradation. — Hanser International. — 1981
4. Hossain M.M. et. al. J. Rajshahi University Studies part-B. — 2000 (28), 1—8
5. M. M. Hossain et. al. // J. of Applied Science and Technology. — 2001, 02(01), 62—70
6. Hossain M.M. // Ind. J. Phys. — 1991 (65A), no. 3, 236—245
7. Hossain M.M. // Pramana. J. Phys. — 1990 (34), no. 6, 565—573
8. TY6-05-041-508,79(Russia)
9. TY6-19-226-83(Russia)

ПРОМЫШЛЕННЫЙ ТЕХНОЛОГО- И ЭКОЛОГО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ В ФТОРОГАНИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ КИРОВО-ЧЕПЕЦКОГО ХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

З.Л. Баскин

Вятский государственный гуманитарный университет, Киров, Россия; baskin.k-ch@rambler.ru

Завод № 752 на реке Вятке в Кировской области, известный сегодня в России и в мире как Кирово-Чепецкий химический комбинат (КЧХК), был одним из первых трех предприятий атомной промышленности Советского Союза. На Кирово-Чепецком химическом заводе (КЧХЗ) были пущены первые в СССР крупнотоннажные производства фторопласта-4 (1956 г.), плавких фторопластов и фторкаучуков, фторуглеродных и фторхлоруглеродных жидкостей и смазок (1961—1965 г.г.), необходимых народному хозяйству страны.

Для обеспечения надежного автоматического контроля экологически значимых параметров технологических процессов переработки агрессивных и токсичных фторхлорсодержащих сред на КЧХЗ были созданы первые в СССР специализированные промышленные хроматографы для контроля состава агрессивных фторсодержащих сред ХП-АС и ХП-АФС и промышленные анализаторы фторорганических соединений «ПАФОС», с помощью которых впервые был осуществлен непрерывный автоматический контроль примесей фторорганических соединений и других загрязняющих веществ (ЗВ) в воздухе рабочих зон и в выбросных технологических газах. (1963—1975 г.г.). Опыт применения этих приборов в фторорганическом производстве КЧХЗ позволил разработать концепцию непрерывного промышленного эколого-аналитического контроля загрязнения воздуха рабочих зон и выбросных технологических газов. Она предусматривает непрерывный статистический учет концентраций ЗВ в контролируемых зонах и оперативную индикацию недопустимого повышения содержания приоритетных ЗВ или их суммы при использовании динамических методов метрологического обеспечения измерений. Автоматизированный статистический учет обеспечивали с помощью автоматизированных пробоотборных устройств АПВ путем непрерывного сорбционного пробоотбора (НСП) ЗВ на твердых селективных сорбентах, периодической через задан-

ное время (смену, сутки) замены отработанных пробоотборных сорбционных трубок (ПСТ) и аэрозольных фильтров (АФ) новыми и автоматизированного лабораторного определения сконцентрированных примесей хроматографическими, спектрометрическими, гравиметрическими и другими инструментальными методами. Автоматический статистический учет обеспечивали с помощью автоматических хроматографов «ПАФОС», «ТОКСИГАЗ», «МИКРОФТОР» путем газохроматографического и ионохроматографического анализа концентрируемых ЗВ с использованием ПСТ в режиме короткоциклового сорбции, десорбции и регенерации. Оперативная индикация превышения концентрации ЗВ предусматривалась с помощью химических сенсоров. Метрологическое обеспечение измерений было основано на непрерывных динамических методах приготовления проверочных газовых смесей (ПГС) путем смешивания газовых потоков, диффузионного и экспоненциально-сорбционного дозирования микропотоков анализируемых веществ в поток газа-разбавителя и подачи ПГС в калибруемые или проверяемые аналитические приборы в комплекте с пробоотборными устройствами в условиях, соответствующих рабочим. Для решения этой задачи на КЧХК были впервые в СССР разработаны фторопластовые стабильные источники микропотоков газов и паров СИМГП «Микрогаз», использующиеся в качестве стандартных образцов и рабочих мер, и фторопластовые динамические установки «МИКРОГАЗ-Ф» для непрерывного приготовления ПГС.

Разработанные на Кирово-Чепецком химическом комбинате методы и средства промышленного технолого-аналитического и эколого-аналитического контроля и экомониторинга обеспечили экологическую безопасность технологических процессов, производственного персонала комбината и населения города Кирово-Чепецка.

СМЕНА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПАРАДИГМЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ФТОРКОМПОЗИТОВ

В.В. Воропаев¹, С.В. Авдейчик¹, А.А. Скаскевич¹, В.А. Струк¹, Г.Н. Горбацевич²

¹Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Гродно, Беларусь; 8811269@gmail.com

²Гродненский механический завод, Гродно, Беларусь

Проблема получения машиностроительных композиционных материалов на основе политетрафторэтилена, модифицированного функциональными компонентами различного состава, строения и дисперсности при их содержании более 20 мас.% далека от решения, что не позволяет осуществить промышленный выпуск композитов с повышенными параметрами деформационно-прочностных, триботехнических характеристик и нагрузочной способности.

В значительной мере сложившаяся ситуация обусловлена тем, что материаловедение фторкомпозитов базируется на концепции структурного модифицирования, разрабатывающей методы управления надмолекулярной структурой матричного политетрафторэтилена путем введения дисперсных частиц модификаторов.

Химическое строение макромолекулы ПТФЭ обуславливает необходимость использования для формования изделий технологии порошковых материалов и реализацию структурного парадокса на надмолекулярном, межфазном (граничном) и фазовом уровнях, который проявляется в:

– невозможности при выбранных технологических режимах одновременного формирования в матрице упорядоченной надмолекулярной структуры сферолитного типа, обеспечивающей повышенные деформационно-прочностные характеристики и износостойкость, и ламеллярной структуры со способностью к быстрому переориентированию в направлении движения, обеспечивающей низкие значения коэффициента трения при эксплуатации трибосистемы без подвода внешней смазки;

– низких параметрах деформационно-прочностных характеристик межфазных слоев в наполненных композитах, обусловленных выраженной инертностью макромолекул ПТФЭ в процессах адсорбционного взаимодействия с поверхностными слоями наполнителей различного состава, строения и формы, которая не может быть адекватно компенсирована высоким значением механической составляющей адгезионного взаимодействия в межфазной области вследствие отсутствия у ПТФЭ вязкотекучего состояния, обеспечивающего растекание свя-

зующего по поверхности наполнителя и образование бездефектного граничного слоя;

– формировании агломератов из дисперсных частиц ПТФЭ и частиц наполнителя с различным габитусом, приводящем к возникновению микродефектов структуры на фазовом уровне вследствие стерических и реологических препятствий для проникновения матричного полимера в высокоэластическом состоянии в межчастичное пространство агломератов частиц наполнителя.

Анализ концептуальных подходов к созданию композитов с повышенным содержанием модификатора (20—50 мас.%) свидетельствует о необходимости смены технологической парадигмы, основанной на традиционных методах регулирования надмолекулярной структуры термопластичных материалов с использованием дисперсных наполнителей и ионизирующих излучений, так как они не позволяют устранить наблюдаемый структурный парадокс, состоящий в снижении параметров служебных характеристик матричного полимера при увеличении доли наполнителя. Основным недостатком концепции структурного модифицирования является невозможность устранения дефектной структуры граничных слоев и кластеров наполнителей вследствие специфических особенностей химического строения ПТФЭ. Значимость межфазных и фазовых дефектов возрастает при увеличении степени наполнения матрицы.

Предложены технологические подходы к формированию изделий из высоконаполненных фторкомпозитов на стадиях подготовки компонентов, их смешивания, холодного прессования заготовок, их монолитизации при спекании и размерном модифицировании, которые обеспечивают увеличение параметров деформационно-прочностных и триботехнических характеристик не менее чем в 1,5—2 раза по сравнению с аналогами Флубон, Флувис, Флубон-ЛЮ. Разработанные технологии основаны на интенсификации процессов течения матричного полимера при воздействии механических, температурных напряжений или их сочетания.

**ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
ФЛУВИС И СУПЕРФЛУВИС В КОМПРЕССОРОСТРОЕНИИ**П.Н. Гракович¹, В.А. Шелестова¹, С.Г. Данченко¹, А.В. Смирнов², И.А. Шкурский³¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь;
grapn@rambler.ru²ПАО «Сумское НАП им. М.В. Фрунзе», Сумы, Украина³РМУ «Белгазэнергоремонт» ОАО «Белтрансгаз», Минск, Беларусь

Обобщается опыт применения белорусских композиционных материалов на основе фторопласта-4 и углеволокон «Флувис» и «Суперфлувис» в тяжелых компрессорах. Приводятся результаты трехлетнего мониторинга поршневых колец мотор-компрессоров ГМК-10ГКНАМ, используемых ОАО «Белтрансгаз» для закачки природного газа в подземные газохранилища. Установлено, что за 10000 часов работы износ колец, выполненных из композита Флувис» составил 0,1—0,2 мм, т.е. кольца остались в работоспособном состоянии. Выявлена взаимосвязь между физико-механическими характеристиками материала, в частности плотностью, и износостойкостью. Разработаны и зарегистрированы новые технические условия ТУ ВУ 400084698.248-2012 «Материал для уплотнений компрессорных машин Флувис-У», которые включают характеристики, оптимально отражающие условия работы уплотнений в компрессорах, и позволяют проводить входной контроль всех поступающих от производителя заготовок материала. Использование композита «Флувис-У» обеспечит повышение ресурса уплотнения компрессоров с 1 до 3—4 лет и более.

Приводятся данные о успешном опыте применения уплотнений из композиционного материала «Флувис» и «Суперфлувис» в различных поршневых компрессорах, разработанных и выпущенных на

Сумском машиностроительном объединении им. М.Ф. Фрунзе. На сегодняшний день, белорусские композиты работают в нескольких сотнях компрессоров с базой от 2,5 до 40 тонн на автомобильных газонаполнительных компрессорных станциях (АГНКС), химических заводах, предприятиях газового комплекса. Разработанные методики расчета уплотнений обеспечивают ресурс в условиях сухого трения или со смазкой в 5—10 тыс. часов. При расчете используются данные о физико-химических характеристиках композитов при рабочих температурах — 120...200 °С.

Однако не во всех случаях материал обеспечивает заданный ресурс работы уплотнения. Приводятся результаты анализа поршневых колец воздушного компрессора 6ВМ16-140/200, изготовленных на одном из заводов из композита «Флувис» по случайным чертежам. В результате кольца проработали со смазкой только 300 часов. Установлено, что разрушение произошло по независимым от материала причинам и имеет, скорее всего, кавитационный характер. Таким образом, ошибки в расчете детали и в ходе эксплуатации могут стать причиной преждевременного выхода из строя любого узла, в том числе и из композитов

МЕЛКОДИСПЕРСНЫЙ ФТОРОПЛАСТ-4 ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ

Л.Ф. Иванов¹, Л.А. Калинин¹, В.Ю. Сериков²

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси; Гомель, Беларусь;
lfivanov@tut.by

²Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

Цель

Целью данной работы являлось исследование технологии получения мелкодисперсного фторопласта-4, его свойств и возможности использования в качестве товарного продукта.

Технология

Процесс лазерной абляции политетрафторэтилена (ПТФЭ, фторопласт-4) изучен достаточно хорошо [1] и его принципы используются для получения ряда товарных продуктов — в основном волокнисто-пористых материалов [2].

Побочным продуктом технологии является мелкодисперсный порошок фторопласта-4, выход которого невысок, но свойства позволяют предположить возможность его использования для технических целей. Изменяя параметры процесса можно влиять на массовый выход порошка. Также можно регулировать его свойства. Основные параметры позволяющие это делать — давление в вакуумной камере и интенсивность лазерного излучения. При давлении более 10^3 Па порошок близок по свойствам к промышленно выпускаемому фторопласту. При понижении давления ниже 10 Па порошок становится более низкомолекулярным и мелкодисперсным. Такой же порошок образуется при интенсивности лазерного излучения $0,2 \dots 0,6$ МВ/м². При повышении интенсивности происходит увеличение доли абляционной составляющей порошка.

Свойства

Размер частиц порошка порядка 60 нм, насыпная плотность около 40 кг/м³. По данным ДСК пик плавления порошка несколько размыт, что не позволяет точно определить температуру плавления, но есть два четких пика кристаллизации, что говорит о наличии двух модификаций полимера. Причем это различие сохраняется при повторном снятии ДСК после плавления. По нашему мнению одна модификация — это порошок образующийся при полимеризации в газовой фазе, а вторая — непосредственно результат лазерной абляции. Порошок, образующийся при абляционном распылении имеет вязкость расплава как у исходного ПТФЭ и не растекается при термообработке. Полимеризованный порошок имеет более низкую молекулярную массу и соответственно более низкую вязкость расплава, что позволяет получать из него покрытия.

Применение

Применение мелкодисперсного порошка фторопласта-4 обусловлено его свойствами. В основном это покрытия функционального назначения — антифрикционные, антиадгезионные, гидрофобные.

Антифрикционные покрытия. Использование мелкодисперсного фторопласта-4 в качестве антифрикционного покрытия ограничивается его прочностными характеристиками. Покрытие достаточно хрупкое и в данном случае работает скорее как твердая смазка модифицирующая исходную поверхность. Поэтому наиболее выгодные условия эксплуатации таких покрытий — это малонагруженные узлы трения, в которых максимальный эффект проявляется при нагрузках $250 \dots 1000$ мН.

Даже при удалении основной массы материала покрытия, оставшийся микронный слой соизмеримый с шероховатостью поверхности приводит к снижению коэффициента трения с $0,5 \dots 0,75$ до $0,075 \dots 0,15$.

Антиадгезионные покрытия. Положительные результаты получены при использовании покрытий в качестве долговременного антиадгезионного слоя в литевых формах. Поскольку покрытие практически не имеет толщины, оно не влияет на размерные характеристики детали, но в тоже время позволяет безболезненно извлекать из формы детали достаточно сложной формы.

Гидрофобные покрытия. Покрытия из мелкодисперсного фторопласта-4 применяются для решения задачи гидрофобизации поверхности. Краевой угол смачивания воды с 35° на исходной поверхности увеличивается до 150° на покрытой поверхности до оплавления и снижается до 115° после оплавления.

Выводы

Таким образом, специфические свойства фторопласта-4, реализованные посредством модифицирования поверхности мелкодисперсным низкомолекулярным порошком, позволяют максимально эффективно решать конкретные технические задачи и расширять номенклатуру товарных продуктов, получаемых при лазерной абляции ПТФЭ.

1. Гракович П.Н., Иванов Л.Ф., Калинин Л.А., Рябченко И.Л., Толстопятов Е.М., Красовский А.М. Лазерная абляция политетрафторэтилена // Российский химический журнал (Журнал российского химического общества им. Д.И. Менделеева). — 2008 (52), № 3, 97—105
2. Иванов Л.Ф. Физика и технология лазерной переработки ПТФЭ в волокнисто-пористые материалы // Автореф. канд. дисс. — 1998

АНТИФРИКЦИОННЫЙ НАНОКОМПОЗИТ
НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНАО.В. Кропотин¹, Ю.К. Машков¹, О.А. Кургузова²¹Омский государственный технический университет, Россия; kropotin@mail.ru
²Военная академия материально-технического обеспечения (филиал, г. Омск), Россия**Цель**

Получение антифрикционного композиционного материала на основе политетрафторэтилена с использованием углеродных нанотрубок в составе комплексного наполнителя.

Материалы и методы

В качестве матрицы при создании полимерного композиционного материала (ПКМ) выбран политетрафторэтилен (ПТФЭ), а в качестве компонентов комплексного наполнителя по результатам предварительных исследований выбраны: скрытокристаллический графит, дисульфид молибдена, многослойные углеродные нанотрубки марки Graphi-strength фирмы Arkema. Для изготовления материалов использовали технологию свободного спекания и технологию спекания в условиях ограничения теплового расширения материала. В качестве способа повышения эффективности структурной модификации выбрано ограничение теплового расширения в объеме при синтезе изделия. При оптимизации состава комплексного наполнителя-модификатора, применяемого в создаваемом композите, исследовалось пространство параметров, набор пробных точек для которого был сформирован с применением ЛПП-последовательностей [1]. Выбранные критерии качества: скорость изнашивания (J) и коэффициент трения (f). Критериальные ограничения: $J \leq J_{кр}$, $f \leq f_{кр}$, где $J_{кр}$ — скорость изнашивания материала-прототипа в аналогичных условиях испытаний, $f_{кр}$ — коэффициент трения материалов Криолон-3 и Криолон-5 для аналогичных условий испытаний.

Результаты и их обсуждение

В результате первой итерации процедуры определения состава ПКМ получены композиции, для которых значения скорости изнашивания меньше критериального на 28—70%, а значения коэффициента трения равны критериальному значению. В результате анализа полученных данных было принято решение не проводить дальнейшую оптимизацию состава ПКМ, а использовать метод повышения эффективности структурной модификации ПТФЭ, не ослабляя критериального ограничения $f \leq f_{кр}$ и выбрав в качестве объекта дальнейших исследований ПКМ следующего состава: скрытокристаллический графит 4,5—9,0 мас.%, дисульфид молибдена 0,75—2,62 мас.%, углеродные нанотрубки 0,63—2,5 мас.%, ПТФЭ — остальное. Выбор состава

был осуществлен исходя из минимальных значений скорости изнашивания.

В условиях ограничения теплового расширения, когда объем заготовки с повышением температуры остается практически постоянным, сохраняется плотная упаковка всех частиц композиции, уменьшается пористость, изменение параметров напряженно-деформированного состояния обеспечивает сохранение и усиление адгезионных связей между компонентами и значительное повышение характеристик механических и триботехнических свойств ПКМ. В табл. 1 приведены показатели механических и триботехнических свойств образцов, изготовленных свободным спеканием и спеканием в условиях ограничения теплового расширения.

Таблица 1. Показатели механических и триботехнических свойств ПКМ, изготовленных по различным технологиям

Способ изготовления	Показатели свойств (средние значения)				
	$J, 10^{-4}$ г/час	f	$E, \text{МПа}$	$\sigma_{в}, \text{МПа}$	$\delta, \%$
Свободное спекание	8,1	0,12	188	15,3	143
Спекание при ограничении теплового расширения	4,7	0,10	248	18,9	170

Для выявления закономерностей структурных изменений в матрице при модификации ПТФЭ комплексным наполнителем и использовании технологического приема, повышающего эффективность структурной модификации, были проведены рентгеноструктурный анализ и электронная микроскопия изучаемых ПКМ.

Полученные результаты свидетельствуют о сохранении общей закономерности формирования упорядоченных областей в матрице при ее модификации структурно активными наполнителями — изменение размеров упорядоченных областей матрицы, сопровождаемое изменением морфологии ее надмолекулярной структуры и повышением характеристик механических и триботехнических свойств.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 12-08-98022) и Министерства образования и науки РФ (код проекта 14.В37.21.1104).

3. Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. — М.: Наука. — 1981

ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПТФЭ И Al_2O_3 А.А. Охлопкова¹, А.Г. Аргунова²¹Северо-восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия; Okhlopkova@yandex.ru²Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия**Цель**

В данной работе отражены результаты структурных исследований полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) и неорганических волокон с различной кристаллической структурой, состоящих из нанозерен оксидов алюминия и магния, и установление корреляции с эксплуатационными свойствами наноккомпозитов.

Материалы и методы

В качестве полимерной матрицы использовали политетрафторэтилен (ПТФЭ ГОСТ 10007-80). В качестве наполнителей использовали нанопорошки оксидов алюминия и магния (10—50 нм). Наполнители получены в Институте общей и неорганической химии НАН Беларуси синтетическим путем — термическим окислением солесодержащих продуктов при 800—1200 °С [1].

ПКМ получали путем сухого смешения компонентов в лопастном смесителе при скорости вращения ротора 3000 об/мин с предварительной активацией как ПТФЭ, так и наполнителей в планетарной мельнице АГО-2, активаторе «Fritch» в течение 2 мин. Образцы для испытаний изготавливали по стандартным методикам (ГОСТ 11262-80).

Структурные исследования проводились с помощью растрового электронного микроскопа с рентгеноспектральным анализом JSM-6480LV фирмы JEOL (Япония), рентгеновские дифрактограммы получены на дифрактометре URD-6 (Германия) на излучении CoK_{α} ($\lambda_{ср.} = 1,7889$) с шагом $0,1^{\circ}$ и временем накопления в каждой точке 5 сек.

Результаты и обсуждение

Зарегистрировано повышение деформационно-прочностных характеристик на 10—35%, износостойкости в 300—320 раз, уменьшение коэффициента трения ПКМ. Улучшение эксплуатационных характеристик обусловлено образованием сферолитной структуры композитов при введении наномодификаторов, при этом наночастицы наполнителя служат центрами кристаллизации полимера.

Методами растровой электронной и сканирующей зондовой микроскопии зарегистрировано обогащение поверхности трения ПКМ частицами нанонаполнителей. Повышение износостойкости объясняется тем, что активированные наночастицы наполнителя при изнашивании ПКМ локализируются на поверхности трения, формируя слой, предохраняющий материал от разрушения.

Известно [2], что повышение сопротивления

полимеров к износу при увеличении адгезионного взаимодействия между полимером и поверхностью наполнителя связано с формированием в граничных областях ориентированной надмолекулярной структуры сферолитного типа, получившей название «транскристаллической».

Для оценки соотношения кристаллической и некристаллической фаз в объеме ПКМ проведены рентгеноструктурные исследования. Полученные рентгенодифрактограммы имеют типичные для ПТФЭ кристаллический пик ($2\theta \sim 22^{\circ}$) и гало некристаллической фазы (10—30°). Гало аморфной фазы наиболее выражено у исходного полимера. Результаты рентгеновского фазового анализа приведены в табл. Рентгеновскую степень кристалличности полимера определяли по формуле:

$$\alpha = I_K / (I_K + 0,556 I_A), \quad (1)$$

где коэффициент 0,556 введен для учета поправок на температурный фактор и разницу плотностей аморфной и кристаллической фаз [3].

Таблица. Результаты рентгеноструктурного анализа

Композит	$2\theta^{\circ}$	B°	$d, \text{Å}$	$\alpha, \%$
ПТФЭ	20,96	0,17	4,917	72
ПТФЭ + 1% НП	20,95	0,24	4,919	71
ПТФЭ + 2% НП	20,93	0,21	4,924	70
ПТФЭ + 5% НП	20,79	0,31	4,957	65

Примечание: $2\theta^{\circ}$ — угол дифракции рентгеновского излучения, B° — полуширина дифракционного профиля линии, d — межплоскостное расстояние; α — степень кристалличности.

Уменьшение степени кристалличности с повышением содержания наполнителей свидетельствует о структурной активности наполнителей и интенсификации процессов кристаллизации с формированием мелкосферолитной структуры композита.

Таким образом, разработаны новые рецептуры и технологии получения наноккомпозитов с высокими эксплуатационными характеристиками, существенно расширяющие диапазон их практического применения в герметизирующих системах и триботехнических узлах, как в режиме сухого трения, так и в режиме трения в среде жидких смазок.

1. Ульянова Т.М., Крутько Н.П., Витязь П.А., Титова Л.В., Медиченко С.В. Особенности формирования структуры тугоплавких соединений на основе ZrO_2 , Al_2O_3 // Доклады НАН Беларуси. — Минск. — 2004 (48). № 2, 103—108
2. Соломко В.П. Наполненные кристаллизующиеся полимеры. — Киев: Наукова думка. — 1980
3. Мартынов М.А., Вылегжанина К.А. Рентгенография полимеров. — Л.: Химия. — 1972

ПРИДАНИЕ УЛУЧШЕННЫХ И СПЕЦИАЛЬНЫХ СВОЙСТВ СИНТЕТИЧЕСКИМ ВОЛОКНИСТЫМ МАТЕРИАЛАМ НА ОСНОВЕ ИХ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ФТОРПОЛИМЕРАМИ

Н.П. Пророкова^{1,3}, В.М. Бузник^{2,3}

¹Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, Иваново, Россия; npp@isc-ras.ru

²Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия

³Консорциум «Фторполимерные материалы и нанотехнологии»

Цель

Получение синтетических волокнистых материалов с улучшенными и специальными свойствами на основе использования фторполимеров для поверхностного и объемного модифицирования волокон.

Материалы и методы

Объектами исследования являлись полипропиленовые нити, штапельные волокна, ткани, нетканые полотна, полиэфирные ткани.

В качестве модифицирующих агентов использовали ультрадисперсный политетрафторэтилен (УПТФЭ) торговых марок «Форум» и «Флуралит», теломеры тетрафторэтилена (ТФЭ), синтезированные в ацетоне и хлористом бутиле, суспензия фторопласта 4Д, газовые смеси на основе фтора.

Объемное модифицирование полипропиленовых волокнистых материалов (нитей, штапельных волокон, тканей, нетканых полотен) осуществляли введением малых количеств УПТФЭ в расплав волокнообразующего полимера на стадии формования нитей.

Поверхностное модифицирование полиэфирной ткани проводили методами обработки ткани растворами УПТФЭ в сверхкритическом диоксиде углерода (СК-СО₂) или теломеров ТФЭ в ацетоне и хлористом бутиле.

Использовали также метод создания покрытия на поверхности полипропиленовой нити при её формировании из расплава, который реализовали с помощью нанесения суспензии фторопласта 4Д на полужесткую нить и последующего ориентационного вытягивания нити с покрытием.

Для придания нетканым полипропиленовым материалам биоцидности и полиэфирным тканям гидрофильности применяли метод прямого газового фторирования волокнистых материалов.

Результаты и их обсуждение

Разработаны способы объемного и поверхностного модифицирования синтетических волокнистых материалов, основанные на использовании фторполимеров (рис. 1).

Установлено, что при модифицировании полипропиленовой нити на стадии формования посредством введения в расплав малых количеств УПТФЭ частицы последнего, ориентированные и упрочненные в процессе формования и ориентационного вытягивания нити, оказывают на волокнистый материал армирующее действие и способствуют увеличе-

нию межфазного взаимодействия в полимере. Это приводит к значительному улучшению эксплуатационных характеристик нитей и изделий из них.



Рис. 1. Новые способы модифицирования синтетических волокнистых материалов, основанные на использовании фторполимеров

Показано, что при обработке полиэфирной ткани растворами УПТФЭ в СК-СО₂ или теломеров ТФЭ в ацетоне и хлористом бутиле на поверхности каждой нити формируется ультратонкая, непрерывная и равномерная пленка фторполимера, обеспечивающая придание ткани ультрагидрофобности. Эффект превышает достигаемый при использовании традиционных фторсодержащих препаратов и является устойчивым к эксплуатационным воздействиям.

Способ формирования фторполимерного покрытия, основанный на нанесении разбавленной суспензии фторопласта 4Д на поверхность полужесткой нити на стадии замазывания, обеспечивает повышение гидрофобности нитей, прочности, модуля упругости, устойчивости к воздействию солнечных лучей и агрессивных жидкостей, значительное снижение коэффициента трения. Нанесенное покрытие, и, следовательно, достигнутый эффект, является устойчивым к действию механического истирания.

Прямое газовое фторирование обеспечивает придание полипропиленовым нетканым материалам барьерных антимикробных свойств, а полиэфирным тканям — повышенной гидрофильности.

ТРИБОЛОГИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ И СТРУКТУРА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА И ТЕРМОРАСШИРЕННОГО ГРАФИТА

В.М. Шаповалов¹, А.В. Наумкин², А.С. Юдин²¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь; mpri@tut.by²Институт элементоорганических соединений РАН, Москва, Россия**Введение**

Терморасширенный графит (ТРГ) является перспективным наноматериалом с высокими механическими, тепло- и электрическими характеристиками в сравнении с другими наноразмерными формами углеродных материалов. Также ТРГ обладает сравнительно низкой стоимостью, что объясняет всплеск числа исследований по созданию композитов с его использованием. Как и кристаллиты исходного графита, пластинки ТРГ способны к расслаиванию под воздействием сдвиговых напряжений при переработке. Сочетание способностей к армирующему и антифрикционному эффекту делает ТРГ привлекательным компонентом для создания новых триботехнических материалов с улучшенными показателями.

Цель

Изучение влияния условий получения ТРГ на триботехнические характеристики композитов ПТФЭ-ТРГ.

Материалы и методы

В качестве исходного материала для получения ТРГ использовали расширяемый графит марки EG-350 (КНР), который подвергли термообработке при ~ 550 °С на воздухе с последующим механическим измельчением в лопастном смесителе и промывкой водой. Порции ТРГ дополнительно диспергировали ультразвуком (УЗ) в воде или глицерине на установке УЗДН-1УЧ2, оснащенной коническим излучателем (20 кГц, 1 час). Перед введением в композит ТРГ промывали водой и сушили при 180 °С. Сухим смешением и свободным спеканием получали заготовки таблетированных композиций ПТФЭ-ТРГ.

Результаты и их обсуждение.

Исследование образцов ТРГ методами рентгеноструктурного анализа (РСА) и рентгеновской фотозлектронной спектроскопии (РФЭС) показали, что под воздействием термоудара расширяемый графит разбивается на кристаллиты нанографита толщиной ~ 78 нм (234 атомарных слоев), содержащие ~ 6 ат.% кислорода в виде преимущественно гидроксильных и эпоксидных групп. Дополнительное УЗ-диспергирование в воде и глицерине незначительно снижает среднюю толщину кристаллитов — до 75 и 66 нм соответственно.

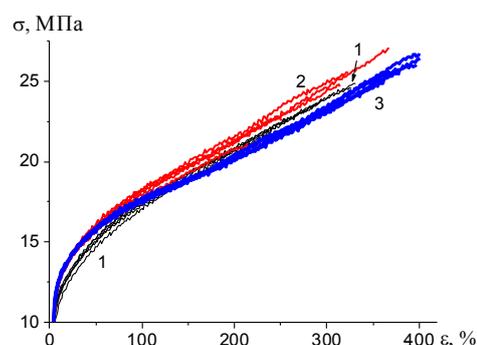


Рис. 1. Зависимость напряжение — деформация для композитов ПТФЭ с 5 мас.% ТРГ исходного (1) и УЗ-обработанного в воде (2) и глицерине (3). Температура испытаний 22 °С

Увеличение дисперсности ТРГ под влиянием УЗ-обработки значительно повышает прочностные характеристики композитов ПТФЭ-ТРГ при растяжении (рис. 1), что, с учетом увеличения их плотности на 1,3—1,7%, обусловлено ростом гомогенности и уменьшением дефектности композита. Однако скорость изнашивания композита оказалась почти на порядок выше, чем у аналогичного состава на основе исходного ТРГ. Разнонаправленность изменений механических и триботехнических характеристик композитов ПТФЭ-ТРГ под влиянием УЗ-обработки наполнителя обусловлена в первую очередь ее негативным воздействием на смазочные свойства ТРГ. Так, известно, что при воздействии УЗ молекулы воды диссоциируют на радикалы, что обуславливает появление у нее восстановительных свойств, которые усиливаются в присутствии, например, изопропанола [1]. При УЗ-диспергировании ТРГ в воде обнаружено значительное снижение относительного содержания кислородсодержащих групп, что, вероятно, оказало негативное влияние на адгезию пленок переноса к стальному контртелу и увеличило скорость изнашивания. Вероятно, и в присутствии другого спирта — глицерина также происходят процессы, инициированные УЗ, с изменением химической структуры поверхности частиц ТРГ и, соответственно, их смазывающей способности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского и Российского фондов фундаментальных исследований (проекты БРФФИ Т12Р-225 и РФФИ_Бел №12-03-90016).

1. Jin Ho Bang and Kenneth S. Suslick Applications of Ultrasound to the Synthesis of Nanostructured Materials // *Adv. Mater.* — 2010, 22, 1039—1059

СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция 7

Механика полимерных композитов и моделирование

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ И ТРИБОЛОГИЯ
(ПОЛИКОМТРИБ-2013)

24—27 июня 2013 г., Гомель, Беларусь

EFFECT OF PARTICLE SIZE DISTRIBUTION OF TWO-COMPONENT COMPOSITES ON THEIR STRESS-STRAIN STATE

T.V. Ryabchenko¹, H. Choe²

¹V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of NAS of Belarus, Gomel, Belarus, rits@tut.by

²Kookmin University, Korea, heeman@kookmin.ac.kr

Change of filler particle size distribution is effective regulation method of mechanical characteristics of composites. Use of simulation by application of physical mesomechanics [1] and finite-element method [2—3] is an alternative of labor-consuming and long-term experimental study on choice of optimal distribution. Internal structure of a composite plays a key role in stress concentrator localization process. Research of heterogenous material peculiarities allows us to predict deformation and strength behavior at composite making. Mesomechanical models allow us to determine local stresses and deformations in separate filler particles and adjacent volume of a matrix in comparison with approximate composite modeling as the homogeneous materials. Applying different strength criteria one may reveal a destruction of a composite component.

As an example of using the given approach we developed the volume models of the material mesofragments based on titanium and copper containing a filler as particles of tungsten and polytetrafluorethylene (PTFE) of different dispersibility of 50, 100, 200 μm (Fig. 1).

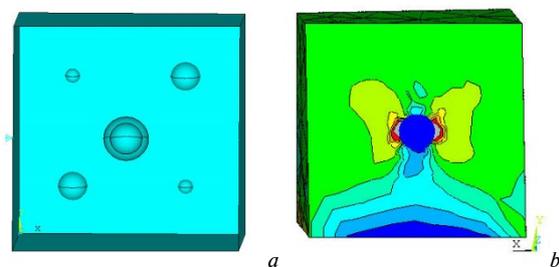


Fig. 1. A mesofragment of material based on copper containing PTFE filler of different dispersibility (a) and its stress state (b)

Analyzing the general picture of stress state of the above composites one may note the following (Table). The homogeneous stress state is generated in polymer particles at which stress values into PTFE particles do not exceed 60 MPa. The large stress gradients are observed on the interphase boundaries between polymer

particles and copper matrix. The stress values arrive maximum and are 148 MPa at filler (PTFE) dispersibility in the range on 50 to 200 μm. The tangential stresses reverse sign on the interphase boundaries between copper-PTFE. This fact depicts on the most destructible areas.

Table. Elastic moduli and maximal stresses

Composite	Material	E , GPa	ν	σ , MPa	τ , MPa
	Titanium	112	0,32	145	37
	Tungsten	415	0,29		
	Copper	110	0,30	148	39
	PTFE	0,49	0,45		

Thus, it was established that heterogeneity of composite structure results in inhomogeneous distribution of stresses with the stress concentration induced local destruction of material.

It should be noted some perspective applications of the given research: possibility of analysis of stress-strain state as both volume and on surface of structurally heterogeneous materials; consideration of stress-strain state variation into the samples under study during different load application. The suggested technique for 3D modeling of composites with dispersed filler and metal alloys is a necessary addition to experimental methods of composite research in conditions of static and dynamic loading.

This work was supported by the project SCST-Korea-2013 (project T13KORG-002).

1. Physical mesomechanics and computer design of materials. Under ed. V.E. Panin. Vol. 1, 2 — Novosibirsk, Nauka. — 1995 (in Russian)
2. Eliseev K.V., Zinoveva T.V. Computational practical work in modern CAE-systems: Tutorial. — Sankt-Peterburg: Publisher of Polytechnic university. — 2008 (in Russian)
3. Nakasone, T. A. Stolarski and S. Yoshimoto. Engineering analysis with ANSYS software. — Elsevier Butterworth-Heinemann. — 2006

ANALYSIS OF A PULL-OUT TEST WITH REAL SPECIMEN GEOMETRY

S.F. Zhandarov^{1,2}, E. Mäder^{2,3}

¹ V.A. Bely Metal-Polymer Research Institute National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus;
serge.zhandarov@gmail.com

² Dept. Composite Materials, Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden, Germany

³ Institute of Material Science, Technische Universität Dresden, Germany

Single fiber pull-out test is one of the most popular micromechanical techniques used for characterizing interfacial shear strength (IFSS) in fibrous composites. It consists in measuring the force, F , required for complete pulling a fiber out of the matrix droplet. To calculate local IFSS, the droplet shape is traditionally approximated as an ‘equivalent cylinder’ having the height and volume equal to the height and volume of the real droplet [1]. However, it is clear that the stress state near the point of fiber entry in the matrix can be substantially different for the real droplet and the equivalent cylinder [2, 3].

In order to investigate the effect of the droplet shape on the calculated IFSS value, we compared three models of the pull-out specimen. One of them was the equivalent cylinder, and the others were versions of the platelet model [3] in which the matrix droplet was represented as a set of thin parallel disks with the diameters varying along the embedded fiber to approximate the real droplet shape. Two different model droplet shapes were considered: (1) spherical segment [4] and (2) realistic shape including meniscus (wetting cone) on the fiber [5] (Fig. 1). For equivalent cylinders and spherical segments, analytical expressions for the profiles of the fiber tensile stress and the IFSS have been derived, including the effects of residual thermal stresses and interfacial friction; for real-shaped droplets, stress profiles have been calculated numerically. Then these profiles were used to numerically simulate the processes of crack initiation and propagation in the pull-out test and to obtain theoretical force–displacement curves for specimens with different embedded lengths and wetting cone angles. Our simulations showed that the interfacial crack in real-shaped droplets initiated at very small (practically zero) force applied to the fiber, in contrast to the equivalent cylinder approximation. This also drastically changed the shapes of the force–displacement curves (Fig. 2). As a result, the equivalent cylinder approach underestimated the interfacial shear strength (IFSS) value determined from the pull-out test and at the same time overestimated the interfacial frictional stress; the smaller was the wetting cone angle, the greater the difference. For droplets in the shape of a spherical segment, the error in the calculated IFSS value in the equivalent cylinder model is about 10–20%, and for real-shaped droplets with small wetting angles it can be 30% and more. We proposed and discussed a method of correction to the equivalent cylinder model in order to avoid this underestimation.

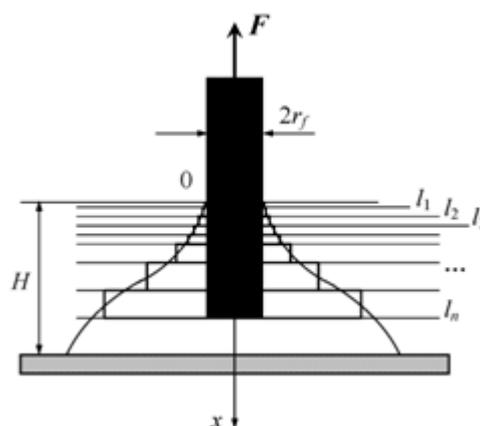


Fig. 1. The platelet geometry for the embedded fiber zone

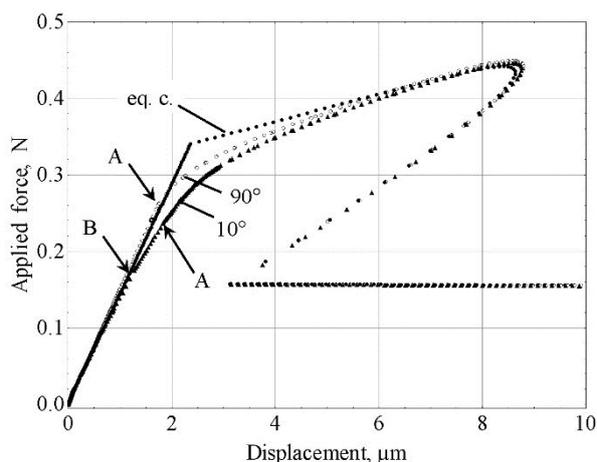


Fig. 2. Simulated force-displacement curves for pull-out specimens with different wetting cone angles (embedded length = 500 μm , IFSS = 60 MPa, frictional stress = 5 MPa, eq. c. = equivalent cylinder). Kink points are designated as A and B.

1. Nairn J. A. Analytical fracture mechanics analysis of the pull-out test including the effect of friction and thermal stresses // *Adv. Compos. Lett.* — 2000 (9), 373—383
2. Singletary J, Lauke B, Beckert W. Examination of fundamental assumptions of analytical modeling of fiber pull-out test // *Mech. Compos. Mater. & Struct.* — 1997 (4), 95—112
3. Mendels D.-A., Letierrier Y., Månson J.-A. E. A stress transfer model for single fibre and platelet composites // *J. Compos. Mater.* — 1999 (33), 1525—1543
4. Zhandarov S., Mäder E. Analysis of a pull-out test with real specimen geometry. Part I: matrix droplet in the shape of a spherical segment // *J. Adhesion Sci. Technol.* — 2013 (27), 430—465
5. Zhandarov S., Mäder E. Analysis of a pull-out test with real specimen geometry. Part II: the effect of meniscus // *J. Adhesion Sci. Technol.* — 2013, accepted for publication

ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ ОРГАНОПЛАСТИКОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДА-6

А.И. Буря¹, Э.В. Ткаченко²

¹Украинская Технологическая Академия, Днепропетровск, Украина, ol.burya@gmail.com

²Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности, Севастополь, Украина

Введение

В последнее время растет интерес к созданию армированных пластиков на основе термопластичных матриц. Еще в 1985 г. директор фирмы «Дюпон де Немур» М. Бокоман (M. Wosoman) считал, что армированные термопласты станут доминирующими материалами.

Особенно актуально повышение эксплуатационных свойств полимеров для широко используемых, многотоннажных представителей полимеров, таких как полиамиды. Среди широкого спектра полиамидов важнейшая роль отводится полиамиду-6 (ПА-6), значительная часть которого используется для производства изделий технического назначения.

Большое не только практическое, но и научное значение имеет тепловое расширение полиамидов. Так у ПА-6 коэффициент термического линейного расширения (КТЛР) на порядок больше чем у металлов. Эта особенность полимеров приводит зачастую к нежелательным явлениям: в композиционных материалах типа «полимерная матрица — наполнитель»: возникают остаточные напряжения, обуславливающие образование значительных термоупругих усилий, которые вызывают разрушение композитного материала [1].

Цель работы — изучение влияния содержания полиимидных волокон ариимид-Т на КТЛР органо-пластиков на основе ПА-6.

Тепловое расширение пластиков является важным теплофизическим параметром. Изменение объема полимера связано с физическими и химическими процессами, происходящими в нем: стеклованием, кристаллизацией, сшивкой, размягчением и т.д. В равновесном состоянии твердые тела занимают объем, соответствующий минимуму свободной энергии. При повышении температуры увеличивается амплитуда колебаний атомов, их среднее смещение от положения равновесия. Вследствие этого твердое тело будет изменять свои размеры до тех пор, пока его объем не станет таким, которому соответствует минимум потенциальной энергии. Количественной характеристикой теплового расширения полимеров служит КТЛР, определяемый при постоянном давлении.

Методы исследований

КТЛР определяли на dilatометре ДКВ-5АМ согласно ГОСТ 15173-80. Для армирования ПА-6 использовали дискретное термостойкое полиимидное волокно ариимид-Т, содержание которого варьировалось от 15 до 45 мас.%

Результаты и обсуждение

Все кривые $\varepsilon = f(\tau)$ исследованных композитов имеют (рис. 1) нормальный вид без каких-либо аномальных («уступы», «ямы») отклонений.

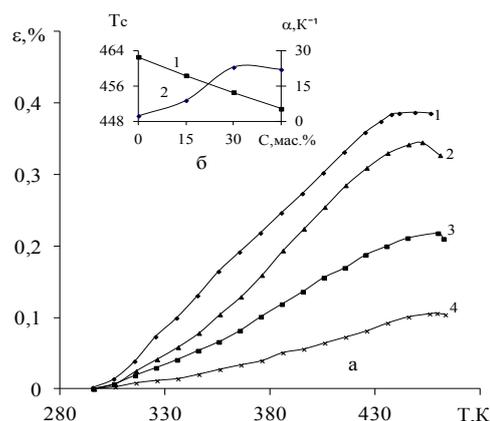


Рис. 1. Дилатометрические кривые (а) ПА-6 (1) и органо-пластиков на его основе, содержащих 15 (2), 30 (3), 45 (4) мас.% волокна. Влияние волокна на средний КТЛР (б) в диапазоне температур 300—440 К и температуру стеклования (2б)

Таблица 1. Коэффициент термического линейного расширения

Температурный интервал, К	$\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ при содержании ариимид-Т, мас.%			
	—	15	30	45
300—310	20,00	12,44	9,37	4,02
300—330	26,47	14,57	10,15	3,51
300—350	29,12	17,38	10,95	4,52
300—370	28,61	19,91	12,62	4,91
300—390	28,93	22,40	13,61	6,02
300—410	28,63	23,80	14,26	6,57
300—430	26,32	24,29	14,07	6,55
300—440	27,40	24,26	14,05	6,57

Абсолютные значения КТЛР органо-пластиков изменяются от $3,51 \cdot 10^{-6}$ до $24,29 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ в диапазоне 300—440 К (табл. 1, рис.1), что дает возможность, манипулируя составом, подобрать композит с требуемым значением данного показателя.

Заключение

Можно сделать вывод, что армирование ПА-6 волокном ариимид-Т в количестве 15—45 мас.% позволяет снизить его КТЛР в 1,4—5,3 раза при одновременном увеличении T_g на 3—11 градусов.

1. Канн К. Н. Вопросы теории теплового расширения полимеров. — Л.: Изд-во Ленинградского ун-та. — 1975

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАСШТАБНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПРОЧНОСТИ ВОЛОКОН

С.Ф. Жандаров¹, В.Н. Докучаев²¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь;
serge.zhandarov@gmail.com²Светлогорское производственное объединение «Химволокно», Светлогорск, Беларусь

Знание прочности волокон на различных базовых длинах чрезвычайно важно при измерении их адгезии к матрицам методами фрагментации и вытягивания жгута, а также при прогнозировании механических свойств волокнистых композитов.

Традиционно прочность волокон описывают моделью «слабого звена», приближая функцию распределения (ФР) их прочности распределением Вейбулла [1]:

$$F(\sigma) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{\sigma}{a}\right)^{\lambda}\right], \quad (1)$$

где $F_L(\sigma)$ — вероятность того, что волокно длины L разорвется при нагрузке, не превышающей σ ; λ — характерный линейный размер (длина «элементарного звена», содержащего один дефект); a и b — параметры Вейбулла. В модели Вейбулла прочность экспоненциально возрастает с уменьшением длины волокна, а параметр b однозначно определяет коэффициент вариации прочности, который оказывается не зависящим от L . Принято считать, что ФР Вейбулла для прочности волокна получается как предельная (для большого числа элементарных звеньев) при любом разумном распределении прочности самих звеньев [2].

Однако практика показывает, что на очень коротких длинах прочность волокна, как правило, возрастает медленнее, чем предсказано формулой (1), а коэффициент вариации увеличивается для длинных волокон [3]. Для объяснения этих закономерностей используют модифицированные модели «слабого звена» с сохранением вейбулловской аппроксимации [4], в которых, однако, теряется наглядность и физический смысл исходной модели.

В то же время ФР прочности длинного волокна может быть получена в модели «слабого звена» непосредственным вычислением, исходя из ФР прочности дефектов (элементарных звеньев) $F(\sigma)$. Легко показать, что для волокна из n звеньев ($n = L/\lambda$) ФР выразится формулой

$$F_n(\sigma) = 1 - \left[1 - \exp\left(-\left(\frac{\sigma}{a}\right)^{\lambda}\right)\right]^n. \quad (2)$$

В данной работе в качестве ФР прочности дефектов использовали несколько модельных функций: 1) два дискретных значения прочности $\sigma_1 < \sigma_2$; 2) нормальное распределение, усеченное слева в точке $\sigma = 0$; 3) «симметризованное» нормальное распределение; 4) распределение Вейбулла. Обна-

ружено, что лишь при вейбулловском распределении прочности дефектов прочность волокон также имеет ФР Вейбулла, причем при любой длине волокна (количестве звеньев). В остальных случаях ФР прочности волокон на любых длинах существенно отличается от вейбулловской и не стремится к ней даже при очень большом числе звеньев ($\sim 10^{10}$ и более), а коэффициент вариации изменяется в широких пределах. Приближение ФР прочности волокна функцией Вейбулла имеет смысл лишь при не очень большом диапазоне изменения длин (менее чем на порядок). С увеличением длины волокна эффективный параметр Вейбулла b изменяется сложным образом, проходя через максимум. В то же время коэффициент вариации проходит через минимум и увеличивается для длинных волокон, стремясь к единице для усеченного нормального распределения и к 0,5 для симметризованного.

Учитывая естественный разброс диаметров волокон, из формулы (2) можно получить ФР силы N , необходимой для разрыва волокна:

$$F_n(N) = \int f_n(\sigma) f(D) d\sigma dD, \quad (3)$$

где $f_n(\sigma)$ и $f(D)$ — плотности распределения прочности и диаметра волокон, а интегрирование ведется по всей области, где $\pi D^2 \sigma / 4 < N$. Соотношение (3) полезно для решения обратной задачи: нахождения параметров ФР прочности дефектов, исходя из экспериментально измеренного распределения прочности волокон. При этом по характеру масштабной зависимости можно установить и вид дефектов (поверхностные или объемные). Разбросом диаметров объясняется и тот факт, что измеренный эффективный параметр Вейбулла b для углеродных и стеклянных волокон обычно не превышает 5, тогда как его теоретические значения для хрупких волокон постоянного диаметра значительно выше.

Полученные результаты предполагаются использовать при обработке результатов экспериментов по определению адгезии углеродных волокон к полимерам методом вытягивания жгута.

1. Weibull W. A statistical theory of the strength of materials. — Stockholm, Proc. Royal Swed. Inst. Eng. Res. — 1939, no.151
2. Andersons J., Joffe R., Spārniņš E. Evaluation of interfacial shear strength by tensile tests of impregnated flax fiber yarns // J. Compos. Mater. — 2011 (46), 351—357
3. Knoff W. F. Combined weakest link and random defect model for describing strength variability in fibres // J. Mater. Sci. — 1993 (28), 931—941
4. Knoff W. F. A modified weakest-link model for describing strength variability of Kevlar aramid fibres // J. Mater. Sci. — 1987 (22), 1024—1030

УПРУГИЕ СВОЙСТВА ТКАНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ПОЛИМЕРНОЙ ОСНОВЕ С ДИСПЕРСНЫМИ АНТИФРИКЦИОННЫМИ ДОБАВКАМИ

В.И. Колесников¹, В.В. Бардушкин², А.П. Сычев³, А.А. Сычев³, В.В. Даньков³

¹Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону, Россия;

²Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Москва, Зеленоград, Россия;

³Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия; sap@rgups.ru

Цель

Целью работы является проведение численного моделирования эффективных упругих свойств трехфазных матричных трибокомпозигов, учитывающего состав, форму, ориентацию и концентрацию их компонентов.

Материалы и методы

Рассматриваются включения двух типов. К первому типу относятся взаимно перпендикулярные волокна из бесщелочного (БЩ) стекла, ориентированные параллельно некоторой плоскости, имеющие одинаковую концентрацию в каждом из направлений и выполняющие функцию упрочнения композита. Ко второму типу относятся порошковые включения из политетрафторэтилена (ПТФЭ), равномерно распределенные в пространстве композита и выполняющие антифрикционную роль. В качестве матрицы (компонент третьего типа) рассматривается эпоксидное связующее на основе триглицидилпараминофенола марки ЭПАФ (табл. 1) [1].

Таблица 1. Свойства компонентов композита

Компонент	Модуль Юнга, ГПа	Коэффициент Пуассона	Плотность, г/см ³
БЩ	76,2	0,22	2,54
ПТФЭ	0,15	0,33	2,20
ЭПАФ	5,4	0,46	1,30

Моделирование опирается на обобщенное сингулярное приближение теории случайных полей [2]. Получено соотношение для прогнозирования значений компонент тензора c^* эффективных модулей упругости:

$$c^* = \sum_s v_s c_s [I - g_s (c_s - c^c)]^{-1} \times \left(\sum_s v_s [I - g_s (c_s - c^c)]^{-1} \right)^{-1}, \quad (1)$$

где v_s — объемная концентрация компонента s -го типа, $\sum_s v_s = 1$; I — единичный тензор четвертого

ранга; g_s — сингулярная составляющая второй производной тензора Грина уравнений равновесия компонента s -го типа (тензор четвертого ранга); c_s и

c^c — тензоры соответственно модулей упругости компонента s -го типа и однородного тела сравнения (параметры тела сравнения подбирались методом самосогласования) [2].

Результаты и их обсуждение

В работе по соотношению (1) были проведены исследования и расчеты влияния процентной концентрации μ_s ($s = 1, 2, 3$) элементов неоднородности (по массе) на эффективные модули упругости c^* рассматриваемых трибокомпозигов. При этом μ_s связаны с объемными концентрациями v_s и плотностями ρ_s компонентов композитов с помощью формул:

$$\mu_s = \frac{\rho_s v_s}{\rho_1 v_1 + \rho_2 v_2 + \rho_3 v_3} \cdot 100\%, \quad s = 1, 2, 3.$$

На рис. 1 приведены результаты численных расчетов значений только для элементов $c_{11}^* = c_{22}^*$,

c_{33}^* матрицы тензора c^* от изменения μ_s .

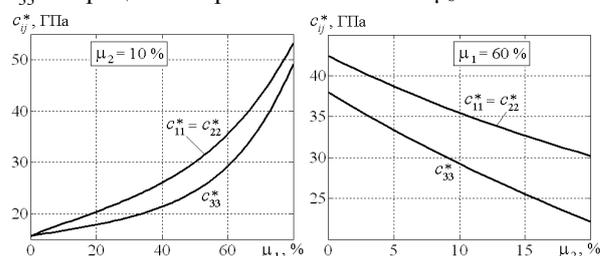


Рис. 1. Эффективные модули упругости композитов

Моделирование показало, что увеличение концентрации БЩ-волокон приводит к росту значений c_{ij}^* . Увеличение же концентрации включений ПТФЭ приводит к снижению значений c_{ij}^* . Поэтому необходимы дополнительные экспериментальные и теоретические исследования по оптимизации концентрации как ПТФЭ, так и БЩ-волокон с целью максимального улучшения трибохарактеристик рассматриваемых композитов без существенного ухудшения их упруго-прочностных свойств.

1. Лапицкий А. В. Эпоксидные полимерные матрицы для высокопрочных и теплостойких композитов // Клеи. Герметики. Технологии. — 2010, № 2, 12—15
2. Бардушкин В., Яковлев В. Механика микроструктур. — Saarbrücken: LAP. — 2011

КОНТАКТ ЦИЛИНДРА С ОРТОТРОПНОЙ ПОЛУПЛОСКОСТЬЮ (СЛОЕМ) ИЗ ВОЛОКНИСТОГО КОМПОЗИТА

В.В. Можаровский, Н.А. Марьина

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь; dpchair@gsu.by

Цель исследований — построить алгоритм и программу расчета, дать теоретическую и экспериментальную оценку применимости теории для разных коэффициентов трения и волокнистых композитов, в том числе и для покрытий. В качестве объекта исследования рассматривались плоская композиционная и слоистая среда.

Пусть по поверхности контакта передаются как нормальные, так и касательные усилия, обусловленные трением. Используем ранее полученные формулы для определения напряжений при действии касательных усилий [1], получено распределения напряжений на поверхности ортотропной полуплоскости.

Имея значения действительного максимального давления p_0 и размер контактной зоны a и используя эллиптический (параболический) закон распределения давлений находим напряжения в покрытии, в частности, на границе раздела материалов.

Установлено, что напряжения σ_y практически линейно убывают по глубине, а напряжения σ_x имеют максимальные значения на поверхности при $y = 0$ и на границе раздела с жестким основанием.

Для разных соотношений толщин покрытий произведен расчет напряжений $\sigma_x = k\sigma_y$ и представлен в виде графика при этом следует, что при

$h \rightarrow \infty \quad \sigma_x = \sqrt{\frac{S}{S_0}} \sigma$. Предлагаемая методика сравнивалась с работой [2] для определения параметров контакта давления в области контакта:

$$P(x) = \frac{2K}{\pi\alpha^2(1+4\gamma)} \left\{ \beta \cos \pi\gamma + k \beta + \beta \right. \left. \pi\gamma \frac{a+x}{a-x}^{1-\gamma} - \frac{a-x}{a+x}^{1+\gamma} \right\}$$

$$a = \frac{h \sqrt{1+4\gamma}}{R}$$

Когда тела ортотропны, то

$$\sigma_x = -\frac{2K}{\pi\alpha^2(1+4\gamma)} \left\{ \beta \cos \pi\gamma + k \beta + \beta \right. \left. \pi\gamma \frac{a+x}{a-x}^{1-\gamma} - \frac{a-x}{a+x}^{1+\gamma} \right\}$$

$$\sigma_y = -P(x) \quad \tau_{xy} = -kP(x)$$

При расчетах считаем, что касательные усилия не влияют на нормальные давления. В общем влия-

нием касательных усилий для малых коэффициентов трения f на зону контакта и распределение нормальных давлений можно пренебречь.

Определялись изменения профилей давлений при вдавливании цилиндрического штампа в покрытие на упругом основании в зависимости от модуля упругости E . Просчитаны зависимости и получены результаты изменения напряжений σ_y , σ_x , τ_{xy} по глубине от поверхности контакта, для различных тел (в зависимости от физических постоянных материала).

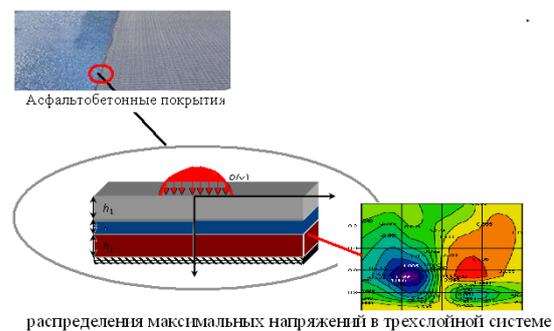


Рис. 1. Схема действия нагрузки на слоистую систему

Исследуется напряженно-деформированное состояние трехслойного покрытия на жестком и упругом основаниях. Рассматривается слоистое композиционное покрытие, на верхней границе которого действует нагрузка, оказываемая индентором. Давление под штампом определяется и задается некоторым законом $p(x)$. Схема действия нагрузки и распределения напряжений в трехслойной системе представлена на рис. 1.

Результаты вычислений и анализ. По построенной математической модели напряжений в трехслойной системе проведем анализ общей картины напряжений в зависимости от геометрических параметров.

1. Можаровский В.В., Смотровенко И.В. Математическое моделирование взаимодействия цилиндрического индентора с волокнистым композиционным материалом // Трение и износ. — 1996 (17), № 6, 24—32
2. Грилицкий Д.В. Тиск двох пружних тіл при врахуванні сил тертя // ДАН УРСР. — 122—126

ДЕФОРМАЦИЯ ЧАСТИЦ ПОРОШКА ТИТАНА СТАЛЬНЫМ ПУАНСОНОМ И ПУАНСОНОМ С ЭЛАСТИЧНОЙ ОБЛИЦОВКОЙ

В.В. Савич¹, А.И. Шелухина¹, С.А. Пронкевич², В.М. Горохов¹

¹Институт порошковой металлургии НАН Беларуси, Минск, Беларусь; savich@pminstitute.by

²Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель работы — моделирование деформации частицы несферического порошка титана в поверхностном слое засыпки при одностороннем прессовании стальным и композиционным пуансоном, плакированным эластичной облицовкой.

Методика моделирования. В качестве материала для исследований был выбран губчатый порошок титана марки ТПП-5 фракции 0,63—1,00 мм.

Рассмотрена частица титана в виде правильного восьмиугольника высотой 1 мм (рис. 1). Частица деформировалась по схеме одноосного прессования, которое моделировалось жестким защемлением по нижней поверхности А и приложением вертикальных перемещений по грани В — пуансону 3. Пуансон в одном из случаев плакирован эластичной облицовкой 2. Моделирование выполнялось с помощью системы конечно-элементного анализа ANSYS.

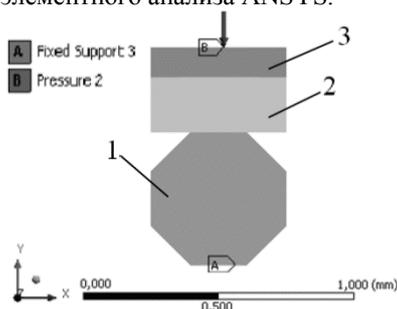


Рис. 1. Граничные условия модели: 1 — частица, 2 — эластичная облицовка (опционно), 3 — пуансон

Механические свойства материалов частицы (титан), пуансона (сталь) и эластичной облицовки описывались линейной моделью упругости со значениями параметров:

$$E_1 = 9,6 \cdot 10^{10} \text{ Па}, \nu_1 = 0,36, \rho_1 = 4620 \text{ кг/м}^3,$$

$$E_2 = 69 \text{ МПа}, \nu_2 = 0,49, \rho_2 = 1200 \text{ кг/м}^3,$$

$$E_3 = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}, \nu_3 = 0,3, \rho_3 = 7850 \text{ кг/м}^3,$$

где E — модуль Юнга материала, ν — коэффициент Пуассона, ρ — плотность материала, индекс — номер материала в модели.

При моделировании использовались объемные конечные элементы SOLID 186. Контактное взаимодействие между формирующим инструментом и частицей моделировалось путем создания «контактной пары» — специальных элементов (TARGE170 и CONTA174) обеспечивающих взаимодействие двух разных тел.

Результаты моделирования и их обсуждение.

На рис. 2 показаны результаты моделирования. При прессовании стальным пуансоном прикладывалась

перемещение 0,05 мм (рис. 2, а), композиционным — 0,2 мм (рис. 2, б, в). Максимальная деформация частицы в первом случае составила 0,05 мм, во втором — $2,8 \cdot 10^{-3}$ мм. Максимальная деформация эластичной облицовки — 0,199 мм.

Распределение напряжений материала частицы при прессовании композиционным пуансоном аналогично распределению напряжений частицы при прессовании стальным пуансоном, но при этом достигнутая деформация на порядок меньше.

Показано, что в случае с прессованием жестким пуансоном деформация частицы начинается практически одновременно с перемещением пуансона. В случае применения композиционного инструмента сначала происходит деформация эластичной облицовки, а уже потом частицы. При этом эластичная облицовка, деформируясь, более равномерно передает давление прессования на поверхность частицы.

В дальнейшем планируется построить модель уплотнения частиц порошка несферической формы при осевом воздействии на частицы пуансоном, плакированным эластичной облицовкой.

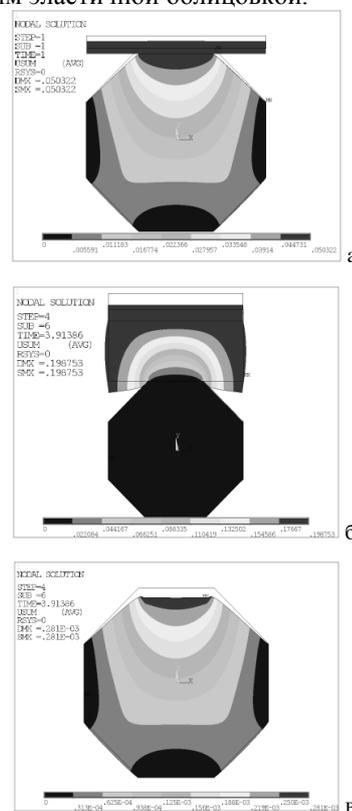


Рис. 2. Деформация частицы и эластичной облицовки: а — при прессовании стальным пуансоном; б, в — при прессовании инструментом, плакированным эластичной облицовкой

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ЛЬНЯНЫХ И ПОЛИМЕРНЫХ ВОЛОКОН

В.П. Сергиенко, С.Н. Бухаров, Н.В. Якимович

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

В настоящее время звукопоглощающие композиты на основе льняных и полимерных волокон являются основным материалом, используемым ведущими мировыми производителями автотракторной техники для вибро- и шумопоглощающих деталей интерьеров кабин и подкапотного пространства. Использование жестких или вспененных пластиков, не позволяет обеспечить требуемые характеристики звукопоглощения и виброизоляции. Важными являются не только технико-экономические, но и экологические показатели, поскольку льносодержащие композиты относятся к частично биоразлагаемым композитам, что позволяет существенно улучшить экологию человека и его среды обитания.

В работе представлены результаты исследований влияния состава и вида используемого льноволокна на акустические и динамические механические характеристики термоскрепленных звукопоглощающих композитов. Исследовали модельные композиты, изготовленные из льноволокна и измельченных волокон полипропилена. Термообработка композита осуществлялась при температуре 165—175 °С. Влияние состава композита на его акустические свойства исследовали на образцах, содержащих короткое льноволокно № 4 и полипропилен в соотношении от 3:7 до 7:3, плотностью 75 и 150 кг/м³. Такой же плотности были изготовлены и испытаны образцы из полипропилена и котонизированного льноволокна различной степени котонизации.

Исследование акустических характеристик проводили методом акустической интерферометрии в диапазоне частот звука 315—2000 Гц по стандартной методике (СТБ 1438-2004, п.6). Динамические механические характеристики материалов, в качестве которых выбрали коэффициент механических потерь и динамический модуль упругости, изучали методом резонансного динамического механического анализа. Виброиспытания проводили на на установке «TIRA VIB» с использованием многоканальной системы сбора и спектрального анализа виброакустических сигналов «PULSE» (Bruel & Kjaer).

Результаты акустических испытаний образцов изготовленных из котонизированного льноволокна различной степени котонизации (рис. 1) показывают, что повышение нормального коэффициента зву-

копоглощения во всем исследованном диапазоне частот наблюдается при увеличении содержания льноволокна в композите и уменьшении размеров волокна в процессе котонизации. Динамический модуль упругости композитов при изменении степени котонизации волокна снижается с $1,7 \cdot 10^5$ до $1,3 \cdot 10^5$ Н/м² при уменьшении размера волокна для композитов с плотностью 75 кг/м³ и с $3,3 \cdot 10^5$ до $2,5 \cdot 10^5$ Н/м² — для композитов с плотностью 150 кг/м³. Величины коэффициента потерь при изменении плотности и состава композита оставались практически неизменными и находились в диапазоне от 0,1 до 0,135. Полученные результаты позволяют утверждать, что улучшение акустических характеристик звукопоглощающих композитов может достигаться путём увеличения содержания льноволокна в композите и увеличением применением котонизированного льноволокна высокой степени котонизации.

Работа выполнена в рамках проекта ЮВК-2012-7

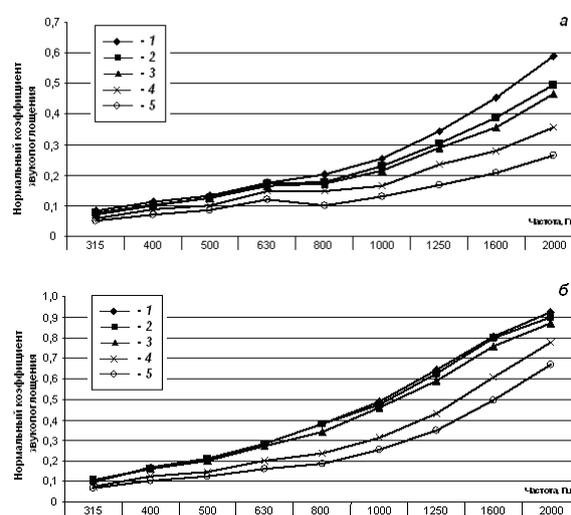


Рис. 1. Частотные зависимости нормального коэффициента звукопоглощения композиционных материалов различного состава: 1 — лен 70% + ПП 30% № 4; 2 — лен 60% + ПП 40% № 4; 3 — лен 50% + ПП 50% № 4; 4 — лен 40% + ПП 60% № 4; 5 — лен 30% + ПП 70% № 4; Плотность материалов: 75 кг/м³ (а) и 150 кг/м³ (б)

КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНЫЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УЗЛОВ ТРЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ «ВВFEM» И «ANSYS»С.В. Шилько¹, Е.М. Петроковец¹, М.В. Зернин², А.В. Мишин², Н.Н. Рыбкин²¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь; shilko_mpri@mail.ru²Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия; zerninmv@mail.ru

Гидродинамический анализ процесса течения вязких жидкостей в сопряжениях является важным аспектом трибологии [1—3]. Контактующие поверхности разделены слоем смазки или рабочей среды в подшипниках качения и скольжения; парах трения цилиндро-поршневой группы двигателей, гидроцилиндров, компрессоров и амортизаторов [4], а также в биосопряжениях [5].

В связи с тем, что применение известных аналитических решений для расчета узлов трения зачастую ограничено сложной геометрией сопряжений [6] и нелинейным реологическим поведением смазочных жидкостей в узких зазорах, приходится применять численные методы анализа, в первую очередь, метод конечных элементов.

В докладе показаны возможности решения задач гидродинамики по расчету вязкого сопротивления при дросселировании силоксанового эластомера в поглощающем аппарате автосцепки и определению границ зоны масляного клина, давлений в клине и потоков смазки на его границах в зазоре цилиндрического подшипника скольжения. В первом случае применяли программы конечноэлементного анализа Ansys [7] и MoldFlow [8] с модулем описания вязкопластического течения, а расчет подшипника выполняли с помощью разработанного в БГТУ программного продукта ВВFEM (Bearing Bilder Finite Element Method).

В частности, описаны версии программы ВВFEM, различающиеся по функциональным возможностям. Все версии имеют удобный Windows-подобный интерфейс, процедуры автоматического ввода данных и дискретизации масляного слоя конечными элементами с возможностью сгущения сетки на участках резкого изменения граничных условий. Автоматизированы также процедуры обработки результатов расчетов и их представления в форме графиков и диаграмм, а также двумерных поверхностей.

В версиях программы ВВFEM 1.XX моделируются отклонения рабочих поверхностей вала и вкладышей от канонической (в данном случае цилиндрической) формы. Это могут быть конструктивные особенности в виде системы продольных и поперечных канавок, отверстий для подачи смазочного материала и т.п.; технологические дефекты (конус-

ность, бочкообразность или огранка вала) либо эксплуатационные повреждения (участки изнашивания и выкрашивания антифрикционного слоя, риски, царапины). Перечисленные отклонения формы учитываются соответствующим увеличением толщины масляного слоя и сгущением сетки конечных элементов.

Часто материал антифрикционного слоя (вкладыша) подшипника скольжения является существенно более податливым в сравнении с материалом вала и втулки. Так, данный фактор необходимо принимать во внимание в расчетах металлополимерных подшипников. С этой целью в версиях ВВFEM 2.XX при помощи дополнительного итерационного цикла учитывается упругая деформация поверхности антифрикционного слоя с использованием гипотезы Винклера, согласно которой радиальные перемещения поверхности пропорциональны распределению гидродинамического давления.

Обсуждается реализация версий ВВFEM УУ.XX, учитывающих неравномерность температурного поля и упругие деформации подшипникового узла на основе решения трехмерной упругой задачи. Даны примеры анализа подшипников скольжения с учетом указанных факторов.

Проведенное исследование позволяет оптимизировать выбор состава используемых рабочих жидкостей и геометрию сопряжений.

1. Мур Д. Основы и применения трибоники / Пер. с англ. под ред. И.В. Крагельского, Г.И. Трояновской. — М.: Мир. — 1982
2. Мышкин Н.К., Петроковец М.И. Трение, смазка, износ. — М.: Физматлит. — 2007.
3. Богданович П.Н., Прушак В.Я., Богданович С.П. Трение, смазка и износ в машинах. — Минск: Тэхналогія. — 2011
4. Болдырев А.П., Кеглин Б.Г. Расчет и проектирование амортизаторов удара подвижного состава. — М.: Машиностроение. — 2004
5. Shilko S.V., Ermakov S.F. The role of liquid phase and porous structure of cartilage in formation of biomechanical properties of joints. Part 1. // Russian J. of Biomechanics. — 2008 (12), no. 2, 31—39
6. Бабин А.П., Зернин М.В., Мишин А.В., Шилько С.В. Анализ механизма износоусталостного повреждения и результаты модификации подшипников компрессоров // Трение и износ. — 2007 (28), № 6, 591—599
7. ANSYS 11.0. Flotran. User's Manual
8. MoldFlow. User's Manual

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ КОЭФФИЦИЕНТА ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ САЛОНА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Н.В. Якимович

Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель, Беларусь;
yakimovich.n.v@mail.ru

Проблема снижения уровня звукового давления в салонах транспортных средств решается проведением ряда мероприятий по снижению звуковой мощности источника звука, повышению звукоизоляции стенок и коэффициента звукопоглощения панелей интерьера салона. Применение звукопоглощающих материалов имеет ряд ограничений, связанных с физическим принципом снижения звукового давления по механизму поглощения звуковой энергии. Звукопоглощающие материалы зачастую имеют небольшие значения коэффициента звукоизоляции и поэтому практически не влияют на значение коэффициента звукоизоляции стенок салона транспортных средств. Их применение направлено на снижение отражений звуковых волн и борьбы с увеличением уровня звукового давления в отдельных точках салона в результате интерференции волн. Снижение уровня звукового давления за счет применения звукопоглощающих материалов составляет в среднем 1—5 дБ, поэтому важным является вопрос о целесообразности их использования в каждом конкретном случае.

Проведение оценки эффективности звукопоглощающих конструкций в геометрически простых помещениях возможно на основе известных подходов. Однако использование этих данных затруднительно для салонов автотранспортных средств, имеющих сложную форму и состоящих из элементов с различной звукопоглощающей способностью.

Цель данной работы состояла в разработке методики экспериментального определения акустических характеристик салона транспортных средств с использованием методов акустической интенсиометрии и частотного анализа. Суть методики состоит в экспериментальном определении параметров нормально падающей звуковой волны, отраженной от измеряемой поверхности. Для исключения влияния на определяемые параметры остальных поверхностей салона излучаемая звуковая волна представляет собой короткий импульс, длительность которого определяется расстоянием между измерительным преобразователем и исследуемой поверхностью, а также размерами и габаритами салона. Максимальная длительность импульса определяется из условия:

$$t = \frac{r_2}{2c}, \quad (1)$$

где, t — максимальная длительность импульса звуковой волны, c — скорость звука в воздухе, r_2 — расстояние от измерительного преобразователя до исследуемой поверхности (рис. 1).

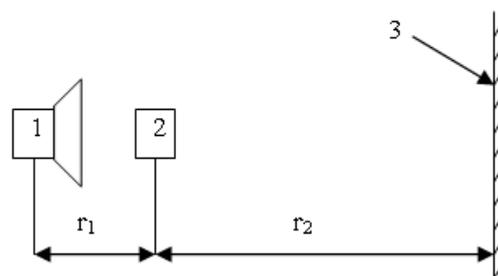


Рис. 1. Схема определения коэффициента звукопоглощения: 1 — источник импульса звуковой волны; 2 — измерительный преобразователь (интенсиометрический зонд); 3 — исследуемая поверхность

Условие (1) позволяет избежать ошибок измерений связанных с наложением излученного и отраженного импульса в зоне измерения. Расстояние от измерительного преобразователя до любой другой поверхности салона должно быть больше чем r_2 .

При использовании всенаправленного источника звуковой волны коэффициент звукопоглощения поверхности определяется по формуле

$$\alpha = 1 - \frac{I^2(r_1 + 2r_2)^4}{I_0^2 r_1^4}, \quad (2)$$

где α — коэффициент звукопоглощения исследуемой поверхности, I_0 — интенсивность излученного импульса, I — интенсивность импульса отраженного от исследуемой поверхности, r_1 — расстояние от источника звука до измерительного преобразователя.

Использование направленных источников звука потребует внесения поправок в формулу (2). Или тарировки при различных расстояниях r_2 .

Методика предназначена для получения экспериментальных данных по коэффициентам звукопоглощения внутренних поверхностей салона, используемых для проведения оценочного расчета снижения уровня звукового давления при установке в салоны транспортных средств звукопоглощающих конструкций.

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ И ТРИБОЛОГИЯ
(ПОЛИКОМТРИБ-2013)
24—27 июня 2013 г., Гомель, Беларусь

WEAR BEHAVIOUR OF THE POLYIMIDE COMPOSITES REINFORCED WITH DIFFERENT FIBRES

Irina Hussainova¹, Gai Zhao², Maksim Antonov¹

¹) Department of Materials Engineering, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia

²) State Key Laboratory of Solid Lubrication, Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou Tianshui Middle Road 18, China

Polymers are extensively used in mechanical engineering, structural and tribo-materials, etc., because of their outstanding properties, such as high strength, light weight, excellent thermal stability, as well as anti-wear and solvent resistance. To further improve the wear-resistance of neat PI and facilitate its application, many researchers made great efforts to develop PI-based composites by mixing appropriate additives into PI matrix, such as solid lubricants, nanoparticles and fibers, etc. Although many tribological investigations on PI composites have been carried out, there is little information on the comparison of tribological behaviour of neat PI and PI with varied fillers in different conditions, especially at elevated temperatures. According to authors knowledge there is no information regarding elevated temperature of PI composites up to date. The aim was to investigate the effect of carbon, glass and aramid fibres addition on friction, wear rate and wear mechanisms of composites with PI matrix at various temperatures.

The composites made from polyimide powders, with addition of either carbon, glass or aramid fibres were fabricated by means of conventional hot press moulding technique. A fixed volume content of the fibres of 15 vol.% was chosen. Neat polyimide specimens were also made for comparison. The mixtures were compressed and heated to 380°C in a mould with intermittent deflation. The pressure was held at 20 MPa for 60 min to allow full compression sintering. Then specimens were cooled in the stove in air and cut into pre-set size.

Dry sliding (block-on-ring configuration; temperature 20, 50, 100, 150 and 200 °C; circumferential velocity was 1 ms⁻¹; load was 30 N; counter body — GCr15 (GB/T18254-2002) steel disk) and erosive (impact angle was 30 and 90°; impact velocity was 50 ms⁻¹; abrasive — silica sand with mean size of 0.3 mm; temperature 20, 100 and 200 °C) tests were performed. Dynamic mechanical analysis and thermal gravimetric analysis as well as investigation of morphologies of sur-

faces by scanning electron microscope were performed.

The glass transition temperature was found to be close to 250 °C for polyimide matrix. The polyimide began to decompose at 564 °C.

Glass and carbon fibre reinforcement is efficient only in sliding conditions. Aramid fibers having lowest compressive, flexural and shear strength comparing to glass and carbon are not efficient in sliding conditions.

In erosion conditions at speed 50 m s⁻¹ all types of reinforcement studied were inefficient and their addition to the polyimide matrix was leading to reduction in wear resistance. Oblique angle of impact was resulting in higher wear rate of neat polyimide and reinforced composites.

Neat polyimide and reinforced composites exhibited higher wear rate at elevated temperature in both sliding and erosive tests comparing to room temperature results. This may be attributed to frictional heating during sliding leading to significant rising of surface temperature and reaching critical temperatures when polyimide matrix abruptly softens. Glass and carbon fibres are able to provide protection in sliding conditions being in contact with steel wheel and carrying most of the load that prevent the direct contact between polyimide of sample and polyimide transferred to the wheel (i.e. reduce adhesion). Loss modulus of polyimide matrix is constantly decreasing with temperature that is indicating the increased possibility of transferring deformation into heat. Fatigue, adhesive and abrasive wear are characteristic wear mechanisms during sliding.

Abrasive particles (mostly those being crushed and smaller) are found attached to the surface and forming mechanically mixed layer during erosion that is leading to the reduction in wear rate of materials. High storage modulus of polyimide matrix at 100 °C is thought to be responsible for reduced ability to form protective layer that resulted in highest wear rate at this temperature. Impact and cutting wear are characteristic wear mechanisms during erosion.

NANO-HOLE FORMATION IN DYE-FILLED POLYMER FILM AND MULTILAYERED SYSTEM BY 405 NM LASER IRRADIATION

L. Ivanov¹, K. Grytsenko², Yu. Kolomzarov², P. Lytvyn², V. Ksianzou³,
S. Schrader³, A. Kryuchin⁴, I. Gorbov⁴, O. Tolmachev⁵, Yu. Slominsky⁵

¹V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus

²Institute of Semiconductor Physics nam. V.E. Laskaryov, Kyiv, Ukraine; d.grytsenko@gmail.com

³University of Applied Sciences Wildau, Bahnhofstrasse, 15745, Germany

⁴Institute for Information recording, Kyiv, Ukraine

⁵Institute of Organic Chemistry, Kyiv, Ukraine

The nanocomposite metal-polymer films were used as optical recording media since beginning of the optical storage development. Dependent on the physical properties of the matrix, filler, its concentration and distribution, the holes, swellings or bubbles of about one micrometer in diameter were obtained by photothermal mechanism of the laser recording. These morphological changes were used as information units for compact disk — first digital optical memory [1]. The enhancement of the storage density is carrying out permanently. Recently the development of the superhigh density optical storage of Blu-ray format have been made. The diameter of the phase change domain is far smaller, than diameter of the laser beam. Among the inorganic films with phase transition [2], the organic dye [3] and composite films, filled with nanoparticles, including multilayered systems, are developed [4, 5].

One of the most perspective superhigh density medium is the polymer matrix filled with dye/metal with high absorption on the laser wavelength. Thin nanoparticulated silver (AgNPs) film was deposited by evaporation in vacuum with optical properties control *in situ*. Dye-filled (3—5% weight) polymer (DfP) films were deposited on the glass and glass, covered with AgNPs by spin coating. Films were irradiated with the focused laser beam with the wavelength 405 nm and objective numerical aperture 0,85; pulse length was 100 ns. The marks were studied by atomic force microscope (AFM) Nanoscope IIIa Dimension 3000™. The results are presented in the Fig. 1.

The marks seems as composed from two zones. The upper part have the large diameter and formed by molten material outflow from center to brim of the irradiated zone. The bottom part, attached to substrate, have diameter about 30—50 nm. Perhaps, only evaporation of the film took pace in this zone. Such holes are suitable for superhigh density optical storage.

Thanks for the financial support with STCU Grant 5709.

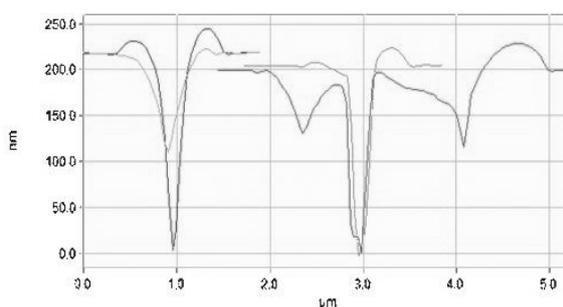
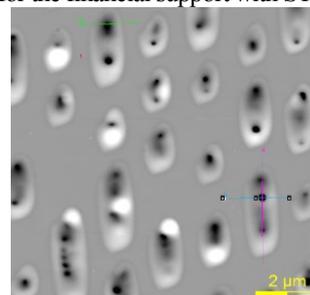


Figure. Marks, formed in dye-filled polymer film by laser beam: 1 — image, 2 — cross-section view

1. Grytsenko K.P. Polymeric metal-filled films for photothermal optical recording // Proc. SPIE. — 1997, no. 3347, 165—173
2. Tai Chi Chu, Wei-Chih Liu, Din Ping Tsai. Enhanced resolution induced by random silver nanoparticles in near-field optical disks // Optics Communications. — 2005, no. 246, 561—567
3. Usami Y., Watanabe T., Kamazawa Y. et al. 405 nm laser thermal lithography of 40 nm patter using super resolution organic resist material // Appl. Phys. Express. — 2009 (2), 126502-1-1262502-3
4. Tanaka T., Yamaguchi K., Yamamoto S. Rhodamine-B-doped and Au(III)-doped PMMA film for three-dimensional multi-layered optical memory // Optics Comm. — 2002, no. 212, 45—50
5. Zijlstra P., Chon J. W. M., and Min Gu. Five-dimensional optical recording mediated surface plasmons in gold nanorods // Nature Letters. — 2009 (459), 410—413

POLYMERIC DYE FILMS BY GAS PHASE DEPOSITION

E. Tolstopyatov¹, K. Grytsenko², Yu. Kolomzarov², P. Lytvyn²,
O. Navozenko², S. Schrader³, O. Tolmachev⁴, Yu. Slominsky⁴, O. Sakhno⁵

¹Metal-Polymer Research Institute of NASB, Gomel, Belarus; etolstopy@mail.ru

²Institute of Semiconductor Physics nam. V.E. Laskaryov NASU, Kyiv, Ukraine; d.grytsenko@gmail.com

³University of Applied Sciences Wildau, Bahnhofstrasse, 15745, Germany

⁴Institute of Organic Chemistry, Kyiv, Ukraine

⁵Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research, Potsdam, Germany

The era of organic optoelectronic (OO) devices had begun at the end of 19th century. Starting from basic scientific research, the idea was transferred to applied researches and later to industry. Organic light emitting devices, organic field effect transistors, various optical and electrical sensors represent just a short list of the industrial applications. Recently the organic electronics direction was split out in the several subdivisions: plastics electronics, flexible electronics, transparent electronics. Both the new materials and advanced technologies of the devices manufacturing are designing. The requirements to the materials used in the OO vary in dependence on the specific application, but for all ones the long term of exploitation is necessary. The main unit of the OO material is the functional organic molecule, which can be one of two types: small molecule (dye) or macromolecule (polymer). The polymer materials are more robust and can tolerate long operation term. However, while devices employing dye functional layer can be made by both wet and vacuum deposition technology, the polymer films can be deposited using mainly wet method, with a few exceptions. Widely used in inorganic optoelectronics gas phase deposition technology is not compatible with wet methods, which have several restrictions for application to multi-layered systems and devices containing micro- and nano-sized functional elements. Therefore the question how to enhance lifetime of functional elements made of organic dyes is very important for the industrial applications.

We proposed the concept of functionalized dye molecules, able to be evaporated in vacuum without changes of their chemical structure [1]. Special molecular group is being activated in the gas phase making the molecules able to interact one with another without

release by-products. It was hard to calculate the molecule of this type due to its chemical structure is based on carbon-carbon links with very small variations of the binding energy. We made the huge experimental work and ultimately found out several dyes of different classes that met the above requirements. The next step was to develop methods for selective activation of required functional group, again taking into account the tiny difference in the binding energy. Recently we had the success.

The comparison of the dye solid films deposited with and without activation in the gas phase revealed, that uniformity, surface relief, thermal stability and micro-hardness of the films, deposited with activation, are much better, than for the films, deposited by standard thermal evaporation. We developed several modifications of the activation technology in the gas phase. Dependent of the dye chemical structure, the best properties of the solid film were obtained by using different activation methods. It is suggested, that active dye molecules are interacting one with another, forming the polymeric / oligomer material during condensation and solid film bulk growth. The core chromophore of the dye molecule, which is responsible for active optoelectronic function, is not being damaged during the developed process. The new stable polymeric dye functional films are perspective for applications in OO devices.

Thanks for the financial support with BMBF Grant Ukr 10/032.

1. Grytsenko K., Tolmachev O., Slominski Yu. Evaporable dyes with reactive group / Abstr. book: Conference ICEL-7, September 2—6, Dresden. — 2008, 180

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОНЫ КОНТАКТА КОМПАКТНО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.М. Александров

Обособленное хозяйственное структурное подразделение «Научно-исследовательский институт импульсных процессов с опытным производством», г. Минск, Беларусь

Компактно-пористые материалы (КПМ), получаемые методом порошковой металлургии представляют особый вид композиционных материалов, включающих компактную подложку и пористый слой, соединённые между собой посредством металлических контактов.

Процесс их получения многостадийный и заключается в формировании металлических контактов между дискретными частицами и подложкой из компактного материала. Количество контактов может характеризоваться их суммарной площадью. Величина которой зависит от физических и технологических свойств дисперсного материала, а также технологических режимов получения КПМ. В большинстве случаев причиной разрушения КПМ является недостаточная прочность соединения пористого слоя и подложки, которая помимо площади контакта может быть оценена величиной предела прочности на растяжение.

Целью настоящей работы явилось исследование влияния технологических режимов получения КПМ на величину указанных структурных характеристик КПМ.

Испытания на растяжение проводили на испытательной машине 1195 «Инстрон» (Англия), анализ поверхности излома и шлифов проводили по запатентованной методике на микроскопе «Маджискан» (Англия).

Экспериментальные образцы изготавливали из порошка титана марки ТПП-4 фракции 100—160 и 200—315 мкм, давление прессования изменялось в интервале 100—250 МПа, температура спекания 1000—1150 °С, время спекания 1—2 ч. Подложка изготавливалась из коррозионно-стойкой стали аустенитного класса X18H9T.

Установлено, что граница раздела между пористым и компактным материалом по совершенству металлических контактов (их площади и структуре) не уступает контактам между частицами слоя из дисперсного материала. По мере увеличения давления прессования, температуры и времени спекания суммарная площадь контакта монотонно увеличивается. Увеличение давления выше 200 МПа не приводит к заметному увеличению площади контакта, снижая одновременно пористость. Увеличение температуры спекания выше 1050 °С и времени выдержки более 2 ч. приводит к значительной усадке (более 12%), короблению изделий и отслоению пористого слоя. На основании полученных экспериментальных данных оптимизированы технологические режимы: давление 150—200 МПа, температура 1050 °С, выдержка — 1 ч. Площадь контакта при этом составила 52—55% суммарной площади; временное сопротивление при растяжении 52—65 МПа.

МОДИФИЦИРУЮЩИЕ ДОБАВКИ К ПОЛИЭТИЛЕНУ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО ЛЕСОХИМИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

М.П. Бей¹, А.Ф. Петрушеня², В.В. Яценко², А.П. Ювченко¹, Ю.Н. Жидков¹, Н.В. Пучкова¹

¹Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь; aspirin55@ya.ru

²Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

Республика Беларусь обладает значительной базой лесохимического сырья, одним из важных преимуществ которого являются возобновляемость и экологическая безопасность. В то же время получение и использование только канифоли и скипидара экономически нецелесообразно. Поэтому расширение ассортимента новых химических продуктов на основе канифоли с целью получения разнообразных добавок, в том числе способствующих повышению качества и производству конкурентоспособных полимерных материалов и изделий из них является актуальной задачей.

В результате исследований получены технические терпеноидные продукты взаимодействия смоляных кислот канифоли с моно- и полиаминами (моноэтаноламин, диэтилентриамин, полиэтиленполиамин), а также обработкой канифольномалеинового аддукта первичными аминами (гексил-, октил-амин); гексиламин и гексанолом; моноэтаноламин и гексанолом. Полученные продукты представляют собой твердые (температура размягчения от 46 до 83 °С, кислотное число от 66 до 122 мгКОН/г) или вязкие вещества (кислотное число от 107 до 112 мгКОН/г). Исследована возможность применения разработанных продуктов в качестве адгезионных добавок к полиэтилену высокого давления (ПЭВД, марки 18503-020).

прессованием в оптимальном технологическом режиме в виде листовых заготовок древесины (березовый) шпон-пленка-шпон склеенных внахлест.

Установлено, что исследуемые продукты в концентрации от 0,5 до 5,0% в разной степени повышают адгезию полиэтиленовой композиции к древесине. Наибольшее значение адгезионной прочности показывают композиции с продуктом взаимодействия канифоли с диэтилентриамином (КД) и продуктом обработки КМА моноэтаноламин и гексанолом (ГМКМА) в концентрации 3% — предел прочности при сдвиге составляет 3,55 МПа (КД) и 2,9 МПа (ГМКМА), что в 1,65 и 1,35 раза, соответственно, выше по сравнению с чистым полиэтиленом.

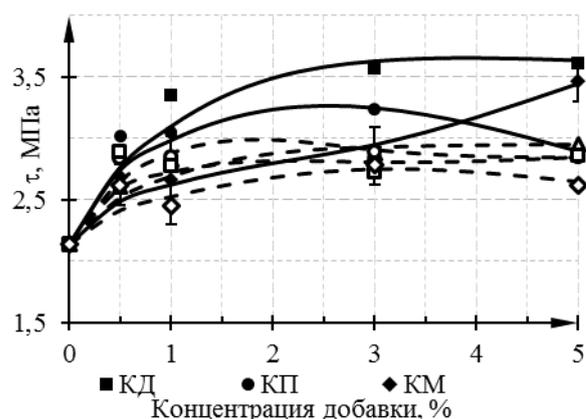


Рис. 1. Адгезионная прочность полиэтиленовой композиции с добавкой терпеноидных продуктов к древесине

Таблица 1. Свойства терпеноидных продуктов

Шифр продукта	Исходные реагенты	Характеристика продукта	
		Температура размягчения, T_p , °С	Кислотное число к.ч. мгКОН/г
КД	канифоль + диэтилентриамин	79—83	66
КМ	канифоль + моноэтаноламин	вязкий продукт	112
КП	канифоль + полиэтиленполиамин	52—55	78
ГКМА	канифольномалеиновый аддукт (КМА) + гексиламин	62—65	122
ООКМА	КМА + октил-амин	46—51	112
ГГКМА	КМА + гексил-амин + гексанол	вязкий продукт	107
ГМКМА	КМА + моноэтаноламин + гексанол	57—60	71

Для изучения адгезионных свойств по методу определения адгезионной прочности (ГОСТ 14759-69) применялись образцы, которые изготавливались

совместимости модифицирующих добавок с полимером оценивали по их влиянию на физико-механические свойства получаемой композиции. Установлено, что модифицирующие добавки КД и ГМКМА практически не изменяют предел прочности при растяжении и ПТР ($\sigma_p = 12,8—13,0$ МПа, ПТР = 1,95—2,10 г/10 мин) и не критично снижают относительное удлинение при растяжении ($\epsilon = 430—450\%$), что может свидетельствовать об эксплуатационной совместимости предложенных модифицирующих добавок с полиэтиленом.

Таким образом терпеноидные продукты на основе канифоли и канифольномалеинового аддукта могут быть рекомендованы в качестве адгезионных добавок для полиэтилена, при получении композиционных материалов с древесиной.

СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ГИДРАТИРОВАННЫХ КАЛЬЦИЕВЫХ МЫЛАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОБОЧНЫХ И ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ПРОДУКТОВ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ И МНОГОАТОМНЫХ СПИРТОВ

А.Л. Богданов, С.Ф. Ермаков, Р.А. Шулдыков

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

В производстве пластичных смазочных материалов (ПСМ) на гидратированных кальциевых мылах традиционно используются промышленные масла в качестве дисперсионной среды и жировое сырье в качестве омыляемого компонента для получения загустителя, которые существенно повышают стоимость конечного продукта.

Исследования, проведенные в настоящее время, показали возможность удешевления производства за счет применения побочных и промежуточных продуктов нефтепереработки в качестве дисперсионной среды и высших жирных кислот для получения загустителя [1].

Целью работы являлось исследование реологических и триботехнических свойств гидратированной пластичной смазки на основе побочных и промежуточных продуктов с использованием многоатомных спиртов.

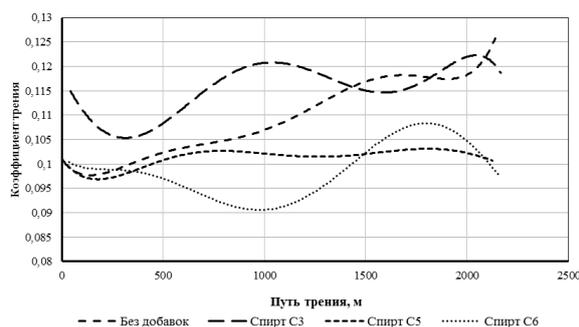
Объектом исследования являлись ПСМ на основе побочных и промежуточных продуктов нефтепереработки, и гидратированных кальциевых мыл высших жирных кислот. В качестве дисперсионной среды применялись побочные и промежуточные продукты нефтепереработки, а именно отек масляный нефтяной и дистилляты нефтяные вакуумные. В качестве загустителя использовались мыла полученные омылением синтетических жирных кислот гидроксидом кальция. В качестве функциональной добавки были использованы многоатомные спирты [2, 3].

Экспериментальные образцы ПСМ были исследованы с целью определения основных реологических свойств — предел прочности на сдвиг и температура каплепадения, а также с целью определения триботехнических свойств, которые оценивались на машине трения СМЦ-2.

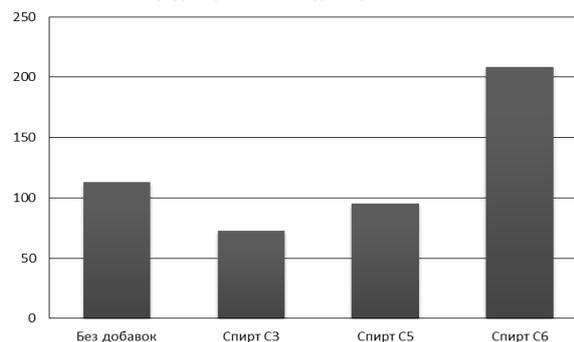
На машине трения СМЦ-2 испытания осуществлялись по схеме «ролик—ролик». Контртела для машины СМЦ-2 изготавливались в виде роликов из стали 45Х диаметром 40 мм и шириной 10 мм. Шероховатость поверхности трения ролика $R_a = 0,8 \pm 0,4$ мкм. Нижний ролик вращался с частотой $n = 300$ об/мин, что соответствует линейной скорости скольжения 0,6 м/с. Верхний ролик во время испытаний оставался неподвижным и прижимался к нижнему с усилием 60 кг. Смазочный материал наносился тонким слоем на поверхность нижнего ролика, предварительно обезжиренного керосином. Продолжительность испытаний составила 1 час, при этом длина пути трения составляла 2160 м. Во время испытаний регистрировали момент

трения посредством электромагнитного датчика, данные записывались и обрабатывались на ЭВМ.

Динамика изменения коэффициента трения экспериментальных образцов во время испытаний на машине трения СМЦ-2



Предел прочности на сдвиг при 50°C, Па



Полученные экспериментальные данные показывают, что образцы смазочных материалов содержащие добавки многоатомных спиртов имеют меньшие значения коэффициента трения в сравнении с образцом без добавок — на 5—12% ниже, исключением является образец содержащий трехатомный спирт. Максимальный предел прочности достигается в случае применения шестиатомного спирта и превосходит образец без добавок в 1,8 раза. Температура каплепадения существенно не изменяется и находится в пределах характерных для подобных ПСМ.

1. Ермаков С.Ф., Шулдыков Р.А., Паркалов В.П., Мулярчик В.В., Константинов В.Г., Данишевский В.Н. Антифрикционные пластичные смазки на основе промежуточных продуктов переработки нефти и жидкокристаллических соединений // Трение и износ. — 2008 (29), № 1, 92—102
2. Синецких В.В. Подбор и применение пластичных смазок, 2-е изд., пер. и доп. — М.: Химия. — 1974, 416 с.
3. Кулиев А.М. Химия и технология присадок к маслам и топливам. — Ленинград: Химия. — 1985. — 312 с.

ФОТОХРОМНЫЕ AgCl СОДЕРЖАЩИЕ ЗОЛИ (ЗОЛИ Г.А. БРАНИЦКОГО)

Г.А. Браницкий

Учреждение Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», Минск, Беларусь; prokopovich@bsu.by

Целью сообщения является рассмотрение результатов исследования процессов химического взаимодействия AgNO_3 с полигексаметиленгуанидингидрохлоридом (ПГМГГХ) в органических растворителях (N,N-диметилацетамид, изопропиловый и этиловый спирты) в присутствии легкогидролизуемых соединений титана (полибутилтитанат — полимерный эфир ортотитановой кислоты, тетраизопропоксититанат), позволившего установить условия, при которых из таких растворов образуются некоагулирующие при хранении бесцветные, AgCl содержащие, золи, обладающие фотохромными свойствами.

Фотохромизм реализуется при использовании разных источников облучения золь в стеклянных, не исключающих контакта с воздухом, флаконах: видимого (солнечный свет), ультрафиолетового и монохроматического синего (λ 465 нм — светодиод).

Обратимый фотоиндуцированный переход золь из бесцветного состояния в окрашенное повторяем не менее 50 раз и характеризуется появлением и исчезновением полос поглощения в спектрах в области, близкой к 400 нм, принадлежащей квазиметаллическим частицам Ag.

Скорость окрашивания и обесцвечивания золь зависит от соотношения и концентрации исходных веществ, используемых для их приготовления, и, в зависимости от условий облучения, может изменяться от нескольких секунд, минут и часов (окрашивание) до 2—12 ч (обесцвечивание).

Фотохромизм не наблюдается в следующих случаях: при использовании в составе золь растворов, AgNO_3 в изопропиловом спирте (ИПС), а не в диметилацетамиде (ДМАА) — в этом случае золи хотя и окрашиваются при воздействии света, но быстро коагулируют; при замене ПГМГГХ на другие хлор-содержащие соединения (AlCl_3 и $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в ИПС); при использовании вместо растворов соеди-

нений титана растворов нитроцеллюлозы в ДМАА. Окрашивание золь не наблюдается также при их насыщении и последующем хранении в аргоне, исключая контакт с кислородом воздуха. Удаление аргона восстанавливает свойство золь окрашиваться при облучении и обесцвечиваться в темноте. Окрашенные золи, после насыщения аргоном и хранения в нем, в темноте обесцвечиваются, но на свету опять окрашиваются. Растворы AgNO_3 и соединений титана без ПГМГГХ нечувствительны. Они остаются прозрачными и бесцветными при длительном хранении на свету.

Отмеченные особенности указывают на сложный механизм фотохромизма AgCl-содержащих золь, обсуждаемый в докладе.

Здесь же особо отметим то, что золи хорошо смачивают поверхность стекла и из них удается сформировать равномерные по всей площади пленки толщиной до 100—150 нм. Результаты выполненного исследования позволяют считать, что такие пленки представляют собой микрогетерогенные композиции из наноразмерных частиц AgCl (в случае необлученных золь) или частиц AgCl и Ag, одновременно (в случае облученных золь), в составе стабилизирующей их матрицы из продуктов гидролиза соединений титана. При этом ПГМГГХ при необходимости может быть удален промывкой в воде. При прогреве аморфные продукты гидролиза соединений титана трансформируются в кристаллические пленки TiO_2 .

AgCl-содержащие золи можно рассматривать как принципиально новый класс фотохромных систем различного назначения. Особый интерес могут представить формируемые из них композиционные пленки AgCl-TiO_2 и Ag-AgCl-TiO_2 , которые могут оказаться перспективными для полихромной записи информации.

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОЛИАМИДОМ ФЕНОЛОФОРМАЛЬДЕГИДНОЙ МАТРИЦЫ, АРМИРОВАННОЙ ДИСКРЕТНЫМИ КОМБИНИРОВАННЫМИ ВОЛОКНИСТЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

М.В. Бурмистр, В.С. Бойко, Е.А. Липко, К.О. Герасименко

Украинский государственный химико-технологический университет, Днепропетровск, Украина;
boiko.vera@mail.ru

Значительную часть среди полимерных композиционных материалов (ПКМ) конструкционного назначения занимают ПКМ на основе фенолоформальдегидных смол (ФФС) из-за их крупнотоннажности производства, дешевизны и высокой термостойкости.

В предыдущих исследованиях коллективом авторов была решена задача повышения прочности хрупкой фенолоформальдегидной матрицы путем модификации ФФС частично N-замещенным полиамидом марки ПА-6. В результате был получен ряд связующих, обладающих жизнеспособностью более 1 года, в отвержденном состоянии характеризующихся высоким комплексом физико-механических характеристик и стойкостью к термоокислительной деструкции до 370 °С. На основе разработанных модифицированных полиамидом фенолоформальдегидных связующих ЛБС-М получены ПКМ, армированные дискретным волокнистым базальтовым наполнителем.

Целью данной работы было улучшение свойств разработанных базальтопластиков путем создания комбинированных наполнителей, представляющих собой смеси минеральных базальтовых и химических волокон (полиамидных, полиоксадиазольных, полиамидбензимидазольных и углеродных), что позволило повысить водостойкость разработанных

ПКМ и улучшить их механические и триботехнические свойства. Сравнительная характеристика полученных ПКМ приведена в таблице.

Получены высокопрочные износостойкие антифрикционные материалы, удовлетворяющие современным требованиям к композитам конструкционного назначения.

Табл. Основные характеристики полученных ПКМ

Состав композиции	Ударная вязкость, кДж/м ²	Предел прочности при, МПа		Термостойкость по Мартену, °С	Водопоглощение, %	Коэффициент трения	Массовый износ
		статическом изгибе	сжатии				
ЛБС-М, базальтовое волокно	146	383	165	>300	0,25	0,25	1,53
ЛБС-М, базальтовое волокно + анид	150	404	160	290	0,23	0,13	0,76
ЛБС-М, базальтовое волокно + арселон	153	428	170	266	0,27	0,18	0,90
ЛБС-М, базальтовое волокно + русар	186	453	178	300	0,28	0,19	0,96
ЛБС-М, базальтовое волокно + углеродное волокно	148	468	160	280	0,27	0,12	0,85

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ДИСПЕРСНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

С.Н. Бухаров¹, Э. Мачановский²

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

²Рижский технический университет, Рига, Латвия

К числу наиболее перспективных подходов поддержания работоспособности и эксплуатационной надежности магистральных трубопроводов (МТ) относятся методы их ремонта без вывода из эксплуатации. В нефтегазовой промышленности при ремонте МТ (с дефектами коррозионного, технологического происхождения, трещин глубиной до 70% от толщины стенки длиной до радиуса трубы, потери металла глубиной до 90% от номинальной толщины стенки, дефектов на сварных швах), эксплуатируемых при значительных механических нагрузках и в контакте с агрессивной средой широкое применение находят полимерные композиты, в том числе, композиты на основе эпоксидной смолы. К числу важнейших требований к эпоксидным композитам, используемым для ремонта МТ, относят минимальную объёмную усадку при полимеризации, высокое значение коэффициента Пуассона, высокую текучесть в жидкой фазе для эффективного заполнения различных полостей, минимальное снижение упругих свойств во времени и при различных температурах, невосприимчивость к воздействию агрессивных сред, химическую и коррозионную пассивность по отношению к трубным сталям.

В настоящей работе приводятся результаты исследования влияния дисперсных наполнителей на механические свойства эпоксидных композиций, применяемых для ремонта МТ.

В качестве связующих для композиционных материалов использовали эпоксидную смолу ЭД-20 (ГОСТ 10587-84) и смолу марки Э-181 (ТУ 2225-606-11131395-2003). Смолу отверждали полиэтиленполиамином (ПЭПА, ТУ 2413-214-00203312-2002). В качестве дисперсных наполнителей использовали: металлический порошок (Fe), металлосодержащее соединение (ТУ 2436-045-05807977-98), графит (ГКЗ, ГОСТ 44-04-78), стеарат кальция (ТУ 6-09-17-317-96), а также эпоксисиликаты металлов (ТУ ВУ 400084698.212-2009). Композиты получали смешиванием всех компонентов при малых скоростях сдвига. Из композиций изготавливали цилиндрические образцы для испытаний по ГОСТ 4651-82. Выдержанные в течение 72 часов при температуре 20 °С образцы подвергали испытаниям на сжатие на универсальной машине Instron-5567 согласно ГОСТ 4651-82. Определение модуля упругости образцов проводили в соответствии с ГОСТ 9550-81. Предел текучести определяли в соответствии с ГОСТ 4651-82.

В результате исследований установлено, что введение дисперсных наполнителей в исходную

эпоксидную смолу приводит к увеличению показателей механических характеристик композитов. На диаграмме (рис. 1) видно, что модуль упругости (E) композиционных материалов при введении наполнителей повышается на 5—15%, при этом максимальное значение E достигается при введении графита и стеарата кальция. Из графика (рис. 2) можно установить, что предел текучести данных композиционных материалов повышается в зависимости от наполнителя на 16—35%, при этом максимальное значение предела текучести достигается при введении металлосодержащего соединения. Анализ характера разрушения образцов показывает, что введение наполнителей приводит к охрупчиванию композиционного материала в сравнении с исходным составом композиции.

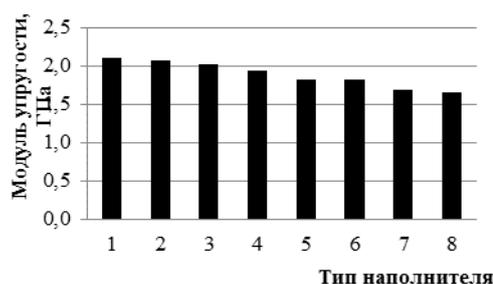


Рис. 1. Влияние типа наполнителя на модуль упругости композита: 1 — графит + стеарат кальция; 2 — металлический порошок; 3 — металлосодержащее соединение; 4 — графит + эпоксисиликат Cu + стеарат кальция; 5 — эпоксисиликат Fe; 6 — эпоксисиликат Co; 7 — эпоксисиликат Cu; 8 — композиция без наполнителей.

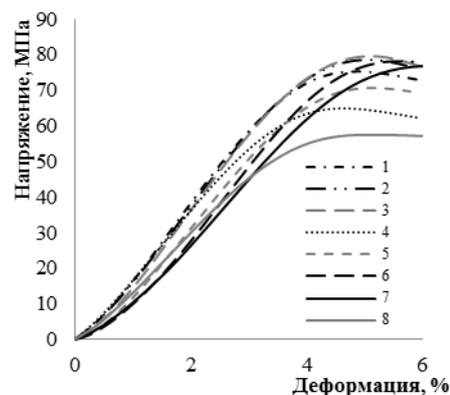


Рис. 2. Влияние типа наполнителя на предел текучести композита (1—8 обозначения в соответствии с рис. 1)

Работа выполнена в рамках проекта по гранту PIRSES-GA-2012 318874.

**ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ
АНТИФРИКЦИОННЫХ ОРГАНОПЛАСТОВ**Д.И. Буяев¹, А.С. Юдин², А.А. Захаров³, О.В. Афоничева², А.П. Краснов²¹ООО ОВИНИТ, Мытищи, Московская обл., Россия; bicomp@bk.ru²ИнЭОС им. А.Н. Несмеянова РАН, Москва, Россия³ОАО МосОТИС, Москва, Россия

Антифрикционные органопласты (органопластики) — антифрикционные композиционные материалы, основными компонентами которых являются полимерная матрица и армирующие структурно-организованные органические волокна. Несмотря на часто используемый термин **АНТИФРИКЦИОННЫЕ ОРГАНОПЛАСТЫ** (органопластики) в специализированной литературе, справочниках и энциклопедиях, официального определения в стандартах систем ГОСТ, ГОСТ Р, ИСО и пр. не приводится.

Антифрикционные органопласты первого поколения (на основе древесных, хлопчатых, льняных, пеньковых и пр. природных волокнистых материалов), такие как лигностон, лигнофоль, хлопчатые текстолиты, волокниты и гетинаксы получили распространение еще в 30-х годах прошлого века. В 40-х годах появились новые антифрикционные органопласты, способные удовлетворить требования конструкторов морской и авиационной военной техники. В качестве армирующих волокнистых материалов и связующих антифрикционных органопластов уже используются синтетические полимеры: полиамиды (ПА-6, ПА-66 и пр.), полиэфир (ПЭТФ), полиакрилонитрил (ПАН), полипропилен (ПП), политетрафторэтилен (ПТФЭ) и мн. др. С 60-х годов XX века в органопластах триботехнического назначения использованы наполнители на основе органических волокон «третьего поколения», а также специализированных синтетических связующих (полиоксиметиленов, поликарбонатов, полиимидов, полиэфирэфиркетонов и пр.), обладающих экстремальными свойствами: высокопрочные и высокомодульные, термостойкие и трудногорючие.

Широкому внедрению указанных материалов, наряду с высокой стоимостью сырьевых компонентов, препятствует ряд технологических трудностей производства, не позволявших добиться физико-механической и триботехнической изотропности готовых деталей. Например, использование принципа формирования слоистых структур на основе тканей затрудняет применять их в изделиях сложной конфигурации. Механическая обработка этих материалов в связи с макрогетерогенной анизотропной структурой сложна и зачастую нецелесообразна.

В докладе приведены результаты систематического исследования антифрикционных органопластов на основе поли-п-фениленоксадиазольных (ПОД) волокнистых наполнителей и фенолоформальдегидной матрицы. Показано, что при прочих

равных условиях в антифрикционных органопластах, наполненных волокнами различной структуры (ткани, нити, нетканые материалы и т.д.), формирование поверхности трения зависит от типа пространственного расположения армирующего наполнителя, и от сил адгезии системы «наполнитель-матрица».

Волокнообразующий гетероциклоцепной полимер ПОД с высокими показателями термостойкости и плотности энергии когезии, обладая высокой износостойкостью, при введении его в полимерную матрицу, значительно затрудняет технологичность производства антифрикционных органопластов. Тем не менее, благодаря изучению комплекса свойств и проработке принципов конструирования антифрикционных органопластов, удалось разработать методы создания износостойких деталей узлов трения, характеризующихся изотропностью высоких физико-механических показателей, а также получить возможность управления триботехническими свойствами.

Антифрикционные органопласты на основе применения технологии армирования комбинированными ПОД стренг-волокнами обладают рядом преимуществ в сравнении с ранее использовавшимися [1] антифрикционными органопластами:

– возможностью получения в пресс-формах сложно-профильных деталей высокой геометрической точности, не требующих механической доработки;

– возможностью изготовления заготовок, легко поддающихся механической обработке на станках

Антифрикционные композиты [2], способные работать при высоких нагрузках и скоростях скольжения, как правило, разрабатываются на базе дорогостоящих компонентов (напр. полиимидные или углеродные волокна), не доступных для массового применения. В представляемом докладе рассмотрены примеры широкого внедрения в различных областях машиностроения антифрикционных органопластов, матрица и армирующий наполнитель которых изготовлены из общедоступных полимеров.

1. Краснов А.П., Тимофеев В.А., Чукаловский П.А., Афоничева О.В., Мить В.А., Бычков Р.А., Буяев Д.И. Трибохимический подход к разработке антифрикционных высокоизносостойких композитов // Вестник машиностроения. — Москва. — 2005, № 2, 46—49
2. Бахарева В.Е., Николаев Г.И. Современные машиностроительные материалы. Неметаллические материалы. — Санкт-Петербург: НПО Профессионал. — 2012, 139

СТОЙКОСТЬ К ИСТИРАНИЮ РЕЗИН С ВЫСОКОДИСПЕРСНЫМИ ДОБАВКАМИ

К.В. Вишневецкий, Ж.С. Шашок, Н.Р. Прокопчук, Ю.В. Баранова

¹Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

Цель

Определение сопротивления истиранию резин с высокодисперсными углеродными добавками.

Материалы и методы

Объекты исследования представляли собой наполненные неактивной маркой технического углерода-эластомерные композиции на основе бутадиен-нитрильного каучука марки БНКС-18 с содержанием связанного акрила-нитрила 17—20 мас.%. В качестве добавок использовались фракции углеродного наноматериала. Исходный материал был получен в плазме высоковольтного разряда и после обработки сильными минеральными кислотами с помощью ультразвука разделялся на фракции. В композиции вводились фракции «пленка» — частицы графита и аморфного углерода, относительно крупные сплетения нанотрубок и волокон, а также «суспензия», состоящая в основном из отдельных углеродных нанотрубок (рис. 1). Добавки вводились в дозировках от 0,05 до 0,2 мас. ч.

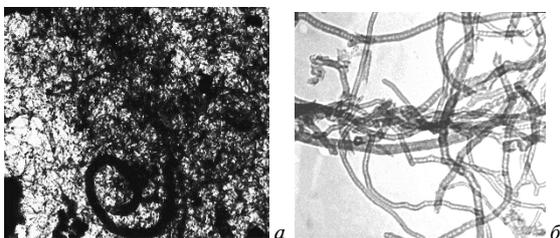


Рис. 1. ПЭМ снимки вводимых добавок: а — фракция «пленка», б — фракция «суспензия»

Сопротивление исследуемых резин истиранию оценивалось в соответствии с ГОСТ 426-77. Для обоснования механизма участия высокодисперсных углеродных добавок в процессе истирания резин определялся тангенс угла механических потерь вулканизатов (применялись метод динамического индентирования (ИПМ-1К) и динамический безроторный реометр RPA 2000).

Результаты исследования

В ходе проведения исследований определено, что введение фракций углеродного наноматериала во всех исследуемых дозировках приводит к увеличению показателя сопротивления истиранию (в 1,3—1,4 раза) исследуемых эластомерных композиций на основе БНКС-18. Выявлено, что наилучшей износостойкостью характеризуются вулканизаты, содержащие фракцию «суспензия» в дозировке 0,2 мас.ч. (рис. 2).

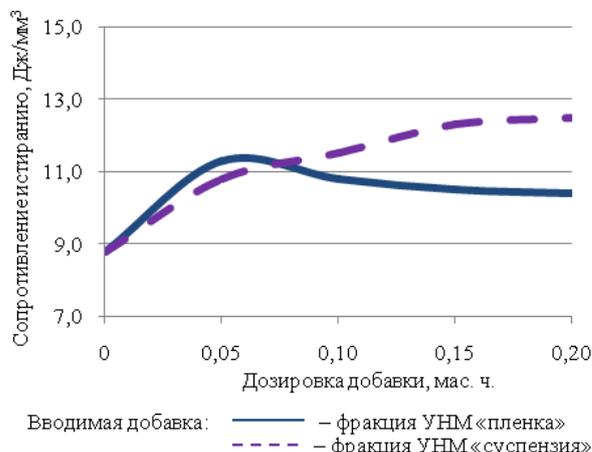


Рис. 2. Зависимость сопротивления истиранию исследуемых резин от структуры и дозировки вводимой добавки

Увеличение износостойкости образцов резин при введении фракций углеродного наноматериала, вероятно, связано с участием нанотрубок в процессах релаксации и распределения нагрузок и температуры в объеме образца, при этом снижаются локальные перенапряжения и перегревы приводящих к разрыву связей. Данное предположение подтверждается снижением гистерезисных потерь в образцах резин с добавками (рис. 3).

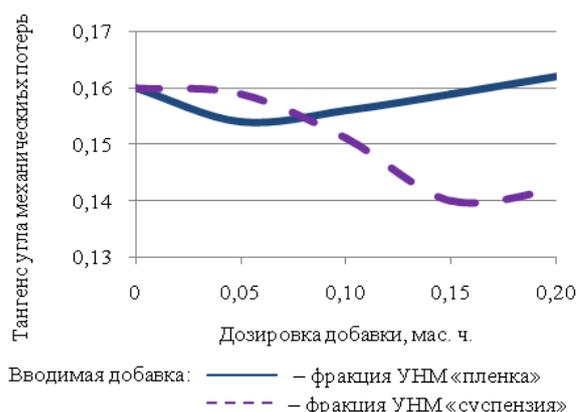


Рис. 3. Значение тангенса угла механических потерь, определенных на приборе RPA2000

Следует отметить, что с увеличением содержания фракции «пленка» эффект от ее введения снижается, по-видимому, это связано с тем, что в составе фракции «суспензия» преобладают углеродные нанотрубки, которые облегчают ориентацию макромолекул каучука в направлении деформации, а более крупные частицы, входящие в состав пленки, напротив препятствуют этому процессу.

ПРИМЕНЕНИЕ СПЛАВА CuSi_3 В КАЧЕСТВЕ АНТИФРИКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ШНЕКОВ ЭКСТРУДЕРОВ

А.М. Власовец¹, В.Я. Лебедев²

Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск, Беларусь; vlasovet@gmail.com

Экструдирование является одним из перспективных технологических процессов, позволяющих производить, в том числе, разнообразные пищевые продукты. Рабочим органом экструдера является шнек. Принцип его действия основан на перемещении материала при вращении винтовой поверхности шнека.

При эксплуатации шнек подвергается воздействию высоких температур, давления и абразивного истирания. Как показывает анализ, основными причинами отказов шнеков являются:

- абразивный износ и схватывание рабочих поверхностей;
- поверхностные и подповерхностные трещины, включения и надрывы.

В результате взаимодействия с абразивными и агрессивными средами, происходит изменение геометрических размеров, что приводит к потере производительности.

Для разделения гребня шнека и корпуса экструдера изготовленных, как правило, в пищевой промышленности из коррозионно-стойких сталей марок 12X18H10T, 08X22H6T, 17X18H9, применяют ряд технических приёмов. Например, нанесение бронзовых или латунных полос или наплавов на гребень шнека. Чаще в качестве антифрикционных материалов применяют сплавы на основе меди.

Лучшими антифрикционными свойствами среди сплавов на медной основе обладают оловянистые бронзы типа Бр.ОЦ10-2. Присадочной проволоки по составу Бр.ОЦ10-2, промышленность не выпускает. Из оловянистых бронз выпускаются проволоки марок БрОФ6,5-0,4 и Бр.ОЦ4-3. Однако, при наплавке оловянистой бронзы непосредственно на сталь, в последней наблюдаются глубокие проникновения компонентов бронзы. В мировой практике получают распространение наплавочные материалы на медной основе CuSi_3 .

Для изучения особенностей процессов и влияния их на параметры качества восстановленных поверхностей проведена серия экспериментов. На пластины шириной 15 мм и толщиной 4 мм из стали 12X18H10T различными способами и на различных режимах наплавляли сплав CuSi_3 в среде защитного газа аргона.

При анализе микроструктуры (рис. 1) наплавленных образцов, установлено наличие переходного слоя между основой и наплавленным слоем. Структура наплавленного слоя однородная, поры практически отсутствуют. На границе раздела медь-основа присутствуют частицы различных форм и размеров. Формы частиц указывают, что они представляют

собой частицы железа (материала основы).

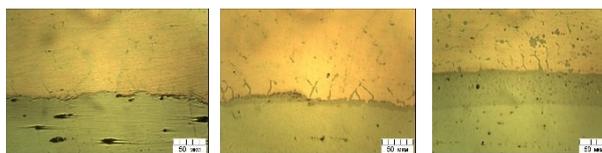


Рис. 1. Микроструктура границ раздела «наплавка-основа» образцов

Методом микрорентгеноспектрального анализа установлено, что эти включения в виде дендритов располагаются на незначительном расстоянии (25—30 мкм) от диффузионной прослойки. Далее включения железистой составляющей практически отсутствуют, это говорит о незначительном расплавлении основного металла и достаточно высокой чистоте наплавленного слоя. Спектрограмма образцов, полученная на электронном микроскопе «TESCAN VEGA II LS» приведена на рис. 2.

Измерение микротвердости образцов выполняли на твердомере Duramin-5 при нагрузке 100 г и времени нагружения 12 с. Результаты измерения некоторых образцов приведены в таблице, а схема замера на рис. 3.

Таким образом, наплавка изношенных поверхностей антифрикционными сплавами позволяет им приобрести повышенную стойкость. Благодаря применению материалов типа CuSi_3 достигается значительное увеличение срока службы узлов и агрегатов. Изделия становятся более прочными, достигается необходимая жёсткость сопряжений при нагрузках различного вида, исключается возможность схватывания контактирующих материалов.

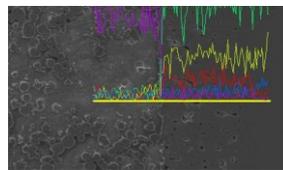


Рис. 2. Спектрограмма переходного слоя

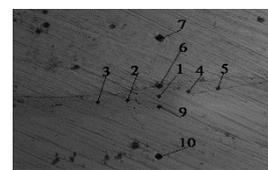


Рис. 3. Схема измерения микротвердости

Таблица. Значение твердости наплавленных образцов

№ точки измерения									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
571	563	554	590	545	262	163	163	537	239
630	630	620	630	610	224	181	174	554	238
398	414	409	383	373	398	303	181	280	257
409	368	420	432	368	378	231	202	355	271

РАЗРАБОТКА ТРЕХКОМПОНЕНТНОГО СМЕСИТЕЛЬНО-ДОЗИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ МОДИФИКАЦИИ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ КОМПОНЕНТОВ НАНОРАЗМЕРНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

С.В. Выдумчик, Т.Г. Павлюкевич, С.А. Островский, М.А. Ксенофонов

НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ, Минск, Беларусь; lab_dozator@mail.ru

В настоящее время возникла острая потребность получения модифицированных полиуретанов из многокомпонентных твердых и жидких композиций, использование которых позволяет значительно изменить физико-химические характеристики получаемых изделий.

Исследования в области нанотехнологий и наноматериалов показали, что в зависимости от размеров наполнителей меняются физико-химические и механические свойства полимеров. Одной из причин, препятствующей широкому практическому использованию этих композитов, является сложность введения и распределение наночастиц в объеме материала, так как до сих пор не разработаны специальные устройства для дозирования и смешения наноразмерных наполнителей в полимерную матрицу. Механизм распределения наночастиц в олигомерной матрице существенно отличается от механизма смешения жидких уретановых композиций.

Ведущие мировые производители смесительно-дозировочного оборудования для производства изделий из пенополиуретанов в последнее время интенсивно разрабатывают новые технические решения для одновременной заливки пенополиуретановых систем и твердых наполнителей. Однако процесс подготовки твердых наполнителей, позволяющих обеспечить тщательное смачивание твердых частиц и их равномерное распределение в смеси, является “ноу-хау” фирм производителей.

В данной работе представлено энергоэффективное автоматизированное оборудование для дозирования и смешения жидких реакционноспособных композиций, наполненных твердыми наноразмерными частицами и новые технологические приемы, позволяющие совместить в едином цикле процессы дозирования, смешения твердых и жидких компонентов пенополиуретановых композиций.

Основанием для этого послужил накопленный большой опыт исследований в области системного молекулярно-структурного анализа физико-химических процессов образования газонаполненных полимеров с использованием современных теоретических и экспериментальных методов анализа, базирующихся на последовательном изучении закономерностей формирования микро-, макромолекулярной организации на различных стадиях превращений мономеров в олигомеры, линейные и сетчатые полимеры.

В НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ разработано смесительно-дозировочное оборудование для переработки двухкомпонентных реакционноспособных ком-

позиций. Однако процесс подготовки твердых наполнителей, позволяющих обеспечить тщательное смачивание твердых частиц и их равномерное распределение в смеси требует новых технических подходов для введения определенного количества компонентов непосредственно в реакционную зону смесителя.

В данной работе представлены закономерности взаимодействия полиэфиров и изоцианатов с наноразмерными модификаторами и создание на этой основе экспериментального энергоэффективного трехкомпонентного смесительного устройства с дозированной подачей каждого компонента в реакционную зону при получении модифицированных полиуретановых композитов.

На рисунке представлено многокомпонентное смесительное устройство.

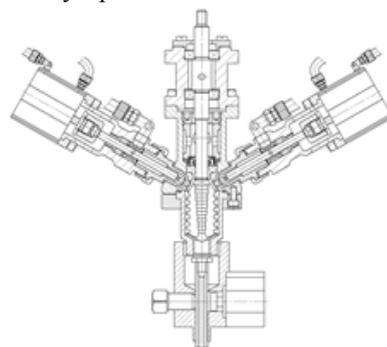


Рис. 1. Многокомпонентное смесительное устройство

Смесительное устройство состоит из корпуса с реакционной камерой, на котором установлено пять клапанов с пневмоприводами. Клапаны имеют одинаковую конструкцию и предназначены для открытия доступа в реакционную камеру компонента А, компонента Б, компонента с модификатором, сольвента для очистки реакционной камеры и подачи воздуха для осушки. Пневмоцилиндры предназначены для открытия и закрытия клапанов. По заданной программе с пульта управления поступают команды, позволяющие одновременно открыть доступ реагирующих компонентов и модифицирующих добавок в камеру смешения.

Такое устройство позволяет создать новые технологические приемы введения наноразмерных твердых частиц непосредственно в камеру смешения при одновременной подаче реакционноспособных полиуретановых композиций, оперативно менять составы модифицирующих соединений, их количество и получать полимерные композиты с определенной макромолекулярной структурой и физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМУЕМОСТИ, УСАДКИ И КОРОБЛЕНИЯ ТЕРМОПЛАСТОВ, ПЕРЕРАБАТЫВАЕМЫХ ПО ЭКСТРУЗИОННО-ПРЕССОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

С.А. Герасименко

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

Проведен анализ влияния рецептурных и технологических факторов на формуемость смесей полимерных материалов (ПМ) на основе аморфных и кристаллизующихся термопластов при их переработке по экструзионно-прессовой технологии (ЭПТ).

В экспериментах использовали специально разработанную технологическую оснастку, позволяющую экспериментально определять длину затекания полимерного расплава в оформляющую полость, выполненную в виде спирали, а также универсальную пресс-форму для изучения усадочных явлений и коробления, а также получения образцов для определения показателей механических свойств. Изменяли состав ПМ, уровень тепловых и силовых воздействий на расплав.

Объектами исследований являлись термопласты, отличающиеся реологическими и теплофизическими свойствами и потенциально пригодные для переработки по ЭПТ: ПЭНП (ГОСТ 16337-77, марка 15803-020), ПЭВП (ГОСТ 16338-85, марка 277-73), ПП (ГОСТ 26996-86, марка 01030); аморфными термопластами служили АБС-пластик (ТУ 6-05-1587-84, марка 2020), ПК (ТУ РБ 600398347.002-2003). Использовали также смесевые материалы на основе ПЭ и ПП и их композиты, содержащие вспенивающие и другие целевые добавки. Показатель текучести расплава (ПТР) исследованных полимеров и смесей изменялся в пределах 3—20 г/10 мин.

Показано, что для смесей полиолефинов существенное влияние на формуемость оказывают, фазовая структура материала, значения показателя текучести (ПТР) компонентов и их теплофизические свойства. Для однотипных смесей (на базе ПЭ или ПП) добавки высокоиндексного полимера могут привести к росту длины пути течения расплава. В случае если дисперсионную фазу образует ПО, имеющий повышенную температуру плавления, то добавление к нему сравнительно небольших коли-

честв более вязкого ПО с меньшей температурой плавления также может приводить к улучшению формуемости. Установлено отсутствие прямой корреляции между формуемостью ПМ и показателями реологических свойств полимерных расплавов. В связи с этим значения показателя текучести (или вязкости расплава) различных термопластов не могут использоваться для сравнительной оценки их формуемости.

Формуемость термопластов может быть существенно улучшена также введением малых количеств низкомолекулярных веществ, влияющих на механизм течения полимерного расплава в узких каналах технологической оснастки. Механическими свойствами, усадкой и короблением изделий можно управлять в широких пределах, варьируя состав ПМ. Эффективным является введение химических вспенивающих агентов, способствующих образованию в изделиях закрытых пор. Приводятся данные о значениях усадки и коробления в зависимости от состава материала, конфигурации образца и технологических факторов, которые целесообразно использовать при проектировании изделий и технологической оснастки для их получения по ЭПТ [1—4].

1. Герасименко С.А., Песецкий С.С. Анализ формуемости термопластов при экструзионно-прессовой переработке // *Материалы, технологии, инструменты*. — 2008 (13), № 1, 38—47
2. Герасименко С.А., Песецкий С.С. Влияние реологических свойств расплава полиэтилена на его формуемость при экструзионно-прессовой переработке // *Материалы, технологии, инструменты*. — 2009 (14), № 4, 72—77
3. Герасименко С.А., Песецкий С.С. Исследование формуемости при экструзионно-прессовой переработке полипропилена, подвергнутого пероксидному модифицированию в расплаве // *Материалы, технологии, инструменты*. — 2010 (15), № 1, 89—95
4. Герасименко С.А., Песецкий С.С. О формуемости смесей ПП/ПЭ при экструзионно-прессовой переработке // *Материалы, технологии, инструменты*. — 2011 (16), № 3, 72—79

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ БЕЛКА ПРОТАМИНА СУЛЬФАТА И ПОЛИСАХАРИДОВ

К.С. Гилевская, Е.В. Скопцов, В.Е. Агабеков

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

Биополимерные покрытия находят широкое применение в медицине и используются для модификации контактных линз, искусственных хрусталиков, трансплантатов кровеносных сосудов, шовных материалов, соединительных элементов суставов [1].

Цель работы — оценка механических свойств мультислойных пленок на основе протамин сульфата и полисахаридов пектина и альгината.

Покрытия, состоящие из 7,5 и 8 бислоев протамин/полисахарид, формировали методом послойного осаждения полиэлектролитов на гидрофилизированных кремниевых подложках. В качестве первого слоя адсорбировали поликатион протамин сульфат, затем промывали подложку дистиллированной водой и наносили слой полианиона пектина или альгината. Адсорбцию биополимеров проводили из их водных растворов с концентрацией 3 мг/мл при комнатной температуре.

Сформированные покрытия (протамин/полисахарид)₈ имеют однородную бездефектную поверхность. Для морфологии пленок (протамин/пектин)₈ характерно наличие агрегатов округлой формы с диаметром от 200 до 600 нм и высотой до 40—45 нм (рис. 1, а). В то же время для пленок с верхним слоем белка (протамин/пектин)₇/протамин высота агрегатов в два раза меньше и не превышает 20—25 нм.

Покрытия на основе альгината натрия имеют более гладкую по сравнению с пектиновыми пленками поверхность: показатель шероховатости Rms не превышает 4 нм (рис. 1, б).

Рассчитанные по силовым кривым подвода-отвода с использованием модели Герца [2] значения локального модуля Юнга для сухих покрытий (протамин/полисахарид)₈ находятся в диапазоне от 100 до 200 МПа.

Оцененная с помощью атомно-силовой микроскопии (АСМ, Nanoscope MultiModeIII) величина адгезии между зондом (Si₃N₄, константа жесткости 0,12 Н/м, радиус закругления 100 нм) и пленкой (протамин/пектин)₈ составляет от 0,03 до 0,12 Дж для участков 1 и 2 соответственно (рис. 1, а). Для покрытия (протамин/альгинат)₈ величина адгезии составляет ~ 0,12 Дж.

Установлено, что пленки (протамин/пектин)₈ уменьшают коэффициент трения (нагрузка 0,3 Н, пара трения сталь-кремний) по сравнению с немо-

дифицированной кремниевой поверхностью с 0,15 до 0,10 и выдерживают до 10000 циклов скольжения (рис. 2 кривая 2). Разрушение покрытия (протамин/альгинат)₈ наблюдается после 100—120 циклов скольжения (рис. 2 кривая 1).

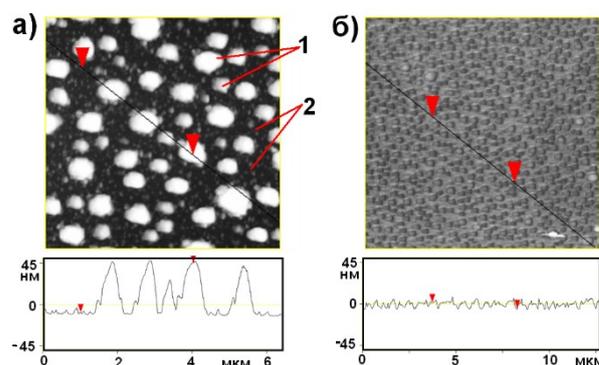


Рис. 1. АСМ изображение поверхности пленок (протамин/пектин)₈ (а) и (протамин/альгинат)₈ (б)

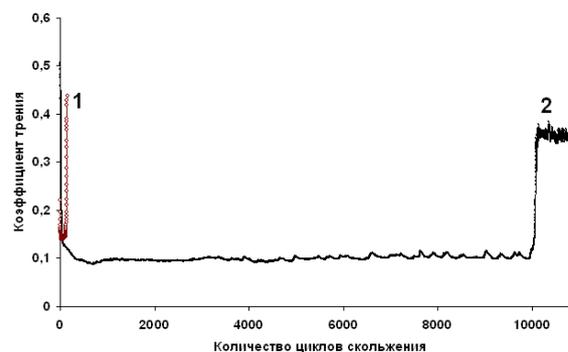


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения от числа циклов скольжения для пленок (протамин/альгинат)₈ (1) и (протамин/пектин)₈ (2)

Таким образом, пленки на основе протамин сульфата и полисахаридов пектина и альгината обладают эластичностью и износостойкостью и могут быть перспективны в качестве защитных покрытий.

1. Наноструктуры в биомедицине / Под ред. К. Гонсалвес, К. Хальберштадт, К. Лоренсин, Л. Наир; пер. с англ. — М.: Бином. — 2012
2. Schoeler B., Delorme N., Doench I., Sukhorukov G., Fery A., Glinel K. Polyelectrolyte films based on polysaccharides of different conformations: effects on multilayer structure and mechanical properties // *Biomacromolecules* — 2006 (7), 2065—2071

ОТВЕРЖДАЕМАЯ ТЕРМОСТОЙКАЯ КОМПОЗИЦИЯ

А.И. Глоба, Э.Т. Крутько, И.И. Глоба

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь; Orion-2308@yandex.ru

Известно, что отверждаемые композиции на основе бис-малеинимидов и диаминов различного химического строения используются при изготовлении армированных пластиков в качестве высокотермостойких связующих [1—5]. Бис-малеинимиды, содержащие реакционноспособные непредельными связями и ароматические диамины, входящие в состав композиций, обеспечивают возможность формирования сетчатых структур олигомерных систем поликонденсационного типа в процессе отверждения композиций при нагревании. Такие композиции обладают высокой термической стабильностью и теплостойкостью, но подвергаются воздействию агрессивных сред, разрушаясь под действием концентрированных растворов кислот и щелочей. Кроме того они не обладают пленкообразующей способностью.

Задачей данного исследования являлось получение отверждаемой композиции устойчивой к воздействию агрессивных сред при сохранении высокой термостойкости, улучшении прочностных свойств и пленкообразующей способности.

В качестве основного объекта исследования была выбрана N,N,N',N'-3,3',4,4'-дифенилоксидтетрамалеинамидокислота (ТМАК).

В качестве отверждающего агента использовали 4,4'-диаминодифенилметан.

Приготовление модифицированных композиций осуществляли следующим способом: в раствор ТМАК вводили расчетные количества модифицирующего реагента — 4,4'-диаминодифенилметана, который одновременно выполнял роль отвердителя, перемешивали композиции в течение определенного времени до получения однородных композиций и из полученных растворов отливали пленки на стеклянные подложки. С целью оптимизации составов пленкообразующих композиций содержание диамина варьировали в пределах от 12 до 17 мас.% в пересчете на сухой остаток исходной ТМАК. Растворитель удаляли в вакууме при температуре 40—50 °С. Пленки снимали с подложек и подвергали прогреву в инертной среде при ступенчатом повышении температуры от 20 до 320—350 °С.

Механические свойства пленок в свободном

состоянии измеряли на приборе УМИВ-3. Устойчивость к воздействию агрессивных сред оценивали как время до набухания пленки при 20 °С в концентрированной серной кислоте и в 30%-ном растворе щелочи (КОН).

Установлено, что покрытия, полученные из предлагаемой отверждаемой композиции, обладают высокой термической стабильностью, хорошей пленкообразующей способностью, могут использоваться для получения покрытий, устойчивых к агрессивным средам. Снятая с подложки эластичная пленка в свободном состоянии имеет прочность от 4,9 до 6,9 кг/мм², эластичность, оцениваемую по относительному удлинению при разрыве от 3,5 до 4,5%, модуль упругости 160—195 кг/мм². Устойчивость к воздействию концентрированной серной кислоты составляет 550 ч, а к воздействию 30%-го раствора щелочи — 450 ч.

Таким образом, разработанная термически отверждаемая композиция на основе реакционноспособных олигоимидов является термостойким пленкообразующим материалам и может быть использована в качестве термостойких электроизоляционных покрытий, устойчивых к агрессивным средам, адгезионных материалов и связующих для армированных пластиков.

1. Дорошенко Ю.Е. и др. Полиимиды пространственного строения. Химия и технология высокомолекулярных соединений. Серия «Итоги науки и техники». — М.: ВИНТИ. — 1982, (17), 23
2. Воложин А.И. и др. Термическая устойчивость поли(4,4'-дифенилоксид)пиромеллитимида, модифицированного N,N'-бис-малеинимидами // Доклады АН БССР. — 1984 (18), № 7, 651—653
3. Кузнецов А.А., Семенова Г.К. Перспективные высокотемпературные терморезистивные связующие для полимерных композиционных материалов // Российский химический журнал. — 2009 (53), № 4, 86—95
4. Биран В.В. и др. О модифицирующем действии N,N'-бис-имидов ненасыщенных дикарбоновых кислот на алифатические полиамиды // Доклады АН БССР. — 1983 (27), № 8, 717—719
5. Воложин А.И. и др. Синтез и исследование полималеимидаминов // Вес. АН БССР. Сер. хім. навук. — 1989, № 5, 101—103

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗАЩИТЫ ЦЕННЫХ БУМАГ МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ВОЛОКНАМИ

В.А. Гольдаде^{1,2}, Н.В. Кузьменкова³, В.Е. Сыцко³, Е.С. Гараева², М.А. Ковалевич²

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

²Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины, Гомель, Беларусь

³Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации, Гомель, Беларусь

Защита от подделки ценных бумаг (денег, бланков документов и др.) является важной проблемой, затрагивающей экономическую безопасность государства. Комплекс мер по защите документов должен обеспечить, прежде всего, нецелесообразность их подделки. Эффективным способом защиты зарекомендовало себя введение в состав бумажной основы особым образом подготовленных синтетических волокон. Достоинством такого решения является простота идентификации бумаг и сложность изготовления подделки, близкой к оригиналу.

Перспективной методикой модифицирования синтетических волокон красителями или иными целевыми добавками является использование крейзинг-технологии. Она позволяет придавать трудно окрашиваемым полиэфирным волокнам устойчивую окраску или иные специальные свойства, отличается высокой производительностью, легко вписывается в стандартный процесс изготовления химических волокон, не требует значительной модификации технологического оборудования.

Цель работы: изучение свойств полиэфирных волокон, модифицированных в процессе ориентационной вытяжки синтетическими красителями и наноразмерными магнитными наполнителями.

Для прерывистого окрашивания волокон по механизму крейзинга на участках, чередующихся с неокрашенными участками, использовали оригинальное устройство. Эксперименты проводили с неориентированными полиэтилентерефталатными (ПЭТФ) волокнами марки А номинальной линейной плотности 0,33 текс производства ОАО «Могилевхимволокно». Для обработки волокон использовали растворы в н-пропанолу люминесцентных красите-

лей — феналемина 160, оксазина 17, родамина С, красителя марки ЕК-3FP. Окрашенные волокна исследовали в УФ-свете с помощью прибора «Пеленг ВК-04», предназначенного для контроля акцизных марок. В результате поочередного модифицирования двумя красителями получено волокно с эффектом чередующегося поляризационного разделения цветов: участки оранжево-розового и фиолетового цветов. Подбирая комбинации красителей, отличающихся цветом свечения в УФ-излучении, можно придавать волокнам чередование цветов, реализуя запланированную схему защиты бумаги, наполненной отрезками волокон.

Крейзинг позволяет совмещать крашение волокон с введением наночастиц ферромагнитных металлов для придания волокну дополнительных полезных свойств. Участки волокон, содержащие ферромагнитные частицы, имеют характерную серо-синюю окраску, резко выделяющуюся на фоне соседних бесцветных участков. Для регистрации магнитных свойств волокон использовали высокополевую измерительную установку «Cryogenic» (Великобритания). Показано изменение удельного магнитного момента волокон, модифицированных наночастицами никеля по механизму крейзинга, от индукции магнитного поля при разных степенях вытяжки волокон.

Возможность формирования полиэфирных волокон с заданным распределением намагниченности, а также дозированное размещение добавок на локальных участках волокна оптимально отвечают критериям защиты от подделок целлюлозной основы ценных бумаг.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

А.И. Гордиенко, А.Г. Бакаев, Р.Я. Синдаров

Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Широкое применение полимерных композиционных материалов на основе высокопрочных волокон в конструкциях летательных аппаратов является показателем высокого уровня эффективности современных авиационных конструкций в сравнении с традиционными металлическими. Этот опыт открывает новые возможности для разработок более совершенной техники, в т.ч. и малоразмерных беспилотных летательных аппаратов (БЛА).

Целью исследований является получение максимальных физико-механических свойств, таких как прочность, жесткость, радиопрозрачность и т.д. композиционных материалов на основе отечественных армирующих волокон, как для деталей планеров БЛА, так и в формообразующей оснастки для их изготовления. При разработке технологии производства БЛА сохранение конфигурации конструкции минимальной массы, надежности при минимальных стоимостных затратах является первоочередной задачей.

Решением поставленных задач явился выбор конструкционных стеклотканей для изготовления оснастки и деталей планера БЛА. С целью управления радиосвойствами композитов в эпоксидную матрицу вводили наноразмерные частицы окиси кремния и углерода с помощью ультразвука, а на углеродные волокна отечественного производства

— наносили электрохимическое никелевое покрытие.

Отработку технологии получения оснастки, деталей планера БЛА и образцов проводили в холодном режиме отвердевания связующего при вакуумном прессовании. Исследование механических свойств и микроструктур проводили согласно соответствующим стандартам. Радиосвойства композиций исследовались в РУП «БелГИМ» на радиопоглощение, а в ГИСЦ «Витязь» — на радиоотражение.

В результате проведенных работ предел прочности стеклопластиков на растяжение составил 440—460 МПа, углепластика — около 600 МПа. Радиопрозрачность стеклопластиков характеризуется минимальными значениями коэффициента ослабления, а на частотах 2,45 и 11,5 ГГц имеют нулевое значение. Радиопоглощающие композиты позволяют в 2,5—3 раза уменьшить радиозаметность БЛА в сравнении с алюминием.

Проведенная экспериментальная работа позволила разработать комплексную технологию изготовления оснастки, деталей планера БЛА и создать производственный участок малосерийного изготовления в НПЦ «БАК и технологии» ГНУ «ФТИ НАН Беларуси».

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЛОКНИСТО-ПОРИСТОГО ФТОРОПЛАСТА «ГРИФТЕКС» ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ РАНЕВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПЕЧЕНИ

П.Н. Гракович¹, В.В. Кудло², И.Г. Жук², И.С. Цыдик², Н.И. Прокопчик²

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

²Гродненский государственный медицинский университет, Гродно, Беларусь

Уровень оказания хирургической помощи как в нашей стране, так и во всем мире неуклонно растет. Однако хирургия печени остается проблемным вопросом медицины. Одной из трудноразрешимых задач является интраоперационный гемостаз и укрытие раневой поверхности паренхиматозных органов, в том числе и печени. С целью перитонизации в различные времена применяли провизорные швы, прядь сальника на сосудистой ножке, коллагеновые и желатиновые губки, синтетические материалы.

Среди синтетических материалов можно выделить фторопласт-4, выпуск которого освоен в «Институте механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси» под названием «Грифтекс».

Цель работы

Экспериментально обосновать возможность применения волокнисто-пористого фторопласта «Грифтекс» для герметизации раневой поверхности печени.

Материалы и методы исследования

В эксперименте использованы беспородистые крысы массой 200—300 гр. Под кетаминным наркозом в асептических условиях операционной проводилась лапаротомия. В операционную рану выводилась левая доля. Производилась краевая резекция печени длиной 1 см, шириной 0,5 см. На раневой дефект укладывался аналогичный по размерам ранее подготовленный фторопласт. Одиночными узловыми швами кораленом 6/0 материал фиксировался к капсуле печени. Производилось послойное ушивание операционной раны. На 3, 7, 14 и 21 сутки по 3 животных на каждый срок выводились из эксперимента, брались кусочки печени для морфологических исследований. Лабораторные исследования производились с использованием световой микроскопии и окраски гистологических препаратов гематоксилин-эозином и пикрофуксином по Ван Гизону.

Результаты исследования

При микроскопическом исследовании на 3 сутки в зоне резекции определялись 3 зоны: 1) виден фторопласт, представляющий собой продольно ори-

ентированные волокна; 2) затем тонкая полоска некротизированных гепатоцитов, 3) печеночные клетки с расширенными синусоидами. В глубине паренхима печени выглядела неизменной.

На 7-е сутки при окраске гематоксилин-эозином определяется пропитывание синтетического материала форменными элементами крови. Вокруг него умеренно выражены признаки воспаления: венозное полнокровие, лимфо- и гистиоцитарная инфильтрация. По внутренней поверхности и внутри имплантатов располагается молодая соединительная ткань: хаотически расположенные проколлагеновые и коллагеновые волокна, посреди которых встречаются единичные фибробласты. Структура паренхимы печени, окружающей «Грифтекс» не нарушена, гепатоциты внешне не изменены.

На 14-е сутки в зоне имплантации на всем протяжении синтетического материала отмечалось прорастание зрелой соединительной ткани, состоящей из коллагеновых волокон с расположенными среди них фибробластами. Разрастания соединительной ткани вглубь печени нет. Паренхима печени как вблизи, так и в отдалении от капсулы, структурно не изменена, синусоидные капилляры не расширены, внутренняя архитектура дольки не отличается от нормы.

На 21-е сутки у всех животных в зоне резекции отмечалось формирование соединительнотканной капсулы, каркасом которой служил фторопласт. При этом вглубь паренхимы печени отхождения тяжелой соединительной ткани обнаружено не было.

Выводы

Из вышеописанного можно сделать вывод, что укрытие резецированной поверхности печени волокнисто-пористым фторопластом Грифтекс сопровождается незначительной воспалительной реакцией окружающих тканей, инкапсуляцией и прорастанием элементами соединительной ткани. Это позволяет говорить об инертности и биологической совместимости синтетического материала с тканями организма и возможности его использования в абдоминальной хирургии, в том числе и при хирургическом лечении патологии печени.

ФОРМИРОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ С ГРАДИЕНТНЫМ НАПОЛНЕНИЕМ ПЛАСТИЧНЫМИ МЕТАЛЛАМИА.Я. Григорьев¹, Е.Э. Дмитриченко², И.Н. Ковалева¹, Г. Вишниева-Вейнерт³¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь; aygri@tut.by²Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Гомель, Беларусь³Институт обработки материалов, Познань, Польша**Введение**

Один из способов снижения коэффициента трения и увеличения износостойкости композитов заключается во введении частиц пластичных металлов в полимерную матрицу [1]. Наиболее простым является объемное наполнение, однако этот способ плохо подходит для покрытий, поскольку при этом снижается их адгезия к подложке. Преодолеть этот недостаток позволяет градиентная модификация, при которой частицы металлов вводятся только в приповерхностные слои [2]. Оптимальным считается плавное снижение концентрации дисперсной фазы с расстоянием от поверхности, что вызывает трудности при практической реализации.

Цель

Отработка лабораторного метода получения порошковых покрытий с градиентным наполнением поверхностных слоев пластичными металлами, основанного на вакуумном напылении их пленок на частицы припеченного к стальной подложке полимера и оплавления полученной заготовки.

Материалы и методы

Покрытия формировались на металлических подложках из стали Ст3кп с размерами 20×20×2 мм. Поверхность пластин обрабатывались наждачной бумагой (зернистость Р1000), полировались пастой ГОИ № 3 до $R_a = 0,15 \pm 0,05$ мкм. Обезжиривание производилось промывкой в ультразвуковой ванне с этанолом в течение 10 мин.

В качестве базового материала покрытий использовался порошок полиамида-6 (ПА) со средним размером частиц 125 мкм. Стальные пластины, предварительно нагретые в электрической печи, опускались на 5...10 с в стакан, в котором продувкой сжатого воздуха со дна и механической вибрацией создавалась взвесь порошка полимера. В результате на подложке формировался слой оплавленных частиц (рис. 1, а). На этот слой вакуумным термическим напылением наносились пленки металлов (свинец, олово, висмут) толщиной около 10 нм. Полученные заготовки нагревались в термощкафу до оплавления металлополимерного слоя и формирования покрытия толщиной 150...300 мкм. Для получения ровной поверхности разогретые образцы выдерживались в контакте со стеклянными пластинами.

Результаты и их обсуждение

Анализ изображений поперечных срезов покрытий показал, что в процессе оплавления исходные частицы полимера не смешиваются, образуя характерную ячеистую структуру (рис. 1, б).

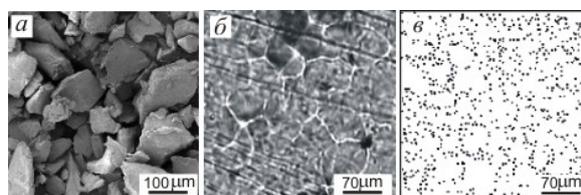


Рис. 1. Структура композита Па + Sn: а — частицы полимера на подложке (РЭМ); б — поперечный срез приповерхностной области (оптическая микроскопия на просвет); в — карта распределения олова на том же участке (микрорентгеноспектральный анализ)

Повышенная концентрация металлов на границах ячеек (рис. 1, в) указывает на то, что нанесенные пленки препятствуют слиянию частиц полимера при нагреве. Несовпадение границ ячеек и областей высокой концентрации металлов объясняется фрагментацией пленок при оплавлении. Анализ распределения металлов по толщине показал уменьшение их концентрации до величины около 10% от начального значения на расстоянии менее характерного размера частиц от поверхности.

Заключение

Вакуумным напылением пластичных металлов на частицы полиамида-6, получены порошковые покрытия с градиентным наполнением поверхностных слоев. Установлено, что металлы в покрытиях находятся в форме пленочных наноструктурных фрагментов, а их концентрация плавно уменьшается практически до нуля на расстоянии характерного размера частиц от поверхности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского фонда фундаментальных исследований (проект БРФФИ № Т11ПЛШ-004).

1. Песецкий С.С., Богданович С.П., Мышкин Н.К. Триботехнические свойства нанокompозитов, получаемых диспергированием наполнителей в расплавах полимеров // Трение и износ. — 2007 (28), № 5, 500—521
2. Селяев В.П., Низина Т.А., Лазарев А.Л., Ланкина Ю.А., Цыганов В.В. Функционально-градиентные покрытия на основе полимерных связующих // Известия высших учебных заведений. — 2007, № 7, 36—40

Ni-P+ПТФЭ ПОКРЫТИЯ В СЛАБОНАГРУЖЕННЫХ УЗЛАХ ТРЕНИЯ

Д.М. Гуцев

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

Целью данной работы являлось исследование влияния добавки низкомолекулярного мелкодисперсного ПТФЭ на триботехнические характеристики Ni-P покрытий.

Методика

Ni-P покрытия формировали химическим методом на образцах из нержавеющей стали толщиной 0,15 мм. В качестве модифицирующей добавки использовали мелкодисперсный порошок низкомолекулярного ПТФЭ, получаемый при лазерной переработке фторопласта-4. Порошок ПТФЭ, состоящий из частиц с диаметром субмикронного размера, наносили из спиртовой суспензии с последующим оплавлением при температуре 330—340 °С. Перед покрытием образцы готовили стандартным методом [1], включающим: обезжиривание, промывку, травление.

Оборудование

Формирование покрытий производилось с помощью магнитной мешалки С-Mag HS7 (Германия). Термическая обработка производилась в лабораторной печи СНОЛ 8,2/1100 (Литва). Триботехнические исследования проводились на микротрибометре MTU-2К, (ИММС НАН Беларуси). Измерения микротвердости по Виккерсу производились на микротвердометре ПМТ-3М (ЛОМО, Россия). Морфология образцов изучалась на растровом электронном микроскопе «VEGA-II LSH» (Tescan, Чехия) и на оптическом микроскопе «OLYMPUS BX41» (Япония).

Морфология поверхности

Анализ морфологии поверхности покрытий показывает, что после термообработки порошок ПТФЭ формируется в виде островкового покрытия.

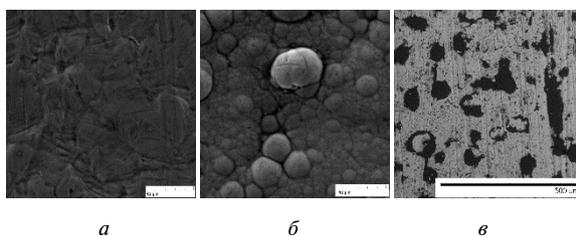


Рис. 1. РЭМ фотографии морфологии исходной подложки и сформированных покрытий: а — подложка, б — Ni-P, в — Ni-P+PTFE

Триботехнические исследования

После обработки ПТФЭ коэффициент трения

принимает значения порядка 0,1 при всех нагрузках, кроме нагрузки в 250 мН. На рис. 2 видно, что при данной нагрузке коэффициент трения продолжает снижаться, что позволяет сделать предположение о неполной приработке покрытия в результате малой нагрузки и малой продолжительности испытания.

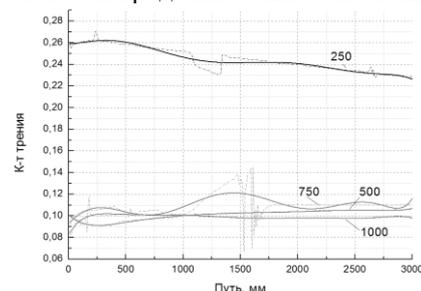


Рис. 2. Кривые трения индентора из стали ШХ15 по Ni-P + ПТФЭ

Выводы

Показано, что при модифицировании Ni-P покрытия мелкодисперсным низкомолекулярным ПТФЭ приводит к значительному снижению коэффициента трения. Установлено, что ПТФЭ, размазываясь по поверхности, в процессе трения, заполняет микрошероховатости рельефа, длительное время сохраняет антифрикционные, антиадгезионные и противозадирные свойства.

В данном случае Ni-P покрытие играет защитную роль, предохраняя материал подложки от воздействий среды, способных вызвать ее коррозию. Благодаря высокой твердости препятствует преждевременному износу поверхности, а ПТФЭ способствует снижению вероятности возникновения задиров, заливаний, снижает коэффициент трения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (БРФФИ № Т11ПЛШ-004).

1. Гуцев Д.М. Методика формирования Ni-P базового слоя металлополимерного антифрикционного покрытия / МИ № 003-2009 ИММС НАН Беларуси, Гомель. — 2009, 12 с.
2. Вановская К.М. Металлические покрытия, нанесение химическим способом / Под ред. П.М. Вячеславова — Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение. — 1985
3. Рябченков А. В., Велемицина В.И. Упрочнение и защита от коррозии деталей методом химического никелирования. — М.: Машиностроение. — 1965
4. Основы материаловедения. Учебник для вузов. Под ред. И.И. Сидорина. — М.: Машиностроение. — 1976
5. Цеев Н.А., Козелкин В.В., Гуров А.А. Материалы для узлов сухого трения, работающих в вакууме. — М.: Машиностроение. — 1991

ОГНЕСТОЙКИЕ БЕЗГАЛОГЕННЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДА 6

А.А. Давыдов

Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь;
otdel5mpri@tut.by

В докладе приводится информация по влиянию состава на огнестойкость и комплекс потребительских свойств полиамида 6. Создание экологически безопасных (безгалогенных и безфосфорных) огнестойких полиамидных материалов возможно с применением азотсодержащих антипиренов (АП) совместно с различными синергическими добавками (СД) усиливающими огнегасящий эффект [1, 2].

Для получения огнестойких композитов использована технология, основанная на экструзионном компаундировании в расплаве. В серии выполненных экспериментов для компаундирования огнестойких композитов использовали экструзионно-грануляционную линию на базе двухшнекового экструдера TSSK-35/40 (диаметр шнеков 35 мм; $L/D = 40$). Материальный цилиндр экструдера снабжен десятью зонами обогрева и зоной вакуумирования. С целью улучшения диспергирования частиц СД и гомогенизации материала, материальный цилиндр экструдера оснащен шнеками специальной конфигурации, которые имеют две перемешивающие кулачковые секции и секцию, сообщающую расплаву траекторию противоположную направлению движения основного потока, что создает дополнительную турбулентность в движущемся расплаве и улучшает распределения компонентов. Ввод всех компонентов, входящих в состав материала, осуществляли путем их загрузки в основную загрузочную воронку материального цилиндра. После прохождения через материальный цилиндр расплав выдавливали в виде стренг и подвергали водяному охлаждению с последующей грануляцией стренг. Далее полученный гранулят высушивали до остаточной влажности не более 0,15% и использовали для изготовления экспериментальных образцов на термопластавтомате EN-30 (объем впрыска 30 см³).

Исследовали реологические свойства расплавов огнестойких композитов (прибор 5MPSA фирма Advanced Melt Flow System, Великобритания), термостабильность на воздухе при динамическом нагреве со скоростью 10 °С/мин (дериватограф OD 102 с компьютерным управлением), особенности плавления и кристаллизации (дифференциальный сканирующий калориметр Diamond DSC, фирма Perkin Elmer precisely, США) и механические свойства (универсальная испытательная машина INSTRON модели 5567, Великобритания).

Установлено, что введение СД и азотсодержащих АП позволяет получать экологически безопас-

ные ПА композиты с высшей категорией стойкости к горению ПВ-0 (V-0 по UL-94). Значения показателей стойкости к горению, механических и теплофизических свойств композитов определяются как технологическими параметрами процесса компаундирования, так и концентрацией антипирена. Влияние последней приведено в табл. 1.

Таблица 1. Влияние концентрации АП на свойства композитов

[АП] мас. %	КГ	σ_p , МПа	a , кДж/м ²	$T_{10\%}$, °С	ПТР, г/10мин
0	Горит	55	н/р (7,2)	390	9,8
12	ПВ-2	56	н/р (5,4)	373	7,9
15	ПВ-2	54	н/р (4,8)	368	7,8
18	ПВ-2	48	62	366	7,5
21	ПВ-0	47	54	362	7,2
24	ПВ-0	45	45	350	6,4

Примечания: КГ — категория стойкости к горению по ГОСТ 28157; σ_p — прочность при разрыве (* — верхний предел текучести); a — ударная вязкость по Шарпи без надреза, в скобках с острым надрезом; $T_{10\%}$ — температура потери 10% массы (нагрев на воздухе со скоростью 10 °С/мин); ПТР — показатель текучести расплава (при $T = 250$ °С и $P = 21,6$ Н).

Добавки АП приводят к некоторому снижению кристалличности полиамидной (ПА) матрицы и, возможно вследствие этого, снижению механической прочности. При концентрации синергической смеси АП 19—22 мас. % достигается высшая категория стойкости к горению при относительно высоком уровне значений показателей механических свойств.

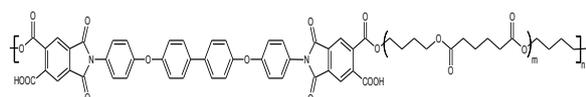
Перспективы дальнейших исследований и разработок в области огнестойких ПА заключаются в установлении механизма огнегасящего действия гибридных антипиренирующих систем, оптимизации составов АП для различных типов ПА и композитов на их основе, включая смесевые и волокнонаполненные материалы, и технологии их получения.

Огнестойкие ПА композиты пригодны для промышленного производства при наличии соответствующего оборудования, принцип действия которого основан на компаундировании в расплаве.

1. Песецкий С.С., Юрковский Б., Давыдов А.А. Полиамидные нанокompозиты пониженной горючести / Тр. конф. «Химические реактивы, реагенты и процессы малотоннажной химии». — Мн.: Беларус. навука. — 2011, 184—193
2. Давыдов А.А., Юрковский Б., Юрковская Б., Песецкий С.С. Полиамидные композиты пониженной горючести. XXVI междунар. науч.-техн. конф. «РЕАКТИВ-2012». Тезисы докладов. Мн., 2—4 октября 2012 г. — Мн. — 2012, 106

ДИНАМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
СЕГМЕНТНЫХ СОПОЛИЭФИРИМИДОВА.Л. Диденко, В.Е. Смирнова, А.В. Зарбуев, В.Е. Юдин,
В.М. Светличный, В.В. КудрявцевИнститут высокомолекулярных соединений РАН, С-Петербург, Россия; kudryav@hq.macro.ru

Методом механического термического анализа (МТА) исследованы динамические механические свойства пленок сегментных блоксополимеров, содержащих гибкие блоки алифатического сложного полиэфира и жесткие блоки ароматических полиимидов. В синтезе блоксополимеров были использованы диангидрид пиромеллитовой кислоты, п-фенилендиамин (ПФ), 4,4'-бис(4"-аминофенокси)дифенил (ОДФО), 4,4'-бис(4"-аминофенокси)дифенилсульфон (СОД-пара), соответственно, и полибутиленадипат, терминированный гидроксильными группами ($M_n=1000$). В случае п-фенилендиамина сегментный сополимер имел структуру:



Исследованные сополимеры образовывали прочные эластичные пленки, значения удлинения при разрыве которых превышали сотни процентов. Динамические механические свойства пленок испытывали на приборе DMA (Germany). Измерялись температурные зависимости трех параметров: динамического модуля упругости (E'), модуля потерь (E'') и тангенса угла механических потерь ($\tan \delta$).

Типические кривые МТА приведены на рис. 1 для случая сополиэфиримида на основе диамина ОДФО.

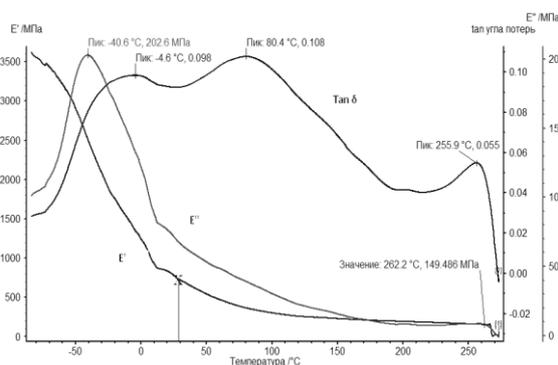


Рис. 1. Кривые МТА для сополиэфиримида на основе диамина ОДФО. Скорость нагревания 5 °С в минуту

На кривой температурной зависимости $\tan \delta$ отчетливо проявляются три максимума. Максимум при температуре $-4,6$ °С следует отнести к α -ре-

лаксации процессу, отражающему размораживание сегментальной подвижности макроцепей гибких звеньев алифатического олигоэфира. Максимум при температуре 260 °С разумно отнести также к релаксационному α -переходу, но отражающему размягчение жесткой фазы, образованной звеньями ароматического имида (T_g жесткой фазы). Третий релаксационный переход при температуре 80 °С мы относим к β -релаксационному переходу, отражающему размораживание вращений относительно простой эфирной связи в ариленовых радикалах при имидных атомах азота. Максимум при $-40,6$ °С на температурной зависимости модуля потерь E'' указывает на температуру стеклования гибкой фазы полимера. Обращает на себя внимание большая разница между температурами, соответствующим максимумам на кривых для модуля потерь и $\tan \delta$, что на наш взгляд можно рассматривать как результат взаимодействия гибкой и жесткой фазы полимера. Выше температуры размягчения полимер переходит в резиноподобное состояние с низким модулем эластичности (наблюдается плато каучукоподобной высокоэластичности).

Таблица 1. Обобщённые результаты МТА сополиэфиримидных плёнок на основе различных диаминов

диамин	ПФ	СОД-п	ОДФО
$T_g(E'')$, °С	-45,1	-44,8	-40,6
$T_g(\tan \delta)$, °С	-24,5	-32,6	-4,6
T начала плато, °С	-20	-15	30
E' при 20 °С, МПа	195,9	370,0	841,0
E' при 100 °С, МПа	136,0	187,0	300,0
$\tan \delta$ при 100 °С	0,054	0,075	0,102
$T_{тек}$ (по $\tan \delta$), °С	200	220,0	260,0

Как следует из табл. 1, исследованные сополиэфиримиды приближаются по свойствам к термоэластопластам: имеют T_g лежащие в области отрицательных температур; температурные зависимости модуля накопления E' имеют плато высокоэластичности; значения модуля накопления E' величины на порядок величины меньше, чем у ароматических аналогов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНФИГУРАЦИИ МАСЛООТВОДЯЩИХ КАНАВОК НА ФРИКЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ МЕДИ (МК-5)

А.А. Дмитриевич¹, Д.И. Сарака¹, А.В. Лешок²

¹Институт порошковой металлургии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

²ПРУП «МолЗПМ», г. Молодечно, Беларусь

Цель данного исследования: проведение триботехнических испытаний фрикционных дисков с различной конфигурацией маслоотводящих канавок. Для исследования были использованы серийно выпускаемые диски с фрикционным материалом на медной основе (МК-5).

Триботехнические исследования проводились на инерционном стенде для испытания фрикционных дисков УЛИС. Измерения проводились через каждые 100 циклов торможения. На рис. 1 представлена приработочная характеристика исследуемых фрикционных дисков за 500 циклов торможения.

Исследования показали, что первые 500 циклов работы фрикционного диска следует считать приработкой, при которой наблюдается уменьшение износа и коэффициента трения. При установившемся режиме трения для регистрации износа требуются более длительные испытания от 500 циклов торможения.

Установлено, что конфигурация маслоотводящих канавок, применяемая различными производи-

телями фрикционных дисков, существенно влияет на коэффициент трения и износ. Это, в первую очередь, связано с изменением давления на контакте и с характером отвода масла из области трения в процессе торможения.

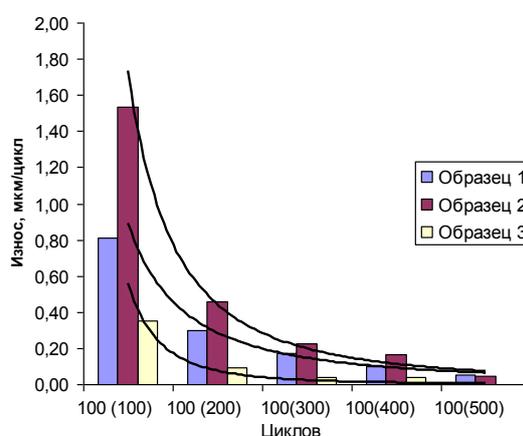


Рис. 1. Зависимость износа от количества циклов испытаний

ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Р.М. Долинская, Т.Д. Свидерская, Н.Р. Прокопчук

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

Введение

Для развития машиностроения необходимо повышать качество резинотехнических изделий, которые сочетают комплекс свойств, отвечающих требованиям, а также проводить работы по изысканию методов эффективной модификации каучуков, резиновых смесей и РТИ с целью воздействия на те их свойства, с изменением которых связана, прежде всего, работоспособность и долговечность. Для повышения работоспособности или усовершенствования технологии получения резиновых изделий применяют эффективный способ объемной модификации резин, заключающийся в направленном воздействии на эластомерные материалы без глубокого изменения его химической природы введением специальных модификаторов, различной природы, изменяющих определенные свойства резин (прочность, износостойкость, морозостойкость и др.).

В настоящее время актуальна проблема разработки и совершенствования технологий модификации резин для повышения их эксплуатационных свойств. Использование модифицирующих добавок, обеспечивающих максимальное структурирование полимерной матрицы на различных уровнях структурной организации и получение материалов с уникальными свойствами, зачастую недостижимыми для традиционных композитов, это перспективный метод модификации полимерных матриц.

Цель

Провести физико-механические исследования

эластомерных композиций с добавками мелкодисперсных углеродсодержащих веществ.

Объекты исследования

Модифицированные эластомерные композиции на основе синтетических каучуков общего назначения.

Результаты и их обсуждение

В работе были проведены исследования модифицирования эластомерных композиций мелкодисперсными углеродсодержащими веществами. Показано влияние модифицирующей добавки на упругопрочностные свойства эластомерных композиций на основе различных типов каучуков. Установлено, что с увеличением содержания модификатора от 0,15 до 0,75 мас.ч. на 100 мас.ч. каучука в композициях улучшаются физико-механические свойства: условная прочность при растяжении, относительное удлинение, а также улучшается показатель твердости резин после старения. Чем больше количество модификатора введено в композицию, тем выше уровень прочностных показателей.

Выводы

Таким образом, применение модифицирующих добавок в количестве 0,75 мас.ч. на 100 мас.ч. каучука в эластомерных композициях улучшает прочностные свойства, что позволяет изготавливать на их основе уплотнительные изделия с улучшенными эксплуатационными свойствами.

ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫЕ БЕМИТОМ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИМЕРОВ

В.И. Дубкова¹, Н.П. Крутько¹, Л.В. Судник², В.С. Нисс³, В.Г. Комаревич¹

¹Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь; dubkova@igic.bas-net.by

²ОХП НИИ импульсных процессов с опытным производством, Минск, Беларусь

³Белорусский национальный технический университет Минск, Беларусь

В последние десятилетия достигнуты большие успехи в усовершенствовании процессов и оборудования для создания и формирования высоконаполненных полимерных композиций. С развитием технологии наполнения и переработки наполненных полимеров увеличивается и эффективность использования наполнителей. К числу наиболее перспективных относится гидратированный оксид алюминия. Известно его использование в полимерных композициях для придания огнестойкости. В настоящее время значительно ужесточились требования к трудногорючим материалам в отношении количества и токсичности выделяемых дымовых газов, скорости распространения пламени. В соответствии с директивой 2002/95/СЕ европейского Парламента и Совета об ограничении использования определённых опасных веществ в электрических и электронных приборах запрещено использование галогеносодержащих веществ. Поэтому разработка трудногорючих полимерных материалов, не содержащих замедляющих горение компонентов на галогенной основе, является весьма актуальной задачей для Республики Беларусь, важной в научном и практическом плане. В этом отношении высокодисперсный моногидроксид алюминия (бемит), разработанный в ИПМ НАН Беларуси, представляет большой интерес с точки зрения возможности его использования в качестве огнестойкого (безгалогенного) наполнителя полимерных композиционных материалов как на основе терморезактивной, так и термопластичной матриц.

Цель

Исследование структуры и свойств высоконаполненных композиционных материалов на основе термопластичных полимеров и моногидроксида алюминия.

В качестве полимерной матрицы использовали алифатический полиамид на основе гексаметилендиамина и адипиновой кислоты (ПА-66), полиэтилентерефталат, поливинилбутираль, поливинилхлорид, полиметилметакрилат, сверхвысокомолекулярный полиэтилен (производства РФ, Японии (HI-ZEX MILLION), Германии (концерн Хёхст, Хостален GUP 4120). Нанокристаллический моно-

гидроксид алюминия (бемит), получаемый методом гидротермального синтеза, обладает удельной поверхностью до 400 м²/г, степенью дисперсности < 100 нм. Полимерные композиты получали по новому способу, разработанному в ИОНХ НАН Беларуси. Методы исследования: электронная микроскопия, электрофизический, акустический, рентгенофазовый и термомеханический методы анализов.

Изучены процесс формирования, структура, физико-механические, термические и электрические свойства термопластичных полимерных композиционных материалов с содержанием высокодисперсного бемита до 80 мас.%. Установлено влияние бемита на надмолекулярную структуру полимеров при кристаллизации из расплава в условиях прилагаемой нагрузки. Показано повышение твердости высоконаполненных композитов в 1,2—4,0 раза, динамического модуля упругости в 1,4—4,7 раз, увеличение удельного объёмного электрического сопротивления на порядок и более. Для композитов с содержанием бемита ≥ 50 мас.% наблюдается снижение деформации при нагревании и повышение термостойчивости полимерной матрицы на 30—50 °С.

Выявлено повышение устойчивости термопластичных композиционных материалов, наполненных бемитом, к воспламенению. Испытания по ГОСТ 28157-89 (Пластмассы. Методы определения стойкости к горению) показывают, что введение моногидроксида алюминия в полимер подавляет дымообразование и каплепадение всех исследуемых композитов при горении. Композиционные материалы на основе поливинилбутираля, поливинилхлорида и сверхвысокомолекулярного полиэтилена, включающие 80 мас.% бемита, помещённые в пламя горелки, сохраняют свою форму в течение 30—60 минут, не поддерживая горения и не выделяя дыма. При этом следует подчеркнуть, что сама возможность получения термопластов с высокими степенями наполнения, обеспечивающая значительное уменьшение объёмной доли горючих компонентов, уже является положительным фактором с точки зрения понижения горючести полимерных композиций и повышения их экологической безопасности.

**БИТУМНО-ПОЛИМЕРНАЯ КОМПОЗИЦИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ
СВЕТОПОГЛОЩАЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА**

В.П. Дубодел, В.М. Шаповалов, И.И. Злотников

Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь;
v.shapovalov@tut.by

Среди возобновляемых источников энергии солнечная энергия по масштабам ресурсов, экологической чистоте и повсеместной распространенности является наиболее перспективной. Главным компонентом любой гелиоустановки является солнечный коллектор, преобразующий энергию излучения в тепло, основной частью которого является тепловоспринимающая пластина (адсорбер) в которой циркулирует теплоноситель. Пластины адсорбера окрашивают в черный цвет для увеличения поглощения солнечных лучей. Черное покрытие кроме высокой поглощающей способности к солнечному излучению должно обладать высокой адгезией, стойкостью к воздействию солнечного света, повышенной влажности, переменных температур и обеспечивать защиту металлической поверхности адсорбера от коррозии и атмосферного воздействия. Согласно источнику [1] поверхность адсорбера обычно окрашивают черными красками различных марок иногда с добавлением сажи. Такие покрытия часто обладают недостаточной светопоглощающей способностью и неудовлетворительными защитными свойствами.

В связи с вышеизложенным, целью настоящего исследования является разработка состава для получения светопоглощающего покрытия солнечного коллектора с высокими поглощающими и физико-механическими свойствами.

Основу разрабатываемой композиции составлял нефтяной битум, модифицированный бутилкаучуком. Используемый в композиции бутилкаучук обладает высокой тепло- и светостойкостью и, будучи введенным в композицию повышает ее пластичность и адгезию к металлической основе. В качестве модификаторов, регулирующих оптические и физико-механические свойства покрытий, использовали газовую сажу, оксид меди (Cu_2O) и диоксид кремния, которые вводили в основу в количестве от 2 до 8 мас.%. Композицию готовили следующим образом: битум растворяли в растворителе (солювент) с предварительным подогревом битума до 80—110 °С. После растворения битума в композицию добавляли модификаторы, предварительно диспергированные в сольвенте. При этом в дисперсию (органозоль) кремнезема добавляли гидрофобизатор (полигидросилоксан) для исключения агрегатирования наночастиц кремнезема при введении в раствор битума. Готовую композицию наносили кистью на медные подложки и сушили в течение 24 часов. Для

сравнения изготавливали образцы, покрытые битумным лаком марки БТ-142, широко применяемого для окраски солнечных коллекторов. Для данного исследования были приготовлены конкретные композиции, включающие битумно-полимерную основу, в которую вводили 4 мас.% сажи (композиция № 1), 6 мас.% оксида меди (№ 2) или 3 мас.% диоксида кремния (№ 3).

Сравнительные свойства полученных светопоглощающих покрытий приведены в таблице.

Таблица. Свойства покрытий

Свойства	№ 1	№ 2	№ 3	БТ-142
Коэффициент поглощения солнечного света, %	93	95	92	80
Адгезионная прочность, МПа	0,55	0,52	0,60	0,40

Из представленных в таблице данных следует, что введение каждого из указанных модификаторов позволяет увеличить как светопоглощение, так и адгезионные свойства покрытия. При этом механизм действия модификаторов различный. Сажа, введенная в композицию, полностью устраняет гляцевый блеск покрытия, что увеличивает коэффициент поглощения света, а также повышает его механическую прочность и светостойкость.

Высокодисперсные частицы оксида меди, способствуют увеличению коэффициента поглощения солнечного света и снижают излучательную способность окрашенной поверхности, что повышает КПД преобразования солнечного излучения в тепло. Как показали проведенные исследования, оксид меди, в отличие от сажи и черных органических пигментов, обладает высокой поглощающей способностью не только в диапазоне видимого света, но также и в близкой ультрафиолетовой и инфракрасной области спектра солнечного света. Это, скорее всего, связано с особыми полупроводниковыми свойствами кристаллического оксида меди (очень малая ширина запрещенной зоны). При введении в композицию наноразмерного гидрофобизированного кремнезема, его частицы вытесняются в приповерхностные слои, создавая матирующий эффект. Кроме того, несмотря на его хорошую прозрачность в оптическом диапазоне он достаточно сильно поглощает инфракрасные лучи, снижая излучательность поверхности.

1. Харченко Н. В. Индивидуальные солнечные установки. — М.: Энергоатомиздат. — 1991

ВЛИЯНИЕ КРАТНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ИЗ РАСПЛАВА НА СВОЙСТВА ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА, АРМИРОВАННОГО КОРОТКИМИ СТЕКЛЯННЫМИ ВОЛОКНАМИ

В.В. Дубровский

Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь;
otdel5mpri@tut.by

Полиэтилентерефталат (ПЭТ) является одним из наиболее перспективных полимеров для создания на его базе широкого ассортимента композиционных материалов технического назначения. К числу последних относятся стеклоармированные композиты.

Как известно, переработка ПЭТ сопровождается изменением его молекулярных и структурных параметров, сказывающихся на показателях физико-механических свойств. Причины и степень этих изменений для исходного ПЭТ неоднократно обсуждались в литературе [1, 2]. Применительно к композитам ПЭТ/СВ подобная информация крайне ограничена [1] и поэтому проведение соответствующих исследований весьма актуально.

В докладе приводятся данные об изменениях свойств ПЭТ, армированного 30% стекловолокна (СВ) в зависимости от кратности его переработки на линии экструзионного гранулирования на базе двухшнекового экструдера.

На каждой стадии переработки производили отбор и анализ проб материала. Определяли показатели механических свойств (прочность при разрыве, ударная вязкость), молекулярную массу матричного ПЭТ, среднюю длину армирующих стекловолокон, значения температур стеклования, холодной кристаллизации, плавления и кристаллизации из расплава, реологические параметры (показатель текучести и вязкость расплава).

Молекулярную массу определяли по значениям характеристической вязкости раствора ПЭТ в дихлоруксусной кислоте, из которого предварительно удаляли стекловолокно с помощью центрифугирования. Истинную концентрацию раствора уточняли путем сопоставления массы сухого остатка раствора после выпаривания растворителя и массы стекловолокна, удаленного из раствора.

Измерения средней длины армирующих стеклянных волокон производили на пробах, полученных на стадии приготовления раствора для определения характеристической вязкости. Для этого осуществляли фотосъемку пробы волокна, распределенной по поверхности предметного стекла, и при помощи специального программного обеспечения измеряли длины отдельных волокон, всего около 1500 измерений с каждой пробы.

Установлено, что характеристическая вязкость раствора ПЭТ при повышении кратности повторной переработки уменьшается (рис. 1).

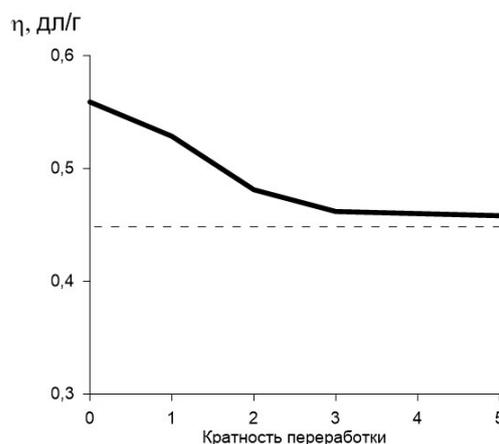


Рис. 1. Изменение характеристической вязкости $[\eta]$ ПЭТ в зависимости от кратности

Показано также, что после двукратной переработки средняя длина волокон мало изменяется и приближается к значению $\sim 0,2$ мм (рис. 2).

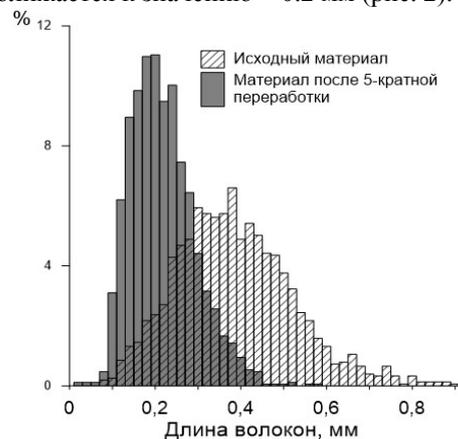


Рис. 2. Распределение волокон по длине

Аналогичная закономерность прослеживается в характере изменения показателей других свойств материала: наиболее значительное изменение свойств происходит после двукратной переработки.

1. Karger-Kocsis J. Recycling Options for post-consumer PET and PET-containing wastes by melt blending // In Handbook of Thermoplastic Polyesters. Ed. S. Fakirov. Wiley-VCH Weinheim. — 2002. (2). — Ch. 28. 1291—1318
2. Кудян С.Г., Филимонов О.В., Песецкий С.С. Молекулярно-структурные превращения полиэтилентерефталата при его переработке из расплава // Материалы, технологии, инструменты. — 2007 (12), № 3, 27—32

ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ЕМКОСТНОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.И. Зубко, Д.В. Зубко

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь; Zubko@bsu.by

Разработаны оперативные методы для контроля и диагностики электрических свойств пластинчатых композиций на основе вторичных полимерных материалов. В их основе лежит создание высокочувствительного емкостного преобразователя (датчика) и разработка методики для измерения относительной диэлектрической проницаемости, удельной электрической проводимости и тангенса угла диэлектрических потерь пластинчатых композиций на основе вторичных полимерных материалов в диапазоне частот электрического поля 50 Гц — 1 МГц.

Высокочувствительный емкостной преобразователь (датчик) для измерения электрических показателей пластинчатых композиций на основе вторичных полимерных материалов представлен рис. 1.

Емкостной преобразователь по сравнению с существующими аналогами обладает следующими преимуществами:

1. Емкостной преобразователь позволяет получать информацию об величинах комплекса электрических показателей пластинчатых композиций в диапазоне частот электрического поля 50 Гц — 1 МГц;

2. Конструкция емкостного преобразователя позволяет определять толщину пластины композиций с помощью микрометрического устройства от 1 до 6 мм непосредственно в измерительном пространстве с точностью 0,005 мм;

3. Емкостной преобразователь обеспечивает однородное электрическое поле в объеме контролируемых образцов пластинчатых композиций в диа-

пазоне частот электрического поля 50 Гц — 1 МГц;

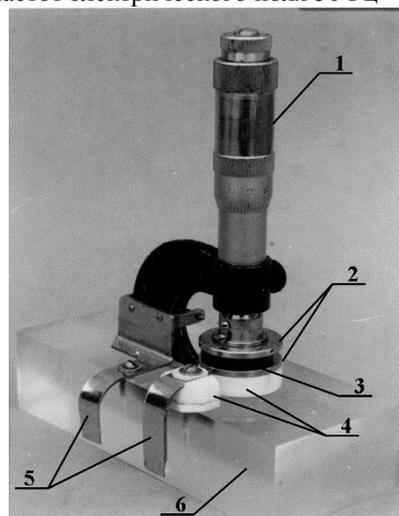


Рис. 1. Конструкция высокочувствительного емкостного преобразователя для оперативного контроля и диагностики электрических показателей полимерных композиций в диапазоне частот электрического тока 50 Гц — 1 МГц: 1 — микрометрическое устройство; 2 — дисковые электроды; 3 — измерительное пространство; 4 — фторопластовые прокладки; 5 — съемные контакты; 6 — основание из оргстекла

1. Патент на изобретение № 11018 от 22.05.2008 г. (Республика Беларусь) / Зубко Д.В., Зубко В.И. // Электропроводящая полимерная композиция
2. Патент на полезную модель № 9001 от 28.02.2013г. Республика Беларусь / В.И. Зубко, Д.В. Зубко // Устройство для контроля электрических свойств полимерных композиций

ПОДШИПНИКИ СКОЛЬЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С МНОГОСЛОЙНОЙ СТРУКТУРОЙ ПОВЕРХНОСТИ СКОЛЬЖЕНИЯ

П.Г. Иваночкин, Н.А. Мясникова, А.В. Смелов

Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону, Россия;
ivanochkin_p_g@mail.ru

Целью работы являлась отработка принципов создания слоистого композиционного покрытия для подшипников скольжения тяжело нагруженных узлов трения, в которых основную нагрузку берет на себя металл подложки, а высокие антифрикционные характеристики обеспечиваются антифрикционным наномодифицированным композиционным покрытием на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) [1].

Нижний слой — силовой каркас, представляет собой нанесенный на поверхность металлического образца методом электроискрового легирования (ЭИЛ) слой металла (ВК-6, Ст 65Г) толщиной 100—200 мкм. В результате обработки ЭИЛ поверхность приобретает большую шероховатость, увеличивая площадь активного взаимодействия с полимером.

ПТФЭ известен своими характеристиками, среди которых главная для трибологического применения — низкий коэффициент трения. Однако он отличается малой величиной поверхностной энергии, что затрудняет получение прочной адгезионной связи между антифрикционным слоем покрытия и подложкой. Одним из путей решения данной проблемы является введение в ПТФЭ наноразмерных модификаторов. Что так же позволяет на порядок уменьшить удельный износ композита, при этом незначительно ухудшив его антифрикционные свойства [2].

Эффект модификации полимера заключается в сильном адсорбционном взаимодействии макромолекул полимера с весьма развитой поверхностью наполнителя и переход полимера в особое состояние «межфазного слоя» с пониженной молекулярной подвижностью. Это обеспечивает изменение процесса кристаллизации в композите и улучшает его физико-механические, прочностные и износные характеристики.

Анализ морфологии поверхности покрытия до и после трения на установке исследования текстуры поверхности NewView600SWLI показал, что нанодобавки формируют при трибосопряжении поверхностные кластерные структуры (дискретные нанослои), которые предохраняют поверхность покрытия от разрушения. Изучение поверхности образцов исходного и наполненного полимера подтвердило, что введение нанодобавок приводит к появлению надмолекулярных структурных образований. Изменение структуры упаковки молекулы полимера особенно четко наблюдаются при концентрациях шпинелей 3—5%, что достаточно для значительного

улучшения прочностных и износных характеристик полимерного покрытия.

С целью оценки трибологических характеристик полученных материалов были проведены предварительные трибологические испытания на модернизированной машине трения СМТ-1 по схеме «вал — частичный вкладыш».

Методом рентгеноэлектронной спектроскопии был исследован элементный состав пяти наноструктурированных антифрикционных покрытий (АП) на основе фторопластов с различными добавками.

Все исследованные поверхности содержат интенсивные линии связи между углеродом и фтором. В образцах после трения эти линии сохраняются, однако спектры становятся менее интенсивными, что свидетельствует об уменьшении толщины покрытия после трения и об ухудшении однородности химических связей. Установлена связь между металлом подложки и фтором покрытия которая зависит от технологии нанесения покрытия и концентрации нанодобавок. Она максимальна для образцов АП-3, АП-4 + НП1 (3%), незначительна для АП-2, АП-5 + НП3 (5%), и совсем не регистрируется для образцов АП-1.

Способность фрикционной пленки удерживаться на поверхности трения длительное время во многом определяет работоспособность узла. С этой целью проведены трибологические испытания покрытий на торцевой машине трения. Наличие и стабильность смазочной пленки контролировали на ИК Фурье спектрофотометре Nicolet 380 с приставкой НПВО по интенсивности поглощения линий ИК-спектра поверхности трибосопряжения: валентных колебаний О-Н ($3000—2800\text{ см}^{-1}$); валентных колебаний С=О ($1600—1440\text{ см}^{-1}$).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 12-08-00972).

1. Колесников В.И., Мигаль Ю.Ф., Сычев А.П., Иваночкин П.Г., Мясникова Н.А. Технологии создания самосмазывающихся материалов и подшипников // Научное издание: Наука и инновации южного макрорегиона: Сб. научных статей. — Ростов-на-Дону: изд-во ЮНЦ РАН. — 2011, 106—119
2. Колесников И.В., Белый А.В., Мясникова Н.А., Мясников Ф.В., Кравченко Ю.В., Новиков Е.С. Многослойное антифрикционное наноструктурированное покрытие для лубрикации в тяжело нагруженных узлах трения // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. — 2012, № 2, 34—41

ИНЖЕКЦИОННОЕ ФОРМОВАНИЕ КЕРАМИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ПОЛИМЕРА

А.Ф. Ильющенко, С.Г. Барай, С.Б. Виолентий

Институт порошковой металлургии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Технология инъекционного формования порошковых материалов основана на использовании литья под высоким давлением термопластичных масс из высокодисперсных металлических или керамических порошков и полимерного связующего вещества, термического, сольвентного или каталитического удаления связующего в специальной печи для дебайдинга и окончательном высокотемпературном спекании их в атмосфере или в вакууме [1].

В ГНУ ИПМ проведены исследования по инъекционному формованию керамики на базе ультрадисперсных и нанометрических порошков оксидов алюминия и диоксида циркония. Основу литьевых составов составляли термопластичные массы (фидстоки) с использованием в качестве связующего вещества полиацетала — полупрозрачного термопластичного полимера с хорошими технологическими характеристиками: высокой стабильностью размеров, высокой прочностью и хорошей теплостойкостью. Превосходные общие характеристики полиацетала, используемого немецкой компанией BASF в фидстоках Catamold [2,3], делают его предпочтительным материалом для использования в производствах изделий сложной формы, требующих высокой точности геометрических размеров.

Исследования проводились на установке инъекционного формования шнекового типа Allrounder 170U 150-70 компании Arburg, каталитическое удаление связующего вещества — в специализированной печи TFE-60-20/e фирмы Cremer, высокотемпературное спекание на воздухе в печи N 32/16 фирмы Nabertherm.

Решающим преимуществом полимера полиацеталь является возможность его быстрого каталитического удаления. В присутствии катализатора высококонцентрированной ($\geq 98,5\%$) азотной кислоты, полиацеталь может быть деполимеризован при температуре 110 °С с переходом из твердого состояния в газообразное, что позволяет удалить связующее путем управляемого, постепенного выделения газа

из отлитого изделия. Смесь газообразного катализатора, продуктов деполимеризации полиацетала (формальдегида) и транспортирующего газа азота дожигается в специальной камере природным газом при температуре 800—950 °С. Таким образом, обеспечивается полная утилизация отходов, что соответствует всем нормам по охране окружающей среды.

Изучены особенности химического процесса разложения и удаления связующего вещества, а также нормы расхода катализатора (30—33 мл/ч), транспортирующего газа (2,5 м³/ч) и газа пропана для дожига отработанных технологических газов (0,75 м³/ч).

Проведенные исследования на литьевых составах Catamold AO-F и Catamold TZP-F315 показали, что качество инъекционного литья керамики с использованием термопластичного связующего полимера полиацеталь определяется, в первую очередь, следующими параметрами: температурой процесса и литьевой формы, давлением впрыска, удержания и противодействия, скоростью впрыска, временем удержания давления и скоростью охлаждения. Разработана программа, регламентирующая эффективное литье отмеченных фидстоков на установке Allrounder 170U 150-70. Исследованы режимы каталитического удаления полиацетала из отлитых заготовок различных типоразмеров, а также последующего их высокотемпературного спекания на воздухе, что позволило получить качественные образцы изделий сложной формы.

1. Powder Injection Moulding — a manufacturing process for precision engineering component- EPMA — 2004, 33
2. Грабой И.Э., Том А. Материалы Catamold компании BASF для литья порошков под давлением // Науч.-практ. семинар ТПП-ПМ2005 (Йошкар-Ола, 21—24 июня 2005 г.). — 2005, 4
3. Catamold AO-F: Data Sheet. Проспект концерна BASF (Германия). — 2 с.
4. Catamold TZP: Data Sheet. Проспект концерна BASF (Германия). — 2 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФРИКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ВОЛОКОН

А.Ф. Ильющенко, А.А. Дмитриевич, Д.И. Сарока,
Е.В. Голод, А.Н. Роговой, П.Н. Криволапов

Институт порошковой металлургии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Цель данного исследования: подбор компонентов наполнителей и выбор технологических режимов для получения фрикционного материала с заданными характеристиками (статический коэффициент трения не менее 0,14; динамический коэффициент трения не менее 0,12; коэффициент стабильности момента сил трения ($M_{\text{ср.}}/M_{\text{макс.}}$) не менее 0,8; допускаемое удельное давление до 35 кг/см²; скорость скольжения до 40 м/с.)

Для исследования триботехнических свойств материалов на стенде для испытаний фрикционных материалов ИМ-58 (табл. 1), были изготовлены экспериментальные образцы композиционных фрикционных материалов на основе целлюлозных волокон с различным составом компонентов и при различной технологии изготовления.

Таблица 1. Условия проведения испытаний на стенде ИМ-58

Момент инерции Н·м·с	Удельная нагрузка, МПа	Начальная скорость скольжения, м/с	Материал контртела
0,6839	2,48	9,0	Сталь 45, твердость 38—40 HRC

На рис. 1 представлены результаты испытаний экспериментальных образцов композиционных фрикционных материалов, изготовленных по различной технологии, на инерционном стенде ИМ-58.

В результате проведенных исследований установлено, вид используемого целлюлозного волокна и его пространственная ориентация оказывают существенное влияние на физико-механические характеристики фрикционного материала. Существенное влияние на триботехнические характеристики фрикционных материалов на основе целлюлозных волокон оказывает последовательность введения компонентов наполнителей. Установлено, что замена процесса водной фильтрации используемой в традиционном способе изготовления бумаги, на не-

посредственного отжим существенно улучшает триботехнические характеристики.

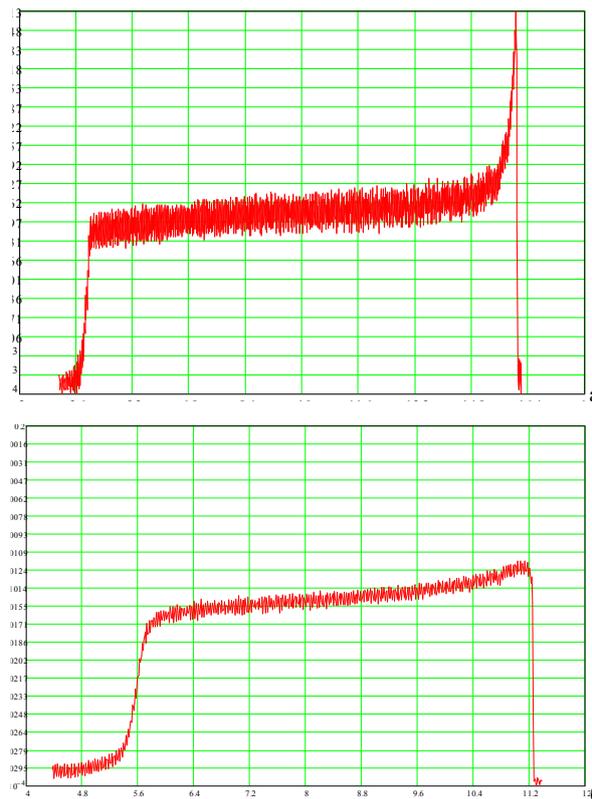


Рис. 1. Изменение коэффициента трения в процесс торможения: а — образец 1; б — образец 2

Работа выполнена при финансовой поддержке ГПНИ «Функциональные и композиционные материалы, наноматериалы», подпрограмма «Композиционные материалы», зад. 6.2.13.

МОТОРНОЕ МАСЛО С МИНЕРАЛЬНОЙ ПРИСАДКОЙ ДЛЯ ПРИРАБОТКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ (ДВС)

Е.В. Карпинчик¹, В.Е. Агабеков², М.М. Мовсумзаде², В.С. Комаров¹

¹Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь; mixa@ichnm.basnet.by

²Институт химии присадок им. А.М. Кулиева АН Азербайджана, Баку, Азербайджан; aki05@mail.ru

Масла, применяемые на моторостроительных и ремонтных заводах для стендовой обкатки ДВС, не позволяют достичь полной приработки деталей цилиндрово-поршневой группы и поверхностей вкладышей подшипников скольжения за предусмотренное регламентом для этого процесса время. Это не позволяет использовать механизмы с новыми или капитально отремонтированными двигателями с полной нагрузкой в первоначальный период их эксплуатации.

Эффективным средством ускоренной приработки трибологических систем являются мелкодисперсные порошки, вводимые в смазочные материалы [1]. Их ассортимент для использования в моторных маслах в качестве присадок для интенсификации процесса обкатки весьма ограничен из-за жесткости предъявляемых требований, основными из которых, помимо высокой эффективности, являются:

- стабильность свойств при высоких температурах и механических нагрузках;
- отсутствие отрицательного влияния на смазочные свойства масла и его вязкостные показатели;
- способность образовывать с маслом седиментационно устойчивую систему;
- не обладать коррозионной активностью;
- быть доступными и дешевыми.

С учетом изложенных требований наше внимание привлек природный каолин. Известно [2], что пространственная структура минерала каолинита имеет особенность, которая состоит в том, что она образована послойным чередованием тетраэдрической кремнекислородной и октаэдрической алюмокислородной сеток, скрепленных водородными связями расположенных в межслоевом пространстве ОН-групп. Такое строение обеспечивает подвижность этих слоев относительно друг друга в довольно широких пределах без разрушения архитектуры минерала и соответствующее место в минералогической шкале твердости (шкале Мооса) наравне с тальком и графитом. Однако, использовать каолин в качестве компонента моторного масла в натуральном виде не удается по следующим причинам:

- кристаллическое строение придает ему абразивные свойства, вызывающие ускоренный износ сопрягающихся поверхностей;
- структурно связанная вода способна отщеп-

ляться в процессе работы двигателя, что приводит к образованию коррозионно активной эмульсии;

– грубодисперсность, отсутствие однородности в размерах кристаллов, высокая гидрофильность их поверхности не позволяют получить устойчивую его композицию с моторным маслом.

Для установления условий, при которых возможно использовать каолин в качестве присадки в обкаточном масле, были исследованы его физико-химические свойства методами ИК-спектроскопии, рентгеноструктурного анализа и ДТА. С их помощью были найдены условия, позволяющее устранить всю совокупность вышеназванных препятствий. Их сущность состоит в полной дегидратации каолинита путем термического модифицирования. Удаление адсорбированной и химически связанной воды приводит к полному разрушению кристаллической структуры этого минерала с образованием смеси высокодисперсных (3—5 мкм) аморфных оксидов кремния и алюминия. При этом на порядок увеличивается удельная поверхность продукта термообработки (до 120 м²/г) по сравнению с исходным материалом, увеличивается его насыпной вес и маслосъемкость. В таком виде каолин хорошо совмещается с моторным маслом и дает седиментационно устойчивую суспензию.

Приработочное масло для обкатки ДВС было приготовлено путем введения присадки из термомодифицированного каолина в количестве 0,5% в предназначенное для эксплуатации ДВС моторное масло. Испытания показали возможность снизить в 2—3 раза время стендовой обкатки двигателей, обеспечивая при этом 90—100%-ную приработку его деталей. Это означает, что механизмы, на которые устанавливаются моторы, прошедшие обкатку на масле с присадкой из термомодифицированного каолина, могут использоваться на полную мощность без ограничений по нагрузкам с начального момента их эксплуатации.

1. Редькин В.Е. Ультрадисперсные (нано-) порошки в материалах и технологиях массовых производств // *Материалы первой междунар. науч. конф. «Наноструктурные материалы-2008: Беларусь–Россия–Украина».* — 2008, 193
2. Корнилович Б.Ю. Структура и поверхностные свойства механохимически активированных силикатов и карбонатов. — Киев: Наукова думка. — 1994

МОДИФИКАЦИЯ РЕЗИН В СРЕДЕ ПОЛИМЕТИЛСИЛОКСАНОВ

А.В. Касперович¹, В.В. Мяделец¹

¹Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь; myadelezvv@gmail.com

Цель

При производстве резинотехнических изделий (РТИ) образуется большое количество отходов в виде облоя, выпрессовок и пр. Использование этих отходов в дисперсном состоянии в рецептуре аналогичных эластомерных композиций позволяет получить вулканизаты, не уступающие по прочностным свойствам исходным резинам [1].

Известно [2], что при увеличении дозировки измельченного вулканизата (ИВ) технические свойства эластомерной композиции ухудшаются. Ведется постоянный поиск способов, позволяющих увеличить дозировку измельченного вулканизата в эластомерных композициях при сохранении требуемого уровня технологических и эксплуатационных свойств. Для достижения этой цели применяют модификацию ИВ различными методами.

Цель данной работы — исследовать возможность осуществления поверхностной модификации измельченного вулканизата в среде полисилоксанов Perkasil и силана, а также оценить возможность применения модифицированного данным способом ИВ в качестве эластичного наполнителя резин для уплотнительных РТИ.

Объекты исследования

Объекты исследования — резиновая смесь на основе БНКС-18 А и измельченный вулканизат на основе этой эластомерной композиции. ИВ был получен на дробильных вальцах и предварительно перед смешением прошел механохимическую активацию путем измельчения в планетарной мельнице «Pulverisette 6» фирмы «FRITCH» совместно с полиметилсилоксанами Perkasil и силаном в двух комбинациях: ИВ + Perkasil; ИВ + Perkasil + силан.

Perkasil относится к классу осажденных аморфных силикатов. Данный ингредиент способствует возрастанию износостойкости изделий и прочности на растяжение [3].

Силан в данном случае выполняет функции агента сочетания. Реакция между бифункциональными органосиланами и частицей кремнекислоты или силиката приводит к образованию ковалентно связанной структуры между частицей наполнителя и эластомерной матрицей [4].

Эластомерные композиции на основе БНКС-18 А находят широкое применение в производстве уплотнительных изделий, эксплуатирующихся в агрессивных средах и при воздействии статических

нагрузок. Поэтому важными эксплуатационными характеристиками данных вулканизатов являются относительная остаточная деформация сжатия (ООДС) после термического старения в воздухе, а также стойкость к действию агрессивных сред.

Результаты исследований

ООДС после термического старения в воздухе в течение 24 ч при температуре 100 °С для исследуемых резин увеличивается в сравнении с исходной. Так, при дозировке ИВ, модифицированного Perkasil и силаном, равной 10 мас. ч. ООДС исследуемых вулканизатов на 28,5% выше, чем у исходной резины, а при 50 мас. ч. — только на 4,4%. При введении в эластомерные композиции немодифицированного ИВ, а также ИВ модифицированного только Perkasil наблюдается увеличение ООДС в сравнении с исходной резиной на 15,6—45,2% и 17,5—44,4% соответственно.

Стойкость к действию агрессивных сред оценивали по изменению массы образцов в результате действия растворителя ASTM № 3. Определено, что для композиций, наполненных немодифицированным измельченным вулканизатом, изменение массы после выдерживания в растворителе ASTM № 3 на 16—37% ниже, чем у резины без добавки ИВ, а у образцов, содержащих измельченный вулканизат, модифицированный Perkasil и силаном, при дозировке 10 мас. ч. снижение данного показателя достигает 88,8%.

Заключение

Таким образом, поверхностная модификация измельченного вулканизата на основе БНКС-18 А в среде полиметилсилоксанов улучшает его совместимость с эластомерной матрицей, что подтверждается результатами исследований, и, тем самым, позволяет сделать вывод о возможности применения Perkasil и силана в качестве модифицирующих агентов.

1. Ушмарин Н. Ф. и др. Использование отходов каучуков в производстве вспомогательных формовых РТИ // Каучук и резина. — 2008, № 4, 40—41
2. Мигаль, С. С., Щербина Е. И. Вторичное использование резины. — Минск: Изд-во БГТУ. — 2001
3. Пичугин, А. М. Материаловедческие аспекты создания шинных резин: научное издание. — М.: — 2008
4. Технология резины: рецептуростроение и испытания / под ред. Дика Дж. С; пер. с англ. под ред. Шершенева В. А. — СПб.: Научные основы и технологии. — 2010

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ К ИСТИРАНИЮ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ КОМПАУНДОВ

С.А. Кижаев, Н.М. Евдокименко, В.А. Студинский

Украинский государственный химико-технологический университет, Днепропетровск, Украина;
st_vadik@bigmir.net

Получение на основе полиуретанов (ПУ) материалов с широкой гаммой свойств (от эластичных до жестких) обусловлено применением при синтезе химических соединений различной структуры и их способностью к варьированию свойств, при изменении соотношения исходных компонентов [1].

ПУ заливочные компаунды достаточно востребованы, поэтому весьма важной в практическом смысле является задача оптимизации их состава по комплексу эксплуатационных свойств.

Ранее [2] была установлена взаимосвязь триботехнических характеристик со структурными показателями ПУ и определены зависимости интенсивности изнашивания от строения.

Цель

Изучение связи стойкости к истиранию ПУ заливочных компаундов с их строением в условиях абразивного воздействия.

Интерес к данной проблеме обоснован тем, что в реальных условиях эти материалы часто эксплуатируются в условиях высокой запыленности или наличия в зоне трения частиц абразива.

Материалы и методы

Для исследований были синтезированы материалы на основе: лапролов с молекулярной массой 500, 3000 и 5000, а также диэтиленгликоля (ДЭГ). Изученные компоненты содержат постоянную концентрацию минерального наполнителя (30 мас.%). Образец получали свободной заливкой в формы с последующим отверждением. Варьировали содержание лапролов и удлинителя цепи ДЭГ.

Объемный износ изучали при трении образца о шлифовальную шкурку на установке УИЛ-1 при следующих режимах: скорость движения (V , м/мин) столика — 0,2. Скорость шлифовальной шкурки изменяли в интервале 1,0—2,0; нагрузка на образец (P , Н) 10,00—17,50.

Анализ и обработку результатов эксперимента проводили с привлечением методов математической статистики, что позволило оптимизировать составы исследуемых композиций.

Результаты и их обсуждение

Стойкость к истиранию (рис. 1), независимо от состава, повышается с ростом степени сшивания и уменьшением молекулярной массы межузлового фрагмента. Для компаундов на основе лапрола 5000 и диэтиленгликоля обнаружена определенная область оптимума состава, в которой износ минимален. Некоторое смещение этой области наблюдается с из-

менением скорости движения абразива.

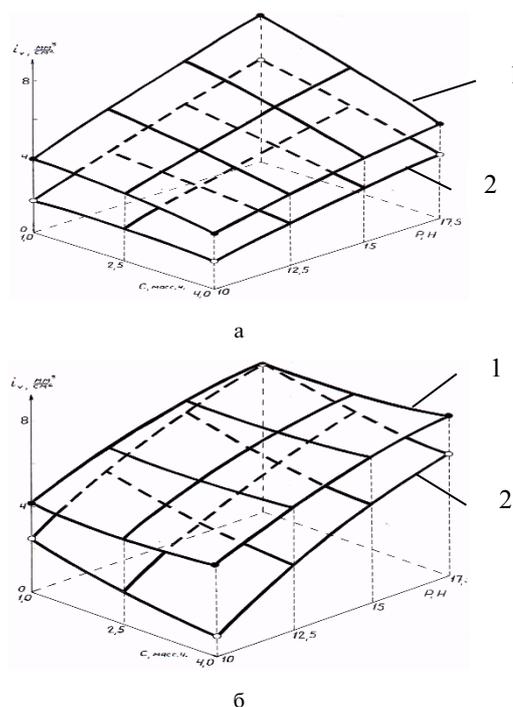


Рис. 1. Зависимость объёмного истирания (i_v , мм³/см²) от концентрации диола ДЭГ (а); лапрол 500 (б) при нагрузке (P , Н) и скорости движения ленты абразива (V , м/мин): 1 — $V = 1,0$; 2 — $V = 2,0$

Изучение топографии поверхностей износа позволило выявить особенности их рельефа в зависимости от прочности и эластичности исследуемых образцов при изменении концентрации удлинителя цепи.

Общий вид зависимостей износостойкости аналогичен для всех видов материалов независимо от их химического строения, что свидетельствует об идентичности процессов изнашивания.

Полученные результаты позволили определить степень влияния концентрации компонентов в системе, нагрузки и скорости движения абразива на износостойкость ПУ компаундов. Это в свою очередь позволяет осуществлять целенаправленную разработку ПУ материалов для работы в различных условиях абразивного изнашивания.

1. Липатов Ю.С., Керча Ю.Ю., Сергеева Л.М. Структура и свойства полиуретанов. — Киев: Наук. думка. — 1970
2. Кураченко В.Н., Кижаев С.А., Летуновский М.П. и др. Об износостойкости полиуретанов при абразивном воздействии // Трение и износ. — 1990 (11), № 2, 347

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ КОМПАУНДОВ К ДЕЙСТВИЮ ЖИДКИХ АГРЕССИВНЫХ СРЕД

С.А. Кижаяев, Н.М. Евдокименко, В.А. Студинский

Украинский государственный химико-технологический университет, Днепропетровск, Украина;
st_vadik@bigmir.net

Многочисленные исследования указывают на важную роль фазовой структуры в обеспечении уровня свойств полимерного материала.

Строение цепи полиуретанов (ПУ) и их свойства можно направленно регулировать путем изменения соотношения исходных компонентов, их природы, типа и условий синтеза [1]. Это касается и ПУ заливочных компаундов, которые получают все более широкое распространение.

Среди недостатков ПУ, чаще всего отмечают их склонность к гидролизу. В процессе эксплуатации они могут подвергаться воздействию различных сред и атмосферных факторов, поэтому понимание закономерностей сорбции жидких сред этими материалами имеет практическое применение.

Цель исследования. Изучение взаимосвязи структуры ПУ заливочных компаундов с их стойкостью к воздействию жидких агрессивных сред.

Материалы и методы. Для исследований использованы образцы двух рядов материалов: на основе лапролов молекулярной массой 3000 и 500 и — лапрола молекулярной массой 5000 с диэтиленгликолем (ДЭГ), при постоянной концентрации в них минеральных наполнителей (до 30 мас.%).

Компаунды получали заливкой в формы с последующим отверждением. Переменной в рядах служило содержание удлинителя цепи (лапрол 500 или ДЭГ), варьирование которых осуществляли в пределах от 0,5 до 4 частей на одну массовую часть лапролов 3000 и 5000 соответственно.

Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 12020-72. Стойкость ПУ к воздействию сред оценивали по результатам гравиметрических измерений, изменению линейных размеров, внешнего вида образцов. Качественная оценка проводилась по четырехбальной шкале. Продолжительность испытания определяли временем установления сорбционного равновесия или нестойкости полимеров в данной среде (явное растворение или деструкция).

В качестве физически активных сред использовали дистиллированную воду, ацетон и керосин при комнатной температуре.

Анализ и обработку результатов эксперимента проводили с привлечением методов математической статистики, что позволило оптимизировать составы исследуемых композиций.

Результаты и их обсуждение. Полученные данные позволили оценить количественно сорбцию среды в полимере и определить наиболее оптимальные по стойкости составы.

Как известно, в физически активных средах

изменение массы в основном связано только с диффузией и сорбцией среды в полимер и не сопровождается химическими реакциями.

При экспозиции в воде установлено, что соотношение исходных компонентов в композициях оказывает существенное влияние на стойкость ПУ.

Так масса реагента, поглощенная полимером, уменьшается последовательно от образца 1 (соотношение компонентов 1:0,5) до 5 (1:3), а затем увеличивается в образцах 6 (1:3,5) и 7 (1:4).

В первом исследуемом ряду существует оптимальное соотношение лапрола 5000 и ДЭГ равное 1:3, во втором 1:2,5—1:3 (лапрол 3000:лапрол 500), при которых изменение массы образцов минимальное. Варьирование соотношений исходных компонентов как в сторону избытка ДЭГ (лапрола 500) так и уменьшения его содержания относительно оптимума сопровождается активизацией сорбционных процессов в полимерах.

По-видимому, в первом случае это связано с ростом межцепного взаимодействия и увеличением плотности упаковки фрагментов полимерных цепей, а во втором — избыток ДЭГ приводит в какой-то мере к разупрочнению структуры и росту её дефектности.

Анализ приведенных данных позволяет сделать вывод о том, что стойкость материалов на основе лапролов молекулярной массой 3000 и 500 в целом выше, чем ПУ на основе лапрола молекулярной массой 5000 и ДЭГ.

Как показал анализ результатов испытания ПУ в ацетоне, оптимальной и в этом случае является рецептура с соотношением лапрол 5000:ДЭГ=1:3. Изменение стойкости образцов, в зависимости от соотношения исходных компонентов для обоих рядов аналогично их изменению в воде.

Образцы в ацетоне набухают значительно больше, чем в других средах (в 2—3 раза по сравнению с исходными), но после испытаний восстанавливаются, что позволяет судить об отсутствии химического взаимодействия между полимером и средой.

Подобные аналогии наблюдаются и при испытании в керосине.

Полученные результаты подтверждают возможность изменения свойств ПУ путем направленного регулирования их цепи и это дает возможность оптимизировать их состав по химической стойкости.

1. Липатов Ю.С., Керча Ю.Ю., Сергеева Л.М. Структура и свойства полиуретанов. — Киев: Наук. думка, — 1970

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПА-6 С ОБЪЕМНЫМ НАПОЛНЕНИЕМ НАНОЧАСТИЦАМИ МЕДИ И КОБАЛЬТА

И.Н. Ковалева¹, F. Zivic²

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь; mpri@tut.by

²Машиностроительный факультет Университета г. Крагуевац, Сербия; mfkg@kg.ac.rs

Цель

Исследование зависимости от нагрузки коэффициента трения и износа полимерных композитов на основе полиамида-6 с объемным наполнением наночастицами меди и кобальта.

Материалы и методики исследований

Объектами исследований являлись нанокомпозиты на основе полиамидной матрицы (ПА6), модифицированные металлическими наночастицами Со и Си с концентрацией от 0,25 до 3,0 вес. %.

Испытания на трение проводились на возвратно-поступательном микротрибометре MTU-2K7 (ИММС НАН Беларуси, Гомель) в нормальных условиях (по ГОСТ 8.395-80) без смазочного материала. В качестве контртела использовался шарик из оксида алюминия Al_2O_3 (\varnothing 3,0 мм). Испытания проводились при нагрузках 50—350 мН, относительной скорости скольжения 2,5 мм/с, длине двойного хода 10 мм и пути трения 7,5 м. Определение коэффициента трения k осуществлялась по параметрам регрессии линейной модели вида $F = kN$.

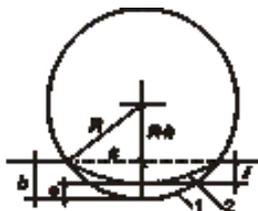


Рис. 1. Оценка износа покрытий: 1 — профиль дорожки под нагрузкой; 2 — после снятия нагрузки; a — интерференционная картина дорожки трения; b — схема определения глубины внедрения h контртела в образец при трении и величины упругого восстановления e

Измерение линейного износа I проводилось на интерферометре Линника МИИ-4М (ЛМО, Россия). Изгиб интерференционных полос (рис. 1) измерялся с помощью программно-аппаратной системы Optizer-MI (ИММС НАН Беларуси, Гомель). За величину износа принималось максимальная глубина профиля дорожки трения в поперечном сечении, в середине ее длины. Величина внедрения h сферического индентора в образец при трении определялась по полуширине дорожки a как: $R - (R^2 - a^2)^{1/2}$. Оценка величины упругого восстановления материала e на дорожке трения производилась в соответствии со схемой, представленной на рис. 1 по разнице между h и I .

Результаты

Испытания показали, что увеличение концентрации металлов снижает коэффициент трения в области малых нагрузок. Наиболее вероятным механизмом антифрикционного действия металлического наполнения является уменьшение адгезионной составляющей сил трения, что подтверждается анализом морфологии изношенных поверхностей.

Зависимости износа композиций от концентрации и вида наполнения не выявлено (таблица).

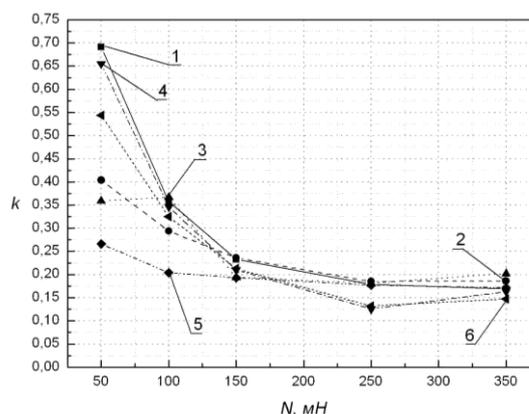


Рис. 2. Экспериментальные зависимости коэффициента трения от нагрузки; 1 — ПА6, 2 — ПА6+К, 3 — ПА6+К+0,25% Со, 4 — ПА6+К+1,5% Со, 5 — ПА6+К+1% Со, 6 — ПА6+К+3% Со

Таблица. Износ исследованных композиций

Образец	Нагрузка, мН	Ширина дорожки трения $2a$, мкм	Линейный износ I , мкм	Внедрение h , мкм
ПА-6	150	47	0,2	0,38
	350	77	0,26	0,75
ПА6+0,25%Cu	150	107	0,3	1,25
	350	134	0,3	1,79
ПА6+1.5%Cu	150	106	0,32	1,26
	350	133	0,34	1,81
ПА6+1%Co	150	102	0,3	1,16
	350	133	0,31	1,78
ПА6+3%Co	150	99	0,31	1,12
	350	129	0,33	1,72

По результатам испытаний установлено, что наилучшими триботехническими свойствами обладает композит с содержанием Со 1,0 мас. %.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского фонда фундаментальных исследований (проект БРФФИ № Т11СРБ-003).

КОНДЕНСИРОВАННЫЙ ФОСФАТ НИКЕЛЯ-ЦИНКА — НОВАЯ ПРОТИВОИЗНОСНАЯ И ПРОТИВОЗАДИРНАЯ ПРИСАДКА К ПЛАСТИЧНЫМ СМАЗКАМ

В.И. Колесников¹, В.В. Авилов¹, Ю.Ф. Мигаль², М.А. Савенкова¹

¹Ростовский государственный университет путей сообщений, Ростов-на-Дону, Россия

²Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия

В качестве антифрикционных присадок, термостойких и экологичных, олеофильных к нефтяным смазочным маслам, могут быть конденсированные фосфаты метафосфатного состава с соотношением 1:1 оксида металла и пентаоксида фосфора [1]. К соединениям такого вида относятся полифосфаты никеля-цинка $NiZn[(PO_3)_4]_\infty$.

Присадка $NiZn[(PO_3)_4]_\infty$, введенная в пластичные смазки ПУМА и БУКСОЛ, получена при исследовании диаграммы состояния системы $Ni(PO_3)_2-Zn(PO_3)_2$ методами физико-химического анализа (термогравиметрическим, рентгенофазовым, ИК-спектроскопическим) [2].

Квантово-химические расчеты с использованием пакета ADF подтвердили возможность существования цепочки со структурным звеном $NiZn[(PO_3)_4]_\infty$. Полученная в расчетах структура представлена на рис. 1.

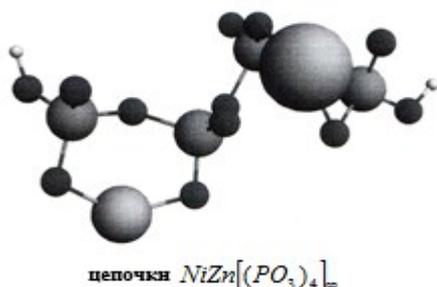


Рис. 1. Звено линейной цепочки $NiZn[(PO_3)_4]_\infty$

В таблице представлены некоторые эксплуатационные характеристики СК ПУМА и БУКСОЛБ а также результаты триботехнических испытаний СК на ЧМТ-1 при нагрузке $P = 20$ кгс.

Улучшение реологических свойств СК ПУ-МА и БУКСОЛ с разработанной присадкой обусловлено комплексобразующим и адсорбционным действием линейных конденсированных фосфатов, образующихся в системе $NiO-P_2O_5-ZnO$. Анионы таких соединений, несущие большой отрицательный заряд, увеличивают растворимость поверхностно-активных веществ пластичных смазок. Они могут адсор-

бириваться на частицах загрязнений, находящихся в смазке, вызывать их взаимное отталкивание, что способствует длительной и стабильной работоспособности СК ПУМА и БУКСОЛ.

Таблица. Результаты испытаний смазочных композиций с присадкой $NiZn[(PO_3)_4]_\infty$

Показатель	ПУМА			ПУМА с присадкой 1 мас.%			БУКСОЛ	БУКСОЛ с присадкой 1 мас.%
	МР	МГ	МЛ	МР	МГ	МЛ		
Температура каплепадения, °С (ГОСТ 6793-74)	174	172	199	242	236	250	180	225
Пенетрация при 25 °С, мм, 60 дв. контактов (ГОСТ 5346-78)	368	310	320	370	315	322	230...290	249
Коллоидная стабильность, % (ГОСТ 7142-74)	36,5	21,5	30,7	22,0	15,0	16,2	18,0	8,5
Коррозионное воздействие на металлы (ГОСТ 9.080-77)	Выдерживает			Выдерживает			Выдерживает	
Показатель пятна износа при нагрузке 196 Н, мм (ГОСТ 9490-75)	0,69	0,68	0,64	0,41	0,40	0,38	0,51	0,40

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 10-08-00416).

- Колесников В.И., Булгаревич С.Б., Челохьян А.В., Савенкова М.А., Булавина Е.А. Исследование триботехнических характеристик пластичных железнодорожных смазок с неорганическими полимерными присадками // Трение и износ. — 2008 (29), № 3, 261—268
- Колесников В.И., Савенкова М.А., Мигаль Ю.Ф., Ермаков С.Ф., Авилов В.В. Неорганические фосфорсодержащие полимерные присадки для пластичных смазочных материалов // Вестник Южного научного центра РАН. — 2011 (7), № 1, 18—23

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ЖИДКОСТЕЙ ОТ ДОЛГОЖИВУЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ

А.Г. Кравцов¹, С.В. Зотов², А.В. Зубарева³

¹Гомельский филиал НАН Беларуси, Гомель, Беларусь; kравtsovag@tut.by

²Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси,
Гомель, Беларусь; zotov-1969@mail.ru

³Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель, Беларусь; alesyazubareva@mail.ru

Цель

В результате катастрофы на ЧАЭС экосистема подверглась комплексному радиоактивному загрязнению, в том числе долгоживущими радионуклидами. Целью исследования является поиск эффективных способов и средств очистки жидкостей от частиц, содержащих радионуклиды.

Материалы и методы

В эксперименте в качестве сорбционных элементов использовали гуминовые вещества и зеленые водоросли *Ch. vulgaris* в комбинации с полимерными волокнистыми материалами, полученными аэродинамическим формованием из расплавов полиолефинов (melt blowing) и обладающими объемным электретыным зарядом. Исходную и остаточную радиоактивность очищаемых жидкостей изучали по методике [1] путем радиохимического выделения изотопов. Активность ²³⁹⁺²⁴⁰Pu и ²⁴¹Am измеряли на α -спектрометре «Alpha Analyst», ¹³⁷Cs — на γ -спектрометрическом комплексе «Canberra» (США).

Результаты и их обсуждение

Оз. Персток расположено на территории Полесского радиационно-экологического заповедника и относится к числу водоемов, в наибольшей степени загрязненных изотопами ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs. Гуминовые вещества и зеленые водоросли погружали в воду объемом 1 л, взятую из оз. Персток. Удельная активность (УА) воды после фильтра «белая лента» по ¹³⁷Cs составила 2,5 Бк/кг в сравнении с первоначальной УА (до внесения сорбентов) 3,1 Бк/кг. Далее получали комбинированный сорбент путем импрегнирования в волокнистый материал 6 мас.% гуминовых веществ и водорослей. УА воды, отфильтрованной комбинированным сорбентом, оказалась ниже уровня минимально детектируемой активности.

Исследовали эффективность фильтрации молока, произведенного в КСУП «Стреличево» при доении крупного рогатого скота, находившегося в условиях пастбищного содержания в осенний период. Средняя плотность загрязнения ¹³⁷Cs территории выпаса составляла 0,11 мЗв/час над поверхностью почвы. Установлено, что однократное фильтрование цельного свежесвыдоенного молока через волокнистый фильтроэлемент-картридж [2] позволяет снизить в 2—4 раза содержание ¹³⁷Cs и в 2—6 раз — содержание трансураниевых элементов (ТУЭ).

Таким образом, достигнут положительный эффект при очистке жидкостей от радионуклидов с помощью melt-blown материалов как компонентов сорбционных систем. Их структура позволяет:

1) удерживать в порах гуминовые вещества и зеленые водоросли, способные к специфической сорбции радионуклидов;

2) осаждать на волокнах частицы загрязнений за счет ситового эффекта и инерционного захвата.

Электретыный заряд волокон:

1) является объемным, благодаря чему сохраняет стабильность в присутствии воды [3];

2) осуществляет воздействие электрического поля на дисперсные частицы, способствуя их осаждению на волокнах.

Осаждение микроразмерных частиц радиоактивных загрязнений облегчается за счет того, что они обладают избыточным электрическим зарядом вследствие ионизирующего излучения содержащихся в них радионуклидов.

Выводы и рекомендации

Полученные результаты позволяют рекомендовать применение фильтрационных и сорбционных систем, компонентом которых являются полимерные волокнистые материалы, для реабилитации водоемов, загрязненных долгоживущими радионуклидами в результате техногенных катастроф, а также для улучшения качества молочной продукции. Адаптация рецептурных составов, применение целевых добавок и придание полимерным волокнам физической и физико-химической активности [3, 4] позволяют расширить ассортимент технических средств тонкой очистки многофазных сред от опасных загрязнений.

1. Методика определения активности стронция и трансураниевых элементов в биологических объектах. МВИ.МН 1992-2003. — Минск: НАН Беларуси. — 2003
2. Фильтр для очистки молока: Евразийский патент № 016858. Н. Е. Савицкий, А. В. Латышев, А. Г. Кравцов, С. В. Зотов, М. В. Барановский. МПК А01J11/06, В01D27/06. Опубл. 30.08.2012 г.
3. Кравцов А.Г., Марченко С.А., Зотов С.В., Станкевич В.М., Наумов А.Д. Полимерные волокнисто-пористые фильтрующие материалы / под общ. ред. Ю.М. Плескачевского. — Гомель: БелГУТ. — 2012
4. Овчинников К.В., Кравцов А.Г., Зотов С.В., Гольдаде В.А. Электретыный эффект в пленках и волокнах из смесей полимеров // Материалы, технологии, инструменты. — 2012 (17), № 3, 61—65

ПОЛУЧЕНИЕ ЛИОФИЛИЗИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ ПОЛИСАХАРИДНЫХ НАНОЧАСТИЦ В ПРИСУТСТВИИ КРИОПРОТЕКТОРОВ

А.Н. Красковский, В.И. Куликовская, Т.Г. Шутова, В.Е. Агабеков

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

Полисахаридные наночастицы перспективны для создания новых лекарственных форм, так как обладают мукоадгезивными свойствами и способны обеспечивать перенос включенных лекарственных веществ через эпителиальные мембраны. В медицинской практике удобно использовать лиофилизированные порошки, из которых непосредственно перед применением готовится суспензия. Это связано с тем, что в процессе хранения жидких лекарственных форм может происходить разрушение действующего вещества под влиянием внешних факторов (УФ, температуры и др.). Однако из лиофилизированных порошков полисахаридных наночастиц очень сложно получить золь с первоначальными физико-химическими характеристиками [1].

Цель данной работы — получение лиофилизированных порошков наночастиц пектината кальция и хитозана, способных формировать золь при их редиспергировании в дистиллированной воде.

Биополимерные наночастицы получали методом ионотропного гелеобразования путем сшивки макромолекул пектина (степень этерификации 32%, степень амидирования 18%) и хитозана катионами кальция и сульфат анионами, соответственно. Лиофилизированные порошки полисахаридных наночастиц получали на лиофильной сушке Freezezone 1.0 ("Labconco", США). В качестве криопротекторов при сублимационном высушивании использовали глицерин (15%), глюкозу (5%) и поливинилпирролидон (10 кДа, 10%).

Наилучшие результаты были достигнуты при лиофильном высушивании полисахаридных наночастиц из раствора, содержащего одновременно проникающий (поливинилпирролидон, 10%) и непроникающий (глюкоза, 5%) криопротекторы. Такие лиофилизированные порошки легко редиспергируются в воде (без ультразвукового воздействия) с образованием устойчивого коллоида. Также хорошо переходят в золи образцы, высушенные в присутствии 5%-ного раствора глюкозы или 10%-го раствора поливинилпирролидона. Установлено, что из лиофилизированных порошков наночастиц пектината кальция и хитозана, полученных без использования криопротектора, а также в присутствии 15% раствора глицерина, можно получить золь только после его предварительного набухания в дистиллированной воде (более 10 суток) и длительного (> 1 часа) действия ультразвука.

Гидродинамический диаметр хитозановых на-

ночастиц, редиспергированных в дистиллированной воде после лиофилизации, составляет 190—200 нм, что на 10—15% меньше их исходного размера [2]. Установлено, что наночастицы хитозана до и после сублимационного высушивания имеют положительный заряд, так как адсорбируются на отрицательно-заряженном слое полиэтиленимин/полистирол-сульфонат (рис 1).

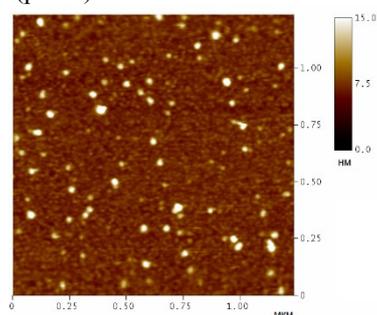


Рис 1. АСМ-изображение наночастиц хитозана, лиофилизированных в присутствии глюкозы и поливинилпирролидона

Показано, что использование криопротекторов при лиофильном высушивании не оказывает существенного влияния на размер наночастиц пектината кальция (табл. 1).

Таблица 1. Размеры наночастиц пектината кальция после сублимационного высушивания (по данным АСМ)

Криопротектор	Высота, нм	Диаметр, нм
5% раствор глюкозы	15±7	94±21
10% раствор поливинилпирролидона	20±9	100±18
смесь (5% глюкозы и 10% поливинилпирролидона)	15±5	88±20
без криопротектора	21±13	96±23

Таким образом, для получения легко редиспергируемых в воде лиофилизированных порошков наночастиц пектината кальция и хитозана необходимо использовать в качестве криопротекторов 5% раствор глюкозы, 10% раствор поливинилпирролидона или их смесь.

- Ильина А.В., Варламов В.П., Ермаков Ю.А., Орлов В.Н., Скрябин К.Г. Хитозан — природный полимер для формирования наночастиц // ДАН — 2008 (421), 199—201
- Masalova O., Kulikouskaya V., Shutava T., Agabekov V. Alginate and chitosan gel nanoparticles for efficient protein entrapment // Physics Procedia — 2013 (40), 69—75

ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИЕ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ СЛОЖНЫХ ОЛИГОЭФИРОВ

Э.Т. Крутько¹, Е.Ф. Кудина², А.В. Зенькова¹

¹Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь; ela_krutko@mail.ru

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

Для улучшения эксплуатационных свойств и расширения областей применения пленкообразующих композиций на основе сложных олигоэфиров, они подвергаются модификации органическими и неорганическими соединениями.

Целью данной работы являлось исследование влияния различных наноразмерных модификаторов на эксплуатационные свойства покрытий, сформированных на основе промышленно производимых олигоэфирных смол.

В качестве основы для формирования покрытий использовались ненасыщенная полиэфирная смола ПН-1 (стирольный раствор продукта синтеза реакции малеинового ангидрида, фталевого ангидрида и диэтиленгликоля; содержание стирола 33 мас.%) и алкидная смола ГФ-01 (40%-й тощий глифталевый полиэфир, модифицированный льняным маслом). В качестве модифицирующих добавок применялись углеродные нанотрубки марки «Суспензия» (УНТ) и наночастицы SiO₂, обработанные и необработанные уксусной кислотой.

В ходе эксперимента была приготовлена серия композитных смесей, содержащих концентрации УНТ: 0,005; 0,01; 0,025; 0,05; 0,1 мас.% и композитных смесей, содержащих частицы обработанного и необработанного уксусной кислотой диоксида кремния в количестве 0,01; 0,03; 0,05 мас.% от массы сухого остатка. Композиции готовились путем смешения смолы и модификатора в микродиспергаторе фирмы ИКА марки ULTRATURRAXTubeDrive или в диссольтвере «Dispermat» и дополнительно обрабатывались в ультразвуке в течение 15 минут со скоростью вращения фрезерной мешалки 2000 об/мин, а затем дополнительно обрабатывались в ультразвуке. Из полученных олигомерных композиций формировали покрытия на поверхности стеклянных и металлических пластин из низкосортной стали марки 08кп размером (70×150) мм и толщиной 0,8—1,0 мм. Отверждение нанокомпозитного материала на основе ненасыщенной полиэфирной смолы ПН-1 осуществляли путем последовательного ввода в смесь инициатора (бутанокс) и ускорителя отверждения (октоат кобальта) в количестве 3 и 4 мас.% соответственно.

Подготовку пластин для нанесения лаковых покрытий проводили по ГОСТ 8832-76. Пластины предварительно очищали и обезжиривали ацетоном с помощью мягкой ветоши, а затем зашкуривали шлифовальной бумагой. Образцы покрытий из полученных композиций формировали нанесением слоя модифицированной смолы с помощью аппли-

катора таким образом, чтобы толщина отвержденного слоя лака составляла 20—30 мкм. После удаления растворителя пластины с нанесенным слоем модифицированного олигомера подвергали термообработке при различных температурно-временных режимах в термошкафу с целью оптимизации физико-механических свойств формируемых покрытий.

Перед испытаниями покрытий на твердость, адгезию, прочность при ударе отвержденные образцы выдерживали при комнатной температуре в течение суток.

Толщину покрытия на стальных и стеклянных субстратах измеряли портативным цифровым электромагнитным толщиномером «Константа-К5» (РФ). За результаты измерения принимали среднее арифметическое из 5—6 определений.

Относительную твердость лакокрасочных покрытий определяли с помощью маятникового прибора по ISO1522 и ГОСТ 5233-89.

Определение прочности лакокрасочных покрытий при ударе осуществляли с помощью прибора «Удар-Тестер» по ISO 6272 и ГОСТ 4765-73.

Для образцов, содержащих в качестве модификатора углеродные нанотрубки, определение адгезии покрытия осуществляли методом отрыва с помощью механического датчика-адгезиметра «Константа АЦ» по стандарту ISO 4624, а для образцов, содержащих наноразмерные частицы диоксида кремния — методом решетчатого надреза (ISO 2409 и ГОСТ 15140-78).

Как показали результаты проведенных испытаний, даже при минимальном содержании низкоразмерных частиц модифицирующих добавок (0,025—0,100 мас.% от массы сухого остатка) свойства полимерного защитного покрытия существенно изменялись. Так, например, твердость при содержании в олигомерной композиции УНТ 0,025% возрастает на 34%, адгезия — на 37%, прочность при ударе повышается при всех концентрациях модификатора в пленкообразователе.

Таким образом, введение малых количеств модифицирующих добавок наноразмерных частиц различной природы в пленкообразующие полиэфирные смолы позволяет получать защитные пленочные составы с улучшенными эксплуатационными характеристиками грунтовочных и защитных покрытий, перспективных для практического использования в ряде областей новой техники.

ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАЦИИ НА СОРБЦИОННУЮ СПОСОБНОСТЬ ПЕНОПОЛИУРЕТАНОВЫХ КОМПОЗИТОВ

М.А. Ксенофонов, Л.Е. Островская, В.С. Васильева

НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ, Минск, Беларусь; lab_dozator@mail.ru

Пенополиуретановые сорбенты представляют собой пористые материалы с мембранной структурой, гидрофобная полимерная матрица которых содержит полярные уретановые, амидные, сложноэфирные, простые эфирные, мочевиные и другие группы, что обуславливает их эффективную сорбцию неполярных и полярных молекул, а наличие системы ячеек-пор обеспечивает доступ сорбируемого вещества внутрь сорбента. В большинстве случаев сорбция пенополиуретаном, по мнению многих авторов, обусловлена гидрофобными взаимодействиями и водородными связями.

В данной работе представлены закономерности извлечения из водных растворов фенолкарбоновых кислот пенополиуретановым полимером, модифицированным галогенсодержащими соединениями. Полученные результаты необходимы для разработки технологических приемов очистки сточных вод, содержащих кислоты бензойного ряда.

Использование фенолкарбоновых кислот в качестве составляющих лекарственных препаратов (салициловая, ацетилсалициловая, галловая), в пищевой промышленности в виде консервантов (бензойная, салициловая) и в косметической промышленности (бензойная, салициловая, эфиры 4-оксибензойной кислоты) вызывает загрязнение сточных и промышленных вод.

Для исследования закономерностей сорбции ароматических кислот готовили их водные растворы в пределах концентрации 0,01—0,05 г/л.

В таблице приведены результаты исследований сорбции фенолкарбоновых кислот немодифицированным и модифицированными пенополиуретановыми сорбентами.

Пенополиуретановая композиция состояла из компонента А — смесь простых и сложных полиэфиров, компонента Б — смесь 4,4 дифенилметандиизоцианата и полиизоцианата на его основе.

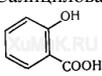
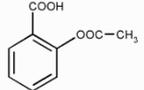
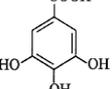
Модификацию поверхности пенополиуретанов проводили газообразным фтором, а модификацию матрицы путем введения в полиуретановую композицию полихлорпарафинов $[C_nH_{2n-m}Cl_m]$ ($n = 10—30$, $m = 1—24$).

Исходный пенополиуретановый сорбент имеет плотность в пределах 8—12 кг/м³ и сорбционную емкость по нефтепродуктам не менее 35 кг/кг.

Из представленных в таблице результатов видно, что фторирование пенополиуретанового сорбента не привело к повышению степени сорбции фенолкарбоновых кислот, а модификация пенополиуретана хлорпарафинами позволила почти в два раза увеличить степень извлечения салициловой и

ацетилсалициловой кислот.

Таблица. Значения сорбции фенолкарбоновых кислот пенополиуретановыми сорбентами из водных растворов

Наименование кислот	Степень поглощения, %		
	Исходный ППУ	Фторированный	С хлорпарафинами
Бензойная C_6H_5COOH	79,90	22,9	42,7
Салициловая 	52,8	32,4	63,9
Ацетилсалициловая 	60,4	52,8	94,7
Галловая 	5,0	-	-

Примечание: ППУ — пенополиуретан

На рисунке представлена зависимость коэффициента распределения фенолкарбоновых кислот исследованных сорбентов от параметра гидрофобности изученных кислот.

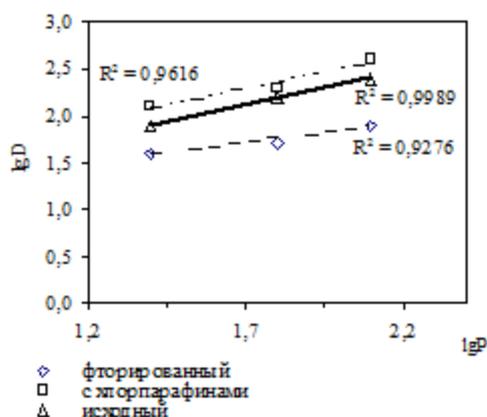


Рис. Зависимость влияния гидрофобности на коэффициент распределения фенолкарбоновых кислот

Установлено, что взаимодействие сорбент — сорбат убывает в ряду модифицированный хлорпарафинами пенополиуретан → исходный пенополиуретан → фторированный пенополиуретан. Следует отметить, что сорбционная активность модифицированных пенополиуретанов не зависит от кислотности среды. При этом взаимодействие сорбент — сорбат является гидрофобным, а механизм сорбции — экстракционным.

ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
НАГРЕВА НА ВОДНЫЙ РАСТВОР СИЛИКАТА НАТРИЯЕ.Ф. Кудина¹, В.Ф. Бабахин²¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь;
kudina_mpri@tut.by²Гомельский инженерный институт МЧС Республики Беларусь, Гомель, Беларусь

В настоящее время возрастает интерес к возможности проведения технологических процессов, требующих термической активации, в условиях диэлектрического нагрева, эффект которого заключается в поглощении материалом энергии электромагнитных полей микроволнового (ВЧ или СВЧ) диапазона. По сравнению с традиционными способами нагрева диэлектрический нагрев имеет ряд преимуществ: время реакции сокращается от 10 до 1000 раз; происходит направленная активация реагирующих молекул; растворитель нагревается выше температуры кипения и т.д. Изучению воздействия диэлектрического микроволнового нагрева (МВН) посвящено достаточно много работ, однако основная их часть относится к изучению физических аспектов воздействия излучения, синтезу органических соединений или решению прикладных задач. Химические аспекты воздействия МВН на реакционные системы, кроме области органического синтеза, не изучены. Объектом для исследования в данной работе выбран высокощелочной водный раствор силиката натрия (РСН, ГОСТ 13078, $n = 3$). РСН отличается высокой реакционной способностью, а также откликом на внешние изменения, приводящим к широкому варьированию состава раствора, выраженной агрегативной неустойчивости с образованием дисперсных продуктов. Поскольку при МВН повышение температуры и действие электрических полей наиболее выраженное влияние оказывают на структуру воды и водные растворы, обработка РСН, являющихся диэлектриками с высокой способностью поглощать электромагнитную энергию СВЧ-диапазона, может привести к широкому спектру физико-химических процессов.

Целью работы являлось проведение сравнительного анализа воздействия микроволнового (частота 2463 МГц) и изотермического нагрева на высокощелочной водный раствор силиката натрия.

Установлено, что процесс термообработки РСН состоит из трех периодов, причем процесс дегидратации в условиях МВН приводит, по сравнению с обычным нагревом, к сокращению продолжительности периодов и увеличению кинетики протекания процессов. При увеличении массы образца скорость дегидратации уменьшается. Однако, независимо от массы, процесс завершается при одинаковой влажности конечного продукта. Увеличение мощности воздействия ведет к ускорению процесса дегидратации. Установлено, что активация ВРС приводит к снижению вязкости раствора — с 0,9 до 0,39 Па·с после МВН и до 0,55 Па·с после термостатирования, что вызвано деполимериза-

цией и образованием низкомолекулярных кремнекислородных продуктов. Термообработка ВРС приводит к повышению агрегативной стабильности и удельной электропроводности в 1,5—2,0 раза, снижению pH (с 12,4 до 10,1). Независимо от концентрации ВРС и режимов обработки концентрация ионов водорода в охлажденных до 22 °С растворах остается выше первоначальной: в 2,2 раза МВН и в 1,3 раза после изотермической выдержки. После охлаждения растворов через определенный период созревания золя процессы межмолекулярного взаимодействия интенсифицируются и сопровождаются полимеризацией силикат-анионов и образованием наноразмерных частиц кремнезема. После термообработки в ВРС происходит практически полное восстановление анионного состава и pH раствора, а после МВН наблюдается резкий рост вязкости (в 6—8 раз) (рисунок). Оценка энергии связей в структурном каркасе показала, что после МВН значения уменьшаются до 66 раз, что в 10—21 раза больше, чем после термического нагрева.

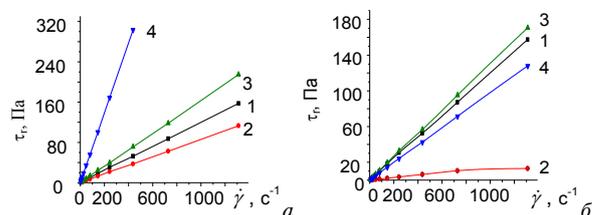


Рис. Кривые течения ВРС (I) после МВН (a) и термостатирования (b). Температура нагрева 90 °С. Время экспозиции на воздухе после воздействия: 2 — 15 мин., 3 — 2 ч, 4 — 24 ч

Установлены стадии золь-гель процесса в ВРС после термообработки: I — дефрагментация кремнекислородных частиц, II — возникновение центров зародышеобразования и рост кремнекислородных агрегатов, III — полимеризация кремнекислородных анионов. Вид воздействия определяет кинетику процесса структурообразования, морфологию и свойства формируемых ксерогелей.

Таким образом, воздействие диэлектрического нагрева на ВРС может быть использовано как для повышения агрегативной устойчивости РСН, так и эффективного фактора, интенсифицирующего процесс полимеризации силикат-анионов и обуславливающего формирование продукта определенной морфологии.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проекта Т13-098).

ОЦЕНКА И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ НАТУРНЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ ТРИБОИСПЫТАНИЙ

В.Г. Кудрицкий¹, В.Л. Басинюк², Е.И. Мардосевич²

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

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Введение

Результаты натуральных триботехнических испытаний практически всегда отличаются от лабораторных. Большое число трудно идентифицируемых и не контролируемых эксплуатационных факторов, существенно меняют фрикционное поведение материалов. В то же время, проведение адекватных имитационных испытаний осложняется тем, что не все из факторов известны и могут быть воспроизведены. Примером может служить задача моделирования работы пар трения космической техники на околоземной орбите.

Цель

Разработка метода оценки и обеспечения эквивалентности результатов натуральных и имитационных трибоиспытаний.

Постановка и решение задачи

В основе предлагаемого метода лежит известное положение о том, что системы со многими степенями свободы, в общем случае, могут быть приведены в заданное состояние не единственным способом. Применительно к трибоиспытаниям это означает, что идентичность функционального поведения материалов при натуральных и лабораторных испытаниях может быть достигнута при отличающихся условиях их проведения.

Для определения условий эквивалентности результатов испытаний каждая пара в каждый момент времени описывались вектором S из i -го числа регистрируемых и задаваемых параметров (признаков). Элементы вектора интерпретировались как координаты некоторой точки в многомерном пространстве. Положение точки характеризовало мгновенное состояние системы, а многомерная кривая соединяющая их последовательность — эволюцию системы в процессе испытаний.

Оценка сходства трибосистем с одинаковыми наборами признаков сводилась к определению расстояния ρ между точками их соответствующих состояний:

$$\rho = [\sum_i (S_{1,i} - S_{2,i})^2]^{1/2}. \quad (1)$$

Сходство трибосистем с частично отличающимися описаниями, оценивалось с помощью процедуры снижения размерности признаков пространства, при которой редукции подвергались оси несовпадающих параметров. Эта операция равносильна определению некоторого нового простран-

ства сниженной размерности, на которое происходит проецирование точек состояний анализируемых систем. Показано, что для таких систем влияние фактора S_i можно оценить по величине:

$$\Delta\rho = |\rho_1 - \rho_2|, \quad (2)$$

где ρ_1 и ρ_2 — расстояния между сравниваемыми системами в исходном состоянии и при $S_{1,i} = S_{2,i} = 0$ соответственно. Подбор условий S_2 , эквивалентных проведению испытаний в условиях S_1 сводится к решению системы уравнений вида:

$$\rho(S_1, S_2) = 0, \quad (3)$$

где, в общем случае, размерность S_1 и S_2 может не совпадать.

Результаты и их обсуждение

Решалась задача сравнения двух трибосистем имитирующих натурные и лабораторные испытания, описываемые разным числом параметров. На рис. представлено их совместное редуцированное параметрическое пространство.

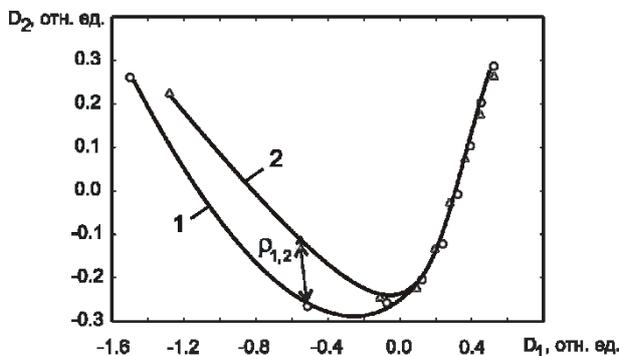


Рис. Результат отображения состояний двух трибосистем в редуцированное пространство $D1 \circ D2$

Показано, что расхождение между системами в начале эксперимента может быть компенсировано увеличением окружающей температуры в лабораторном тесте приблизительно на 20%.

Заключение

Разработана методика, позволяющая оценить и подобрать параметры, обеспечивающие эквивалентность натуральных и лабораторных триботехнических испытаний.

МЕХАНИЗМ ИЗНОСА АЛМАЗА ПРИ КОНТАКТНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ АЛМАЗ-АЛМАЗ

А.М. Кузей

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

Качество обработки поверхности кристаллов алмаза во многом определяет эксплуатационные характеристики инструмента (иглы, резца, волокна и т.д.), а также стоимость бриллиантов. Принято считать, что износ кристалла алмаза при его обработке жестко закрепленными алмазными зернами обусловлен микрорезанием, алмазными зернами, в результате поверхностный слой хрупко разрушается. Методами электронной сканирующей и атомно-силовой микроскопии изучен механизм износа цилиндрических заготовок природного алмаза при шлифовании алмазоабразивным инструментом с 37 об.% концентрации алмазных зерен фракции 63/50 мкм.

Алмазные зерна в алмазоабразивном композиционном материале расположены хаотично, поэтому в процессе износа поверхностного слоя кристаллы алмаза участвуют вершины зерен с различной твердостью, обусловленной анизотропией твердости кристалла, и плоские поверхности. Результирующий механизм износа кристалла алмаза будет определяться совокупностью механизмов взаимодействия зерен с поверхностью кристалла.

Обработка цилиндрических заготовок кристалла алмаза формирует на его поверхности характерные рельефы, определяемые характеристиками инструмента и режимами обработки. Визуально (при 10-кратном увеличении) они разделяются на «блестящий», «матовый» и «сахаристый».

Параметры шероховатости «блестящего» рельефа $R_a = 0,022$; $R_q = 0,463$; $R_a = 0,186$; $R_q = 0,725$. Этот тип рельефа поверхности образован выступами и впадинами (рис.). Обработка (химическое полирование) кристалла сглаживает рельеф и выявляет структуру поверхностного слоя (рис. 1).

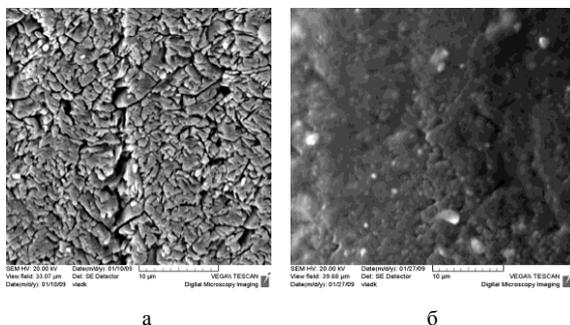


Рис. 1. Морфология поверхности кристалла алмаза: *a* — после шлифования; *б* — после химической полировки

Поверхностный слой (2—4 мкм) имеет структуру, подобную зеренной структуре металлов. «Зерна» представляют собой участки кристалла, разделенные микротрещинами. В области углублений

(борозд) на поверхности кристалла химическое полирование выявляет поры (рис., б). Подобный характер морфологии поверхности и структуры поверхностного слоя кристалла свидетельствует, что в процессе обработки алмазные зерна внедряются в поверхность кристалла. Вершина зерна непрерывно изнашивается, а не хрупко разрушается. Одновременно вершина отделяет поверхностный (дефектный) слой алмаза и формирует новый дефектный (трещиноватый) поверхностный слой.

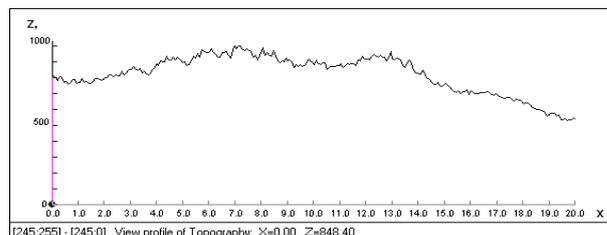
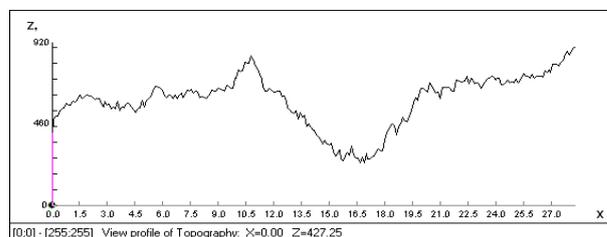


Рис. 2. Топография поверхности алмаза после шлифования: *a* — профиль высот поперек борозды (в); *б* — профиль высот вдоль борозды (в); *в* — трехмерное изображение площадки

Как видно, поверхность кристалла в направлении обработки имеет более развитый микрорельеф, чем в поперечном направлении (рис. 2). Более развитый рельеф на дне борозды, чем на ее стенках, указывает, что разрушение вершины зерна, внедренной в кристалл, происходит скалыванием наноразмерных частиц (рис. 2). В результате вершина зерна непрерывно «самозатачивается» и глубина борозды уменьшается. Однако давление вершины на кристалл по-прежнему велико, что и приводит к образованию дефектного, трещиноватого слоя на поверхности кристалла.

Триботехнические свойства порошковых БрОФ10-1+WC-Co покрытий для узлов трения технологического оборудования

А.В. Купреев¹, Ю.Л. Бобарикин², А.Н. Швецов², С.В. Шишков²

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

²Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Гомель, Беларусь

Одним из актуальных направлений современного трибоматериаловедения является задача создания износостойких композиционных материалов и покрытий для различных узлов трения, что позволяет повысить технический уровень, ресурс и надежность технологического оборудования.

В настоящее время на ОАО «Белорусский металлургический завод-управляющая компания холдинга «Белорусская металлургическая компания» в технологическом оборудовании для получения металлокорда из тонких сортов проволоки применяются устройства натяжения, обеспечивающие натяжение металлокорда при свивке. Фрикционные диски, обеспечивающие натяжение металлокорда, изготовлены из бронзы марки БРО10Ф-1, которая имеет повышенный и нестабильный износ и в неполной мере отвечает требованиям эксплуатации машин и качеству изготавливаемой продукции. По этой причине актуальным является создание и использование принципиально новых материалов для фрикционных передач в машинах, а так же технологии их получения.

Особое место занимают порошковые композиционные материалы и покрытия, позволяющие получить широкий диапазон эксплуатационных свойств. В сравнении с другими композиционными материалами, благодаря совокупности положительных свойств металла матрицы и функциональных свойств наполнителей различного назначения порошковые материалы обладают рядом преимуществ: более высокие прочностные свойства, износостойкость, возможность регулирования фрикционных свойств, высокая технологичность. Диапазон эксплуатационных характеристик порошковых покрытий определяется возможностью использования порошков максимально различных свойств.

Целью работы являлось проведение сравнительных триботехнических испытаний бронзы БрОФ10-1 и порошковых БрОФ10-1+WC-Co покрытий.

Образцы покрытий для триботехнических испытаний изготавливались в следующей технологической последовательности: подготовка поверхности металлической подложки для улучшения адгезионного взаимодействия композиционного слоя и подложки; приготовление порошковой шихты для композиционного слоя; нанесение композиционного материала на поверхность металлической подложки способом накатки прокатными валками; спекание/припекание накатанного композиционного слоя

к металлической подложки в печи с защитной атмосферой; калибровка прокаткой полученного покрытия.

Триботехнические испытания проводили на машине трения 2070 СМТ-1 (ООО «Точприбор», г. Иваново, Россия) по схеме «вал — частичный вкладыш». Давление в узле трения варьировалось в диапазоне 0,25...1,0 МПа; линейная скорость скольжения составляла 1,0 м/с. Материал контртела — сталь 45 (ГОСТ 1050-88) твердостью HRC₃ 32...36 и шероховатостью поверхности $R_a = 0,32$ мкм. Коэффициент взаимного перекрытия пары трения вкладыш — ролик составлял 0,125. Приработку проводили при нагрузке 0,25 МПа и скорости 1,0 м/с до образования контакта не менее 90% всей поверхности трения.

По полученным диаграммам момента трения сделаны следующие выводы:

— по сравнению с диаграммой испытаний бронзового образца, материал имеющий в своем составе 80 мас.% WC-Co, работает как абразивный инструмент, что приводит к повышенному износу контртела и нестабильности коэффициента трения;

— материал с большим содержанием БрОФ10-1 (80 мас.%), имеет эксплуатационные характеристики, близкие к чистой бронзе;

— оптимальным по своему составу и эксплуатационным характеристикам является материал с содержанием БрОФ10-1 — 50 мас.%, WC-Co — 50 мас.%.

По результатам триботехнических испытаний установлено, что линейная интенсивность изнашивания композиционных порошковых покрытий в сравнении с чистой бронзой, при трении без смазочного материала, ниже на 3...27%, причем с увеличением нагрузки разница в показателе износам увеличивается.

При испытаниях с использованием смазочного материала отмечено, что для порошковых покрытий, в сравнении с образцом из БрОФ10-1, разброс значений коэффициента трения меньше на 10...20%, что важно с точки зрения поддержания стабильного момента трения в реальном фрикционном узле. Эксперимент с обедненной смазкой показал, что разветвленная поверхность порошковых покрытий и их пористая структура позволяет по времени в 2,0—2,5 раза дольше сохранять смазку на фрикционном контакте и тем самым обеспечивает высокую стабильность коэффициента трения при эксплуатации покрытий.

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПТФЭ

А.В. Купреев¹, К.В. Пантелеев¹, С.Г. Данченко¹, С.М. Мартыненко¹, И.В. Царенко²

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь; kurgreev_alex@tut.by

²Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Гомель, Беларусь

Первым этапом триботехнических испытаний любых образцов является разработка плана эксперимента, установление требований к образцам и контртелу, определение режимов проведения испытания и, непосредственно, контролируемых параметров в ходе эксперимента, условий приработки поверхностей пары трения, а также критериев прекращения испытаний.

Планирование эксперимента включает комплекс мероприятий, направленных на эффективную постановку опытов. Основная цель планирования эксперимента — достижение максимальной точности измерений при минимальном количестве проведенных опытов и сохранении статистической достоверности результатов.

Целью работы являлась разработка методических подходов к проведению триботехнических испытаний композитов на основе ПТФЭ.

В качестве объектов для проведения исследований были использованы композиционные материалы на основе фторопласта-4 и модифицированных углеволокон разработанные ИММС НАН Беларуси — Флувис (ТУ РБ 03535279.071-99) и Суперфлувис (ТУ ВУ 400084698.178-2006).

Базой для разработки методики проведения триботехнических испытаний композиционных материалов на основе фторопласта-4 являлись действующие нормативные документы [1–3].

Триботехнические испытания проводились на машине трения 2070 СМТ–1 с использованием схемы «вал — частичный вкладыш». Технические характеристики машины трения СМТ–1 позволяют проводить испытания при скоростях до 3 м/с и нагрузках до 2000 Н. В качестве контртела были использованы ролики из стали 45 (ГОСТ 1050-88) твердостью HRC₃ 32...36 и шероховатостью поверхности R_a = 0,32 мкм. Коэффициент взаимного перекрытия пары трения вкладыш — ролик составлял 0,125.

Процесс приработки поверхности трения образцов для проведения триботехнических испытаний выполняется для обеспечения прилегания сопрягаемых поверхностей трения подвижного и неподвижного образцов. Приработка считается завершённой при обеспечении контакта по площади не менее 90% поверхности образца. Режимы процесса притирки образцов выбираются в зависимости от типа матричного полимера и особенностей структуры композита. Для композитов на основе фторопласта-4 допустимая температура образцов установ-

лена на уровне 180...190 °С. Режим приработки установленный экспериментально по скорости составляет 0,75...1,0 м/с, по давлению 0,5...0,75 МПа при этом температура образца достигает 160...175 °С, время приработки составляет 4...12 часов.

Режимы проведения испытания давление (P) и скорость (V) устанавливаются с учетом эксплуатационных характеристик узлов трения, в которых работают полимеры и композиты на их основе, и предельного уровня температур в зоне трения выше которой происходит размягчения полимера в случае термопластичных материалов и термическая деструкция в случае терморезистивных. Под критическим режимом испытания для полимерных материалов понимается область значений нагрузок и скоростей ограниченных кривой [1], представляющей собой совокупность предельных значений нагрузок и скоростей скольжения, а критериями работоспособности являются зависимости коэффициента трения и износа от параметров P и V внутри этой области.

Критериями прекращения испытаний являются потеря формостабильности, падение эффективности, повышенный износ, разрушение образца. Предельные режимы испытаний устанавливаются экспериментально. Для композитов на основе фторопласта-4 потеря работоспособности происходит резко при температурах образцов на уровне 300...320 °С или постепенно при превышении предельной нагрузки. Образцы имеют характерную бочкообразную форму свидетельствующую о пластической деформации. За критерий прекращения испытаний принято увеличение на 10% ширины в средней части образца.

Полученные экспериментальные данные позволили выбрать оптимальные режимы процесса приработки композитов на основе ПТФЭ, установить критерии прекращения испытания, а также определить триботехнические характеристики материалов Флувис и Суперфлувис при различных скоростях скольжения и нагрузках.

1. Обеспечение износостойкости изделий. Метод оценки триботехнических свойств материалов на основе полимеров: МР 74–82 — Введ. 01.01.1983 — М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. — 13 с.
2. Методы экспериментальной оценки фрикционной совместимости материалов трущихся сопряжений: РД 50-662-88 — Введ. 01.01.1989 — М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1989. — 30 с.
3. Обеспечение износостойкости изделий. Метод ускоренной оценки материалов трущихся сопряжений: Р 50-54-62-88 — Введ. 22.10.1987 — М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1988. — 26 с.

ДИСПЕРСИОННЫЕ СРЕДЫ ДЛЯ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ ВОДНЫХ БИНАРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ПЭГ — ПАВ

П.Н. Логвиненко, Л.О. Карсим, Г.Е. Глиевая, С.В. Рябов

Институт химии высокомолекулярных соединений НАН Украины, Киев, Украина

Дисперсионные среды на основе бинарных растворов полимер — ПАВ нашли широкое применение в технологических составах (ТС) для механической обработки металлов. Однако, учитывая современные требования к экологии, в настоящее время предпочтение отдается ПАВ, изготовленным из растительного сырья и обладающим практически 100%-ным биоразложением. Таким требованиям соответствуют продукт Рипокс-6, представляющий собой оксиэтилированное рапсовое масло (РМ), и оксиэтилированный фосфатидный концентрат (Кофокс-2).

Известно, что максимальное диспергирующее действие ТС для обработки металлов реализуется при оптимальном сочетании смачивающих и проникающих свойств, которые определяются поверхностным натяжением, вязкостью и регулируются введением соответствующих функциональных присадок. Такие присадки, например, полиэтиленгликоль (ПЭГ) существенно влияют на реологические и трибологические свойства ТС, что определяет целесообразность комплексного исследования водных бинарных композиций (ВБК) ПЭГ — Рипокс-6 и ПЭГ — Кофокс-2.

Поверхностное натяжение $\sigma_{ж-г}$ ВБК ПЭГ — ПАВ определяли по методу пластинки Вильгельми, а динамическую вязкость η_d — методом ротационной вискозиметрии.

Диспергирующие свойства ВБК изучали гравиметрическим методом на плоских образцах-дисках из стали (Сталь 45), бронзы БРАЖ 9 и алюминиевого сплава Д16Т при абразивной обработке на машине трения.

Диспергирующее действие компонентов определяли по приросту съема ΔQ^k , т.е., по разнице между величиной съема металла в растворе Q^p и воде Q^b : $\Delta Q^k = Q^p - Q^b$.

Согласно полученным результатам поверхностное натяжение ВБК в области низких концентраций ПАВ (0,001—0,1 мас.% в 10%-ном растворе ПЭГ) на 5—7 мН/м ниже значений σ водных эмульсий Рипокс-6 и Кофокс-2, что свидетельствует об их высокой поверхностной активности. Эффект снижения

значений $\sigma_{ж-г}$ ВБК проявляется более четко при увеличении ММ ПЭГ от 4000 до 6000, а также для более высокомолекулярного ПАВ — Кофокс-2, что можно объяснить образованием интермолекулярных комплексов (ИМК) ПЭГ — ПАВ. Данные тензиометрических исследований подтверждают результаты исследования реологических свойств ВБК, согласно которым концентрационная зависимость динамической вязкости ВБК в области концентраций ПАВ 0,1—1,0 мас.% имеет минимаксный характер, который сохраняется при повышении температуры ВБК вплоть до 60 °С, что свидетельствует об относительно высокой прочности ИМК ПЭГ — ПАВ.

Сопоставляя концентрационные зависимости и значения динамической вязкости установлено, что зависимости диспергирующих и реологических свойств для ВБК, а для ВБК ПЭГ — Кофокс-2 — антибатно. Можно предположить, что диспергирующее действие ВБК определяется не только вязкостью, но и природой адсорбционного взаимодействия ИМК ПЭГ-ПАВ с активными центрами свежееобразованной поверхности.

Характерно, что значения $\Delta Q^{ВБК}$ композиций ПЭГ — Рипокс-6 при диспергировании сплава Д16Т и бронзы очень близки к значениям $\Delta Q^{ПЭГ}$ 10%-го раствора ПЭГ6000, что позволяет предполагать определенную общность механизма адсорбционного взаимодействия ИМК с активными центрами свежееобразованной поверхности сплавов меди и алюминия. Общность механизма адсорбционного взаимодействия ИМК хорошо просматривается также для ВБК ПЭГ — Кофокс-2: при введении в полимерный раствор малых добавок Кофокс-2 наблюдается существенное увеличение значений $\Delta Q^{ВБК}$ бронзы и резкое повышение значения $\Delta Q^{ВБК}$ при диспергировании сплава алюминия. Синергизм диспергирующих свойств компонентов ВБК ПЭГ — Кофокс-2 при обработке сплава Д16Т и компонентов ВБК ПЭГ — Рипокс-6 при диспергировании Сталь 45 объясняется избирательностью адсорбционного взаимодействия ИМК по отношению к свежееобразованной поверхности сплавов.

РАДИОЧАСТОТНЫЙ МЕТОД БОРЬБЫ С АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФИНОВЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ В НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В.А. Ломач¹, В.А. Банный², А.В. Макаревич²

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

²БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть», Гомель, Беларусь; bannyi@tut.by

Процессы добычи, сбора и подготовки нефти осложняются комплексом проблем. В частности, накопление асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) в призабойных зонах пласта (ПЗП), проточной части глубинно-насосного оборудования, на внутренней поверхности насосно-компрессорных труб и трубопроводов систем нефтесбора приводит к снижению эффективности насосных установок, сокращению отборов нефти и межремонтного периода работы скважин [1, 2].

Существующие методы борьбы с АСПО подразделяют на физические, химические и микробиологические. Один из наиболее эффективных физических методов удаления АСПО базируется на использовании электромагнитного излучения (ЭМИ) СВЧ-диапазона.

АСПО — природный композиционный материал, состоящий из 10–15 органических веществ [1]. Эти вещества, особенно вода (связанная и «капсулированная»), активно поглощают ЭМИ миллиметрового диапазона [3]. СВЧ-излучение генерирует колебания молекул компонентов АСПО, что инициирует локальный нагрев, способствующий плавлению парафинов, церезинов, смол и препятствующий их агломерации.

Цель работы состояла в развитии представлений о взаимодействии ЭМИ СВЧ-диапазона с многокомпонентными гетерогенными системами, в частности, с АСПО, и обосновании преимуществ применения микроволн для предотвращения и удаления АСПО из скважин и ПЗП.

Объектами исследования служили АСПО различного состава месторождений Республики Беларусь (табл.).

Таблица. Состав АСПО, извлеченных из эксплуатационных скважин Речицкого месторождения

Номер скважины (глубина отбора АСПО, м)	Содержание компонентов АСПО, мас. %				
	асфальтены	смолы	парафины	механические примеси	вода, углеводороды
193 (530)	0,68	11,73	36,59	1,36	49,64
193 (295)	0,60	11,51	52,33	0,89	34,67
281	1,55	8,33	55,69	3,88	30,55

В качестве источника СВЧ-излучения использовали генератор ЭМИ мощностью 0,8 кВт и частотой 2,45 ГГц.

той 2,45 ГГц.

Одинаковые навески образцов АСПО подвергали воздействию СВЧ-излучения, наблюдали плавление и фиксировали время перехода АСПО из твердого состояния в жидкое.

Результаты и их обсуждение

Как показал эксперимент, при одинаковой мощности ЭМИ, АСПО различного состава нагревались с разной скоростью. Образец, включающий 49,64% водно-углеводородной фазы (табл.), переходил из твердого состояния в жидкое в течение 80–90 с, быстрее, чем образцы с меньшим ее содержанием 34,67% (115–130 с) и 30,55% (130–145 с). Количество других, кроме воды, полярных веществ в АСПО (смол, асфальтенов) не оказывало заметного влияния на поглощение энергии. Очевидно, основной вклад в поглощение ЭМИ образцами АСПО вносит водосодержащая жидкая фаза. Чем больше воды, тем ярче выражены диэлектрические потери и интенсивнее нагрев АСПО при воздействии СВЧ-излучения.

Содержание воды в АСПО, извлеченных из эксплуатационных скважин (90% воды и более) эксплуатационных скважин, где проблема образования отложений стоит особенно остро, как правило, на порядок выше, чем смол и асфальтенов (табл.). В воде обычно имеются растворенные минеральные вещества, в частности, соли, диссоциирующие на ионы. Это обуславливает дополнительные потери энергии ЭМИ на электропроводность за счет возникновения вихревых токов в водном электролите.

Радиочастотный метод борьбы с АСПО отличается высокой эффективностью, к его достоинствам относятся низкая энергоемкость и экологическая безопасность.

На аналогичных принципах основано использование СВЧ-излучений для разогрева нефтешламов (близких по составу к АСПО) в процессах их утилизации.

1. Персиянцев М. Н. Добыча нефти в осложненных условиях. — М.: ООО «Недра-Бизнесцентр». — 2000
2. Иванова Л. В., Бузов Е. А., Кошелев В. Н. Асфальтосмолопарафиновые отложения в процессах добычи, транспорта и хранения // Нефтегазовое дело. — 2011, № 1, 268—284
3. Ломач В. А., Пинчук Л. С., Гольдаде В. А., Банный В. А. Эффективность несвязанной воды как радиопоглощающего компонента электромагнитных экранов при отрицательных температурах // МТИ. — 2011, № 4, 41—41

БИОДЕГРАДИРУЕМЫЕ НАНО- И МИКРОГЕЛИ НА ОСНОВЕ ФОСФАТОВ КРАХМАЛА: ПОЛУЧЕНИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

В.О. Мирончик, Т.Л. Юркштович, Н.В. Голуб, П.М. Бычковский, В.А. Алиновская, Р.И. Костерова, С.О. Соломевич, Н.К. Юркштович

Учреждение Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», Минск, Беларусь; sergejsolomevich@yandex.ru

Целью настоящего исследования являлось получение нано- и микрогелей на основе фосфатов крахмала и изучение их свойств.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования использовали картофельный крахмал (содержание амилозы — 23,8 мас.%). Гидрогели фосфатов крахмала (ФК) были получены путем этерификации ортофосфорной кислотой в расплаве мочевины. Структура, состав и размеры полученных гидрогелей на основе ФК были исследованы методами потенциометрического титрования, ИК- и ЯМР ^{31}P -спектроскопии, элементного анализа, дифракционного анализа размера частиц, рентгено-фазового анализа, сканирующей электронной и атомно-силовой микроскопии.

Результаты и их обсуждение

В данной работе нано- и микрогели на основе ФК получены с целью создания инъекционных систем адресной доставки противоопухолевых веществ. Реакция этерификации крахмала ортофосфорной кислотой в расплаве мочевины проходила при пониженном давлении 0,08—0,3 атм., температуре 120—135 °С, времени 3 ч. Образцы гидрогелей на основе ФК имели степень замещения по фосфорнокислым и карбаматным группам 0,20—0,70 и 0,20—0,92, соответственно, характеризовались степенью набухания в интервале 7,0—160,0 г/г.

Размер частиц оценивали методом лазерного рассеивания после их окрашивания метиленовым синим и многократной отмывки от избытка красителя диализом относительно воды.

Установлено, что в водной суспензии объемное содержание макромолекулярных ассоциатов различных размеров ФК, полученных при разных условиях этерификации крахмала, практически не отличается между собой. Размеры микрогелей, находились в пределах от 0,05 до 100 мкм. Максимальное объемное содержание (25—42%) соответствовало частицам с размерами 20—50 мкм.

С учетом предполагаемого целевого использования ФК была предпринята попытка получения наночастиц путем использования УЗ-обработки дисперсионной системы. Исследовано влияние концентрации суспензии, времени обработки, природы среды (вода, смесь вода-изопропанол, изотонический раствор) на размер частиц. Из рис. 1 видно, что УЗ-обработка 0,1% суспензий ФК приводит к дезин-

теграции полисахаридных агрегатов, значительному увеличению содержания в образцах наночастиц, высота которых изменяется в пределах 2—10 нм.

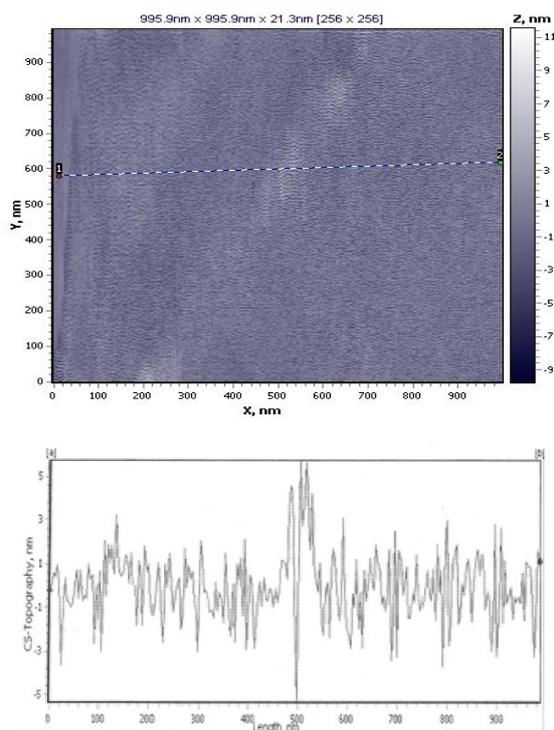


Рис. 1. Двумерное АСМ-изображение ФК₂. Покрытие сформировано на Si-подложке 14 класса полировки из суспензии с концентрацией ФК 0,1%, среда — изопропиловый спирт : вода = 1:1

Изучено влияние ионной силы, pH и дозы γ -облучения на изменение степени набухания ФК, отличающихся содержанием фосфорнокислых групп.

В условиях *in vitro* изучена кинетика ферментативного гидролиза гелеобразующих фосфатов крахмала с разной степенью сшивки с использованием панкреатического фермента α -амилазы (1,5 ед/мл). Скорость максимально сшитых образцов фосфатов крахмала примерно в три раза меньше скорости ферментативной гидратации зерен нативного крахмала.

На основании физико-химических свойств гидрогелей установлена возможность использования микро- и наночастиц ФК для создания инъекционных систем адресной доставки α -2b-интерферона.

НОВЫЙ ТЕПЛОСТОЙКИЙ ЭПОКСИДНЫЙ УГЛЕПЛАСТИК ДЛЯ ПАР ТРЕНИЯ-СКОЛЬЖЕНИЯ

Э.С. Митрофанова¹, А.В. Студенцева¹, В. И. Румянцев¹, В.К. Крыжановский²

¹ООО «Вириал», Санкт-Петербург, Россия; info@virial.ru

²Санкт-Петербургский Государственный Технологический Институт, Санкт-Петербург, Россия

Цель. Получение самосмазывающегося подшипника для пар трения-скольжения с заданными механическими и триботехническими свойствами.

Материалы и методы. Композиционные материалы получали методом мокрой намотки углеродных волокон марки TohoTenaxHTS45 на намоточной линии Mikrosam MAW 20 LS6/1. Рассмотрены несколько вариантов матриц на основе различных эпоксидных смол без модификации и с модификацией ультрадисперсными порошками BN, MoS₂, SiC и графита. Предел прочности при изгибе определяли по ГОСТ 25.604, ударная вязкость по Шарпи — ГОСТ 4647, модуль упругости — ГОСТ 9550, твердость по ГОСТ 4670, предел прочности при сжатии ГОСТ 4651. Трибологические характеристики материалов определялись на машине трения 216УМТ ГОСТ 11629 с контртелом из стали 40Х13. Структуры материалов исследовались с помощью оптического микроскопа МБС-10, а также на растровом электронном микроскопе марки JSM-7001F ГОСТ 9391.

Результаты и их обсуждение. Показано, что лучшие термостойкие (рис. 1) и механические свойства (табл. 1) из рассмотренных смол получены на разработанном экспериментальном составе № 1, изготовленного на основе смолы российского производства.

И далее этот состав выбран для последующих экспериментов. Введение в состав 30% м.ч. ультрадисперсных наполнителей несколько снижает механические свойства (табл. 2), но увеличивают температуру начала деформации на 10—20 °С.

Механические свойства КМ на основе указанных композиций и углеродных волокон показали приблизительно одни и те же значения при объемном содержании волокон в пределах 65—70% (табл. 3, рис. 2).

Однако, лучшие трибологические характеристики показал углепластик с трибослоем из MoS₂ (табл. 4)

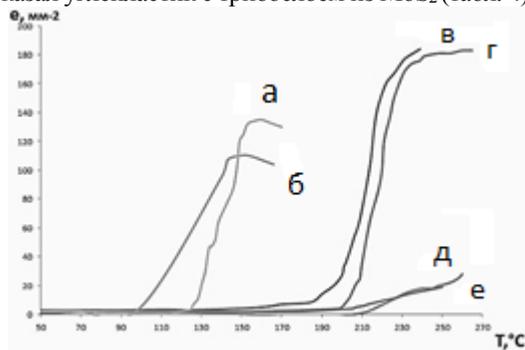


Рис. 1. Термомеханические кривые составов полного отверждения: а — ЭД-22; б — ЭД-20; в, г — ВСТ1210; д, е — состав № 1

Таблица 1. Значение твердости и предела прочности при сжатии исследуемых составов

Состав образца	НВ, МПа (при нагрузке 500 Н)	$\sigma_{сж}$, МПа
ЭД-20	110	120
ЭД-22	100	110
ВСТ1210	160	170
Состав №1	180	190

Таблица 2. Значение твердости и предела прочности при сжатии исследуемых составов

Состав № 1 с наполнителем 30% (м.ч.)	НВ, МПа (при нагрузке 500 Н)	$\sigma_{сж}$, МПа
BN	130	160
Графит	110	120
SiC	210	200
MoS ₂	120	140

Таблица 3. Физико-механические свойства ПКМ

Направление волокна	$\sigma_{изг}$, МПа	a_k , кДж/м ²	E, ГПа
Вдоль	1220±40	120±5	135±5
Поперек	116±5	4,5±1,0	14±2

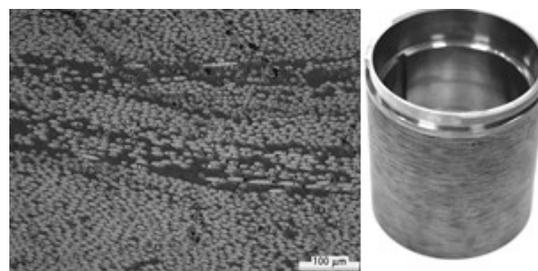


Рис. 2. Структура материала и вид готового изделия

Таблица 4. Режимы трибологических испытаний

Схема трения	Среда	Скорость скольжения, м/с	Контактное давление, МПа	$\mu_{тр}$
втулка-втулка	вода	0,05—20	50—0,5	0,04
	масло			0,01
	сух			0,2
кольцо-кольцо	вода	0,5—5	10—0,5	0,02
	масло			0,01

Выводы. Получен работоспособный термостойкий углепластик для пар трения-скольжения, работающих по прямой и обратной схеме с принципиально новыми свойствами, отвечающими требованиям эксплуатации.

1. Крыжановский В.К., Никитина И.В., Бахарева В.Е. Изучение влияния высокодисперсных и наноразмерных неорганических добавок на структурно-физические характеристики эпоксидных матриц и свойства трибопластов // Вопросы материаловедения. Науч.-техн. журнал. — 2009, 31(57), 66—75

**РАЗРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННОГО ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА
И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЗАЩИТНОЙ ПЛАСТМАССОВОЙ ОПЛЕТКИ**А.К. Новиков¹, А.В. Сиканевич², А.А. Давыдов¹, Н.Ф. Соловей³¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь;
otdel5mpri@tut.by²Республиканское унитарное предприятие СКТБ «Металлополимер», Гомель, Беларусь³Республиканское конструкторское унитарное предприятие «ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике» ПО «Гомсельмаш», Гомель, Беларусь

Интенсивное развитие производства автотракторной техники и сельхозмашин в Республике Беларусь требует пересмотра существующих традиций в технологии монтажа электрических кабелей, гидравлических и пневматических рукавов с целью повышения надежности и долговечности. На данном этапе для защиты от повреждений электропроводки, гидравлических и пневматических шлангов все более широко используют спиральные оплетки из полимерных материалов. Наиболее перспективна оплетка в виде непрерывной спирали, применение которой позволяет упростить операции укладки электрических кабелей, шлангов пневмо- и гидросистем, улучшить дизайн выпускаемого оборудования. Кроме этого, защитные спирали легко устанавливаются как до, так и после монтажа оборудования в целом. Защитные оплетки в виде спирали повышают также заметность рукавов, препятствуя возникновению опасных ситуаций, защищают шланги от кислот, масел, растворителей, ультрафиолетового излучения и статического электричества, обладают высокой гибкостью.

Проведенные исследования дали возможность выбрать марки полиэтилена и полипропилена в качестве базовых компонентов материала оплетки. Определены рецептуры материалов, которые позво-

ляют придать оплетке необходимые для эксплуатации свойства: стойкость к воздействию солнечного излучения, влажности, температуры, топлива, масла, антифриза и электролита, огнестойкость. Разработаны и утверждены технические условия «Материалы композиционные для оплетки “МКО”» ТУ ВУ 400084698.256-2013. Отработана технология изготовления композиционных полимерных материалов на современной производительной экструзионно-грануляционной линии и оформлен технологический регламент ТР № 52-2013 на изготовление материала.

Технология изготовления оплетки включает стадии экструзии пластмассовой ленты, придание ей цилиндрической винтовой формы в формообразователе, укладку в бухту в приемном устройстве. Разработаны и утверждены технические условия на оплетку «Оплетка полимерная» ТУ ВУ 400084698.255-2013.

Спроектировано, изготовлено, смонтировано оборудование для получения оплетки, изготовлены опытные партии оплетки. Эксплуатационные испытания оплетки, проведенные на комбайнах КВК-800-36 в сезонах 2011—2012 г.г. подтвердили ее эксплуатационную пригодность. Таким образом, подготовлено серийное производство оплетки.

ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИНСЕКТИЦИДНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК

К.С. Носов¹, Е.В. Лашкина², О.А. Ермолович²

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

²Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь; llashkina@mail.ru

Цель

Одной из современных тенденций в области разработки способов защиты сельскохозяйственных угодий и декоративных насаждений в городах от термического воздействия, а также сырья и промышленных товаров от биоповреждений является их упаковка и/или укутывание с помощью многофункциональных полимерных пленок [1]. Целью работы является изучение влияния активных функциональных наполнителей на физико-химические и эксплуатационные свойства инсектицидной полимерной пленки.

Объекты исследования

Используемые материалы — полиэтилен высокого давления (ПЭВД) марки 16803-070, пластификатор — диоктилфталат (ДОФ, ТУ 6-09-08-1504-83), активные наполнители — инсектициды класса пиретроидов (Кинмикс, Перметрин, Циперметрин), фосфорорганические (Актеллик), неоникатиноиды (Искра Золотая). Пленочные образцы изготавливали с помощью экструзионного агрегата НААКЕ RHEOCORD 90. С целью равномерного распределения инсектицида в перерабатываемой композиции и устранения слипания пленки в качестве дисперсного наполнителя был выбран CaCO_3 с размером частиц 3–5 мкм.

Результаты и их обсуждение

Термогравиметрический и дифференциальный термический анализ (ДТА) показали (рис. 1), что пики, характеризующие начало термодеструкции, в образцах ПЭВД/ДОФ с наполнителями регистрируются при следующих температурах, °С: Перметрин — 365, Циперметрин — 354, Кинмикс — 360, Актеллик — 366, Искра Золотая — 370. Эти значения несколько ниже температуры термодеструкции ПЭВД (371 °С), однако выше температуры термодеструкции инсектицидов (Перметрин — 200, Циперметрин — 290, Кинмикс — 180, Актеллик — 280, Искра Золотая — 270 °С). Присутствие и увеличение интенсивности второго пика на кривых ДТА инсектицидных пленок, сдвинутого в область более высоких температур (Перметрин — 390, Актеллик — 386, Циперметрин — 390, Искра Золотая 389 °С), свидетельствует о повышении термостабильности пленок. Введение в ПЭВД-матрицу инсектицидов из класса пиретроидов снижает интенсивность пиков, соответствующих термодеструкции, и делает композиционную пленку более устойчивой к окислению.

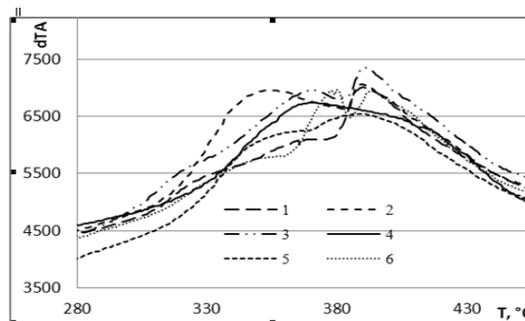


Рис. 1. Термограммы инсектицидных полимерных пленок: 1 — ПЭВД/ДОФ/Перметрин, 2 — ПЭВД/ДОФ/Циперметрин, 3 — ПЭВД/ДОФ/Искра Золотая, 4 — ПЭВД, 5 — ПЭВД/ДОФ/Актеллик, 6 — ПЭВД/ДОФ/Кинмикс

В композициях с Актелликом и Искрой наблюдается повышение интенсивности пиков термодеструкции, что, вероятно, обусловлено неоднородностью структуры пленок и, должно влиять на их деформационно-прочностные свойства. Три пика термодеструкции в пленках состава ПЭВД/ДОФ/Кинмикс соответствуют трем этапам окисления пленки, вследствие чего происходит расщепление сложноэфирных групп в молекулах инсектицида и пластификатора.

Введение CaCO_3 способствует смещению пиков термодеструкции на 10–15 °С в сторону более высоких температур и снижению их интенсивности. Это обусловлено улучшением структуры материала вследствие равномерного распределения дисперсного наполнителя в полимерной матрице, что подтверждает анализ топографии поверхности. Кроме того, введение CaCO_3 в композиции с различными инсектицидами приводит к увеличению степени кристалличности материалов на 8–12% за счет того, что мелкодисперсные частицы CaCO_3 являются зародышами кристаллизации. Соответственно повышаются (от 21% до 30%) прочностные характеристики пленок.

Выводы и рекомендации

Инсектицидные полимерные пленки, имеющие в составе активный функциональный наполнитель, найдут широкое применение в качестве многофункционального материала для защиты от биоповреждений.

1. Лашкина Е. В., Ермолович О. А., Винидиктова Н. С. Анализ рынка материалов обладающих инсектицидными свойствами // Композитные материалы. — 2009 (3), № 2, 45–50

ВЛИЯНИЕ ОРГАНОГЛИН НА СВОЙСТВА НАТУРАЛЬНОГО КАУЧУКА И ШИННЫХ РЕЗИН

С.С. Песецкий¹, Ж.С. Шашок², П.В. Васильев³, К.В. Вишневский²,
С.П. Богданович¹, В.Д. Федоров¹

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь;
otdel5mpri@tut.by

²Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

³ОАО «Белшина», Бобруйск, Беларусь

Цель работы — анализ влияния добавок слоистых глинистых силикатов (СГС), а также способов подготовки их поверхности и введения в натуральный каучук (НК) на свойства резиновых смесей и шинных резин и, кроме того, оценка влияния НК и способа введения в него наноглин на степень их эксфолирования.

В экспериментах используются пластикаты НК с добавками СГС на основе очищенного природного Na⁺-монтмориллонита (размер высушенных частиц не более 70 нм, емкость катионного обмена 97 мэкв/100 г, межплоскостное расстояние $d_{100} = 12,5 \text{ \AA}$), а также органоглины — СГС, подвергнутые модифицированию путем обработки частиц ПАВ — четвертичными аммонийными солями, содержащими жирные алифатические радикалы.

Пластикаты получены путем введения СГС в НК с последующим диспергированием (эксфолированием) частиц в расплаве НК при температуре $\approx 140 \text{ }^\circ\text{C}$ в условиях воздействия на расплав сдвиговых усилий.

Анализировали влияние типа и концентрации СГС на реологические свойства и термостабильность пластикатов НК, а также динамические механические свойства и состояние молекулярной сетки вулканизатов резин на их основе.

Как видно из табл. 1, добавки СГС оказывают существенное влияние на реологические свойства НК. В зависимости от способа подготовки поверхности и концентрации глин вязкость по Муни НК может, как возрастать, так и снижаться по сравнению с вальцованным НК (состав II). Причиной этому являются различия в степени эксфолирования частиц наноглин в объеме НК и влияние вида обработки их поверхности на совместимость с каучуком.

Таблица 1. Вязкость по Муни и коэффициент релаксации напряжений НК и НК/СГС

Состав	Вязкость по Муни, усл.ед.	K, отн.ед.
I. НК (пластикат П-2)	82,3	28,8
II. П-2 (после вальцевания)	38,1	48,0
III. НК/СГС(Н) — 10 м.ч.	47,4	43,2
IV. НК/СГС(Н) — 30 м.ч.	24,8	59,3
V. НК/СГС(01) — 10 м.ч.	48,6	40,9
VI. НК/СГС(01) — 30 м.ч.	34,7	47,3
VII. НК/СГС(02) — 10 м.ч.	49,8	42,2
VIII. НК/СГС(02) — 30 м.ч.	41,8	49,5
IX. НК/СГС(03) — 10 м.ч.	41,2	45,6
X. НК/СГС(03) — 30 м.ч.	15,2	57,2

Примечание. Н — не модифицированный (исходный СГС); 01, 02, 03 — СГС, обработанные различными ПАВ; K — коэффициент релаксации напряжений.

Анализ смесей НК/СГС, методом дериватографии (скорость нагрева $10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$), свидетельствует о том, что добавки СГС сказываются, главным образом, на характере окислительных реакций в НК в высокотемпературной области (в интервале температур $200\text{—}420 \text{ }^\circ\text{C}$). Независимо от типа СГС термостабильность НК сохраняется на достаточно высоком уровне (температура начала интенсивной деструкции на воздухе находится в пределах $270\text{—}280 \text{ }^\circ\text{C}$, что намного превышает температуру вулканизации резиновых смесей на основе НК).

Основной вклад в интеркалирование СГС в НК вносит стадия компаундирования в расплаве. Однако этот процесс продолжается и на последующих стадиях приготовления резиновой смеси и вулканизации: угловое положение рефлексов на рентгенограммах исходных СГС, композитах НК/СГС и конечных резинах отличаются (табл. 2).

Таблица 2. Значения 2θ для максимумов интерференций СГС в исходном состоянии, в смесях с НК и резинах

Анализируемый состав	Значения 2θ для интерференционных пиков (по мере снижения интенсивности пика)
Исходные глины	
СГС-Н	6,8
СГС-01	2,1; 4,5; 6,55
СГС-02	3,3; 7,0
СГС-03	4,2; 8,55
НК/СГС-10 м.ч. (компаундирование в расплаве)	
НК/СГС(Н) — 10 м.ч.	пики не обнаружены
НК/СГС(01) — 10 м.ч.	1,6; 4,2; 6,0
НК/СГС(02) — 10 м.ч.	1,6; 4,3; 6,3
НК/СГС(03) — 10 м.ч.	5,7
Вулканизат подканавочного слоя с 10 м.ч. СГС*	
НК/микродисперсный силикат — 5 м.ч.	2; 4; 6,3
НК/СГС(Н) — 5 м.ч.	1,9; 5,9
НК/СГС(01) — 5 м.ч.	2,0; 4,3; 6,4
НК/СГС(02) — 5 м.ч.	2,0; 6,0
НК/СГС(03) — 5 м.ч.	2,0; 4,6; 8,5

*Во все составы введено 5 м.ч. микродисперсного силиката

Установлено, что силикатные частицы способны образовывать сильную сеть наполнителя при относительно слабой связи с каучуком. Добавки органоимодифицированных СГС способствуют формированию вулканизационных сеток с параметрами, способствующими снижению теплоразогрева при эксплуатации шин.

ЭЛЕКТРЕТНЫЙ ЭФФЕКТ ПРИ КРЕЙЗИНГЕ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТНЫХ ВОЛОКОН

Л.С. Пинчук¹, А.А. Шевцов², К.В. Овчинников¹, С.В. Зотов¹

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь;
mpri-otdel8@mail.ru

²Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь

Цель

Полиэтилентерефталатные (ПЭТФ) волокна являются практически обязательным компонентом пряжи из хлопка и шерсти, придающим текстильным изделиям прочность, несминаемость и износостойкость. В ряде изделий применяется штапель — отрезки подвергнутых ориентационной вытяжке ПЭТФ-волокон длиной от 1 до 70 мм, в которые вводят функциональные добавки. Вытяжка сопровождается явлением крейзинга — деформацией морфологической структуры волокна с образованием в поверхностном слое системы поперечных трещин, стенки которых соединены фибриллярными тяжами [1]. Цель работы — исследовать физические эффекты, сопровождающие крейзинг вытягиваемых ПЭТФ-волокон.

Материалы и методы

В экспериментах использовали ПЭТФ-волокна, изготовленные по ТУ 6-13-0204077-92-88 в ОАО «Могилевхимволокно». Вытяжку волокон с заданной степенью ε осуществляли с помощью лабораторного стенда, моделируя процесс обработки волокна на промышленном штапельном агрегате.

Навески волокон массой 0,25 г подвергали электретно-термическому анализу на лабораторном устройстве [2], получая спектры термостимулированных токов (ТСТ). По спектрам определяли положение на температурной шкале экстремальных областей (пиков) в диапазоне до 100 °С.

Результаты и их обсуждение

Экспериментально установлено (рис. 1), что на спектре ТСТ исходных ПЭТФ-волокон имеется единственный токовый пик, располагающийся вблизи температуры стеклования $T_{ст}$ (кривая 1). Ориентационная вытяжка пучка ПЭТФ-волокон обуславливает вырождение на спектрах ТСТ этого пика. Также на стадии крейзообразования ($\varepsilon = 2,1$, кривая 2) происходит сдвиг пика (относительно его положения на спектре исходных волокон) в область низких температур. Начинаясь фибриллизация волокон ($\varepsilon = 2,8$, кривая 3) обуславливает дальнейший сдвиг и снижение интенсивности пика. При степени вытяжки, достаточной для разрыва волокон в растягиваемом пучке, на спектрах ТСТ ($\varepsilon = 4,3$, кривая 4) появляется незначительный по интенсивности максимум тока противоположной полярности. Сопоставив эти данные, можно утверждать, что при

крейзинге процессы деформации и электрической поляризации сопутствуют.

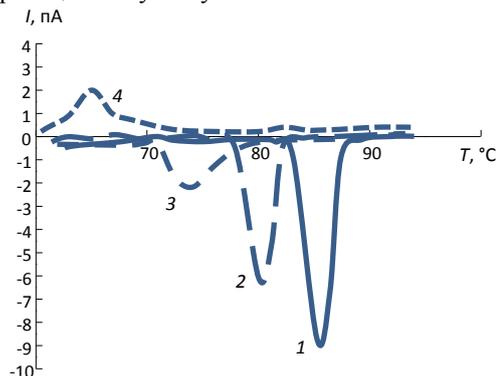


Рис. 1. Спектры ТСТ ПЭТФ-волокон: 1 — исходные волокна; 2 — $\varepsilon = 2,1$; 3 — $\varepsilon = 2,8$; 4 — $\varepsilon = 4,3$

Крейзинг сопровождается разрушением кристаллитов и межмолекулярных связей в структуре ПЭТФ. Это обуславливает возникновение собственных носителей электрических зарядов и их пространственное разделение, т.е. поляризацию. Тем самым, в волокнах формируется электретное состояние [3]. В то же время повышение степени вытяжки волокон ведет к увеличению дефектности, за счет чего облегчаются как релаксация поляризационного заряда при более низких температурах, так и рекомбинация его носителей в аморфизированных областях полимера.

Выводы и рекомендации

Обнаружена взаимосвязь между деформационным состоянием ПЭТФ-волокон и параметрами электретного состояния в них — в частности, зависимость между положением пика на спектре ТСТ, соответствующего $T_{ст}$, и степенью вытяжки волокон. Полученные данные позволяют предположить влияние поляризации на ввод в волокна модификаторов по механизму крейзинга. Результаты работы могут быть востребованы в промышленности синтетических волокон и смежных отраслях.

1. Волинский А. Ф., Бакеев Н. Ф. Структурная самоорганизация аморфных полимеров. — М.: Физматлит. — 2005
2. Способ проведения термостимулированной токовой спектроскопии диэлектрических материалов: патент РФ № 2210071. А.Г. Кравцов, В.А. Шаповалов, С.В. Зотов, В.А. Гольдаде. МПК G01N 25/18. Опубл. 10.08.03.
3. Электреты / Ред. Г. Сеслер. — М.: Мир. — 1983

**ТРИБОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА
ФРИКЦИОННЫЕ СВОЙСТВА АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОЛИМЕРОВ**

А.К. Погосян, А.Н. Карапетян, К.В. Оганесян

Государственный инженерный университет, Ереван, Армения; ankarapetyan@web.am

В настоящее время не вызывает сомнения тот факт, что при трении и изнашивании антифрикционных термопластичных полимерных материалов происходят различные трибохимические процессы, оказывающие существенное влияние на физико-механические и трибологические свойства материалов. Понимание характера этих процессов представляет большой научный интерес для целенаправленного создания новых износостойких самосмазывающихся полимерных материалов для металлополимерных и полимер-полимерных трибосопряжений, а также повышения эксплуатационных свойств современной триботехнической системы. Следует учесть, что особое внимание привлекают многотоннажно выпускаемые термопластичные полимерные материалы с развитой сырьевой базой. В связи с этим, в силу комплекса ценных физико-механических, трибологических и химических свойств исследовались следующие известные полимеры — сополимер формальдегида с диоксоланом (СФД), полиамиды 6 и 66 (ПА6, ПА66) и полифениленоксид (ПФО), находящие все большее применение в машиностроении и приборостроении для изготовления подшипников скольжения, зубчатых колес, направляющих станков и т.д.

Цель настоящей работы — исследование трибохимических процессов и антифрикционных свойств при трении в поверхностных слоях гетероцепных термопластичных полимерных материалов методами структурной трибомеханики.

Исследование поведения при трении гетероцепных полимеров показало, что их антифрикционные свойства в значительной мере определяются природой трибохимических процессов, которые зависят от химического строения звена, цепи макромолекулы, равновесности и структуры полимеров. Показано, что трение СФД, ПА6 и ПА66 сопровождается выделением тех же продуктов деструкции, что и при термораспаде, а при трении ПФО наблюдается разница между продуктами термо- и трибораспада. Установлено, что характер трибохимических процессов при трении исследуемых полимеров связан с трибораспадом по основной цепи полимеров, причем при повышении скорости скольжения, когда подвижность надмолекулярных образований возрастает, интенсивность выделения продуктов трибораспада макромолекул повышается, что способствует ухудшению физико-механических свойств «вторичной» структуры, а также антифрикционных свойств полимеров.

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ, СОДЕРЖАЩИХ ФТОРОРГАНИЧЕСКУЮ ДОБАВКУ

В.Д. Полоник, Н.Р. Прокопчук, Ж.С. Шашок

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь; volf505@mail.ru

В процессе хранения и, особенно, эксплуатации изделия из полимерных, в том числе и эластомерных, материалов подвергаются старению. При этом в эластомерных материалах протекает сложный комплекс физико-химических процессов под воздействием различных факторов (повышенная температура, УФ-излучение и др.), приводящих со временем к ухудшению основных физико-механических свойств резин. В связи с этим для практических целей особое значение имеет количественная оценка долговечности изделий из эластомерных материалов. Перспективы дальнейшего развития производства эластомеров и расширения областей их применения зависят не только от повышения качества и увеличения долговечности этих материалов, но и от точности определения сроков их надежной эксплуатации.

Целью данной работы было определение влияния фторсодержащих добавок на долговечность эластомерных композиций. Объектом исследований являлась наполненная композиция на основе бутадиен-нитрильного каучука БНКС-18. В качестве фторсодержащих добавок применялись порошкообразные продукты пиролиза и лазерной абляции политетрафторэтилена (ПТФЭ). Добавки вводились в дозировке от 0,1 до 0,5 мас.ч. на 100 мас.ч. каучука. Объектом сравнения являлась эластомерная композиция, не содержащая добавок.

Для определения влияния фторсодержащих добавок на долговечность указанных эластомеров, были проведены испытания в соответствии с методом, основанном на температурной зависимости разрушающего напряжения σ_r [1]. При этом, термо-механоокислительная деструкция материала осуществлялась в низкотемпературном интервале: от комнатной температуры до температуры релаксационного λ -переход, при дополнительном наложении на материал поля одноосного растягивающего механического напряжения, ускоряющего деструктивные процессы [2, 3].

В результате исследований было установлено,

что введение фторорганических добавок в состав эластомерных композиций на основе бутадиен-нитрильного каучука приводит к увеличению энергии активации термоокислительной деструкции, что способствует повышению долговечности резинотехнических изделий. Следует отметить, что значение показателя энергия активации термоокислительной деструкции у образцов, содержащих продукт пиролиза политетрафторэтилена выше, чем у образцов, содержащих порошкообразный продукт лазерной абляции ПТФЭ. При этом, максимальное значение долговечности достигается при дозировке обеих добавок, равной 0,4 мас.ч. (7,1 года у образцов, содержащих продукт пиролиза ПТФЭ, 6,8 года у образцов, содержащих порошкообразный продукт лазерной абляции ПТФЭ, тогда как у образца сравнения — 5,5 лет), при температуре эксплуатации, равной 60 °С.

Проведенные исследования по определению теплостойкости и относительной остаточной деформации сжатия (ООДС) показали, что использование исследуемых добавок приводит к увеличению теплостойкости и снижению уровня накопления ООДС.

Таким образом, используя экспресс-метод определения долговечности, была проведена количественная оценка энергии активации термоокислительной деструкции эластомерных композиций со фторсодержащими соединениями. Было установлено, что применение данных соединений в эластомерных композициях на основе бутадиен-нитрильных каучуков позволяет получать вулканизаты с более долговечной и термостойкой структурой.

1. Пат. 1791753 СССР. Способ определения долговечности эластомеров // А.Г. Алексеев, Н.Р. Прокопчук, Т.В. Старостина и др. Оpubл. 30.01.93
2. Пат. № 2468 РБ. Способ определения долговечности эластомерных композиций // Н.Р. Прокопчук, Г.Д. Кудинова, О.А. Асловская и др. Оpubл. 12.06.98
3. Прокопчук Н.Р. и др. Модификация свойств эластомерных композиций. — Минск: БГТУ. — 2012

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ КАПРОЛАКТАМА ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИАМИДА-6

В.П. Прокопович, И.А. Климовцова

НИИ физико-химических проблем Белгосуниверситета, Минск, Беларусь; prokopovich@bsu.by

Известно, что в процессе производства полиамида-6 при полимеризации капролактама образуются низкомолекулярные продукты олигомеризации ϵ -капролактама — димеры, тримеры, тетрамеры, пентамеры и т.д. [1]. Вследствие этого на предприятиях по производству полиамидных волокон накопилось огромное количество жидких и твердых отходов. Например, на ПТК «Химволокно» ОАО «Гродно Азот» в настоящее время имеется более 3000 тонн олигомеров ϵ -капролактама.

Регенерация лактама аминокaproновой кислоты (ϵ -капролактама) из отходов производства полиамидной смолы производится путем омыления последних водными растворами щелочей в количестве 5—10% от массы отхода при температуре 280—300 °С [2]. Известен также метод получения капролактама обработкой олигомеров перегретым водяным паром в присутствии ортофосфорной кислоты, TiO_2 , SiO_2 . [3, 4].

Целью настоящей работы является оптимизация процесса деструкции олигомеров капролактама, образующихся при производстве полиамида-6 ПТК «Химволокно» ОАО «Гродно Азот», с высоким конечным выходом (85—90%) ϵ -капролактама.

В результате проведенной работы отработаны технологические режимы деполимеризации олигомеров капролактама, содержащих 10% легколетучих веществ, в основном воды. Установлено, что деструкция олигомеров проходит при температуре 200—300 °С и вакууме 10—15 мм. рт. ст., и в результате реакции отгоняется ϵ -капролактама (температура кипения 130—160 °С при 10 мм. рт. ст.). Однако, выход конечного продукта после отгонки летучих веществ составляет всего 10—12%.

С целью интенсификации процесса деструкции твердых отходов производства полиамида-6 и увеличения его эффективности исследовано влияние различных катализаторов (TiO_2 , SiO_2 , H_3PO_4 , KOH , NaOH) и их концентраций на выход конечного продукта — ϵ -капролактама. Установлено, что введение TiO_2 , или SiO_2 в количестве 10% от исходного олигомера существенно не влияет на увеличение выхода ϵ -капролактама. Тогда как в присутствии KOH , NaOH эффективность деполимеризации олигомеров резко возрастает. Наибольший выход конечного продукта (до 90%) получен в присутствии 10 мас.% NaOH (KOH).

Разработана методика очистки ϵ -капролактама. Установлено, что очистка ϵ -капролактама — продукта деструкции отходов поликапроамида представляет собой двухстадийный процесс:

1) Капролактама перегоняют при температуре 120—170 °С (15—20 мм. рт. ст.). Получают белое кристаллическое вещество с температурой кипения 120—130 °С (10—15 мм. рт. ст.) и температурой плавления 69 °С. Однако, полученный ϵ -капролактама со временем при хранении изменяет цвет от белого до соломенно-желтого.

2) Для полноты очистки капролактама подвергают повторной фракционированной перегонке в присутствии 10% фосфорной кислоты при 120—150 °С (10—15 мм. рт. ст.), получают белое кристаллическое вещество с температурой плавления 69—70 °С, не изменяющее цвет при хранении.

В рамках задания ГНТП «Химические технологии и производства» подпрограммы «Малотоннажная химия» наработаны экспериментальные образцы ϵ -капролактама из отходов производства полиамида-6 ПТК «Химволокно» ОАО «Гродно Азот» и проведены испытания.

Найдено, что содержание летучих оснований в экспериментальных образцах ϵ -капролактама составляет 640 моль/г; перманганатный индекс — 8 ед.; температура кристаллизации — 70 °С. Проведенные испытания показали, что полученные образцы ϵ -капролактама соответствуют капролактама второго сорта по ГОСТ 7850-86.

Таким образом, в ходе исследований отработаны технологические режимы получения капролактама из его циклических олигомеров.

1. Глазко И.Л., Леванова С.В., Канаев А.В., Сабитов С.С., Петров Г.Г., Носикова Е.А. Оптимизация стадии дистилляции капролактама // Рос. хим. ж. — 2006 (L), № 3, 59—64
2. Патент РФ №2154059 на изобретение «Способ получения капролактама из полимеров, содержащих капролактама, (варианты) и устройство для его осуществления» / Михаэль Копитц, Алан Хандерман, Симон Йонес, 2000
3. Патент РФ №2167862 на изобретение «Способ получения капролактама» / Эберхард Фукс, Том Витцель, 2001
4. А.с. 883027 СССР «Способ получения ϵ -капролактама» / Сперанский А.А., Бычков Ю. Н., Дмитриева Л.А., Кунин И.З., Купленная В.А., Матулович Е.М., Рябцев А.Н., 1981

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ НА ОСНОВЕ СТИРОЛА И БОРОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

В.П. Прокопович¹, И.А. Климовцова¹, И.И. Уголев²

¹НИИ физико-химических проблем Белгосуниверситета, Минск, Беларусь; prokopovich@bsu.by

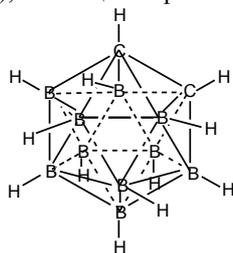
²Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Композиции на основе стирола с люминесцентными добавками широко используются в качестве сцинтилляторов в детекторах ионизирующего излучения [1]. В ядерной физике и дозиметрии ионизирующих излучений на ядерных реакторах необходимо использовать пластмассовые сцинтилляторы, включенные в детекторы, которые обладают высокой эффективностью регистрации тепловых нейтронов и при этом обнаруживают незначительную чувствительность к быстрым нейтронам и гамма-излучению.

Для повышения чувствительности сцинтиллятора к тепловым нейтронам в объем сцинтиллятора вводят атомы бора, причем эффективность регистрации тепловых нейтронов зависит от количества введенного бора. Обычно бор вводят в сцинтиллятор в виде борсодержащего соединения, растворимого в полимерной матрице — оксидов или борводородов (боранов) [2].

Целью данной работы является разработка состава и отработка технологических режимов полимеризации пластмассового сцинтиллятора на основе стирола, обеспечивающего высокий световой выход при одновременном повышении эффективности регистрации тепловых нейтронов.

В результате проведенной работы разработан пластмассовый сцинтиллятор на основе стирола, включающий люминесцентные добавки и борсодержащее соединение. В качестве борорганического соединения использован орто-карборан формулы $o-(1,2-C_2B_{10}H_{12})$, имеющий строение:



В качестве активирующей добавки использован *n*-терфенил (РТФ), в качестве смещающей спектр люминесцирующей добавки — 1,4-ди-[-2-(5-фенил-лок-сазолил)]-бензол (РОРОР). Установлено следующее соотношение добавок в стироле: РТФ — 2,0 вес.%; РОРОР — 0,1 вес.%; орто-карборан — 15,0 вес.%, 22 вес.%. Дальнейшее увеличение концентрации орто-карборана нежелательно из-за ограниченной растворимости борорганического соединения в стироле и выпотевания на поверхности полимера.

Следует отметить, что для предотвращения термоокислительной деструкции образующейся полимерной композиции термическую полимеризацию проводят в вакууме (500—600 мм.рт.ст.), а также в присутствии антиоксиданта — бис-2,2,6,6-тетраметил-4-пиперидинилфталата (ТС-66).

Отработаны режимы термической полимеризации стирола с добавками. Установлено, что введение орто-карборана позволяет проводить полимеризацию при более низкой температуре (85 °С), по сравнению с полимеризацией стирола с люминесцентными добавками (110—120 °С). После завершения полимеризации реакционной смеси температуру повышают поэтапно от 90 °С до 140 °С для уменьшения содержания остаточного мономера. После этого напускают в систему воздух, температуру снижают до комнатной со скоростью 20 °С/час для снятия внутренних напряжений. Получают светло-голубой цилиндрический блок полимерной композиции.

В рамках задания ГНТП «Химические технологии и производства» подпрограммы «Малотоннажная химия» наработаны экспериментальные образцы полистирольных сцинтилляторов с орто-карбораном. Результаты испытаний данных образцов, проведенные в БГУ, показали, что световой выход по отношению к антрацену составляет 35—36%, эффективность регистрации тепловых нейтронов — 55—57%.

Показано, что для увеличения световых выходов и эффективности регистрации нейтронов необходимо получить сцинтилляторы с более растворимыми в полимерной матрице борсодержащими соединениями, например аллилдодекабораном.

Разработанная технология позволяет получать высокоэффективные полимерные сцинтилляторы для регистрации медленных и тепловых нейтронов. Полистирольные композиции включают помимо традиционных люминофоров (*n*-терфенил, РОРОР), борорганических соединений 2,2,6,6-тетраметил-4-пиперидинилфталат (ТС-66) с целью предотвращения термоокислительной деструкции и увеличения срока эксплуатации полимерных сцинтилляторов.

1. Britvich I.G., Vasil'chenko V.G., Kirichenko V.N., Kuptsov S.I., Lapshin V.G., Soldatov A.P., Solov'ev A.S., Rykalin V.I., Chernichenko S.K., Shein I.V. New Polystyrene-Based Scintillators // Instruments and Experimental Techniques. — 2002 (45), no. 5, 644—654
2. Акоюн Г.Г., Гавалян В.Б. Новые борсодержащие полистирольные сцинтилляторы на основе 3-гидроксифлавона // Приборы и техника эксперимента. — 2005, № 2, 67—69

ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ МОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИТОВ

А.А. Рыбаков¹, Т.В. Пырх¹, М.В. Стефаненко¹, Л.А. Щербина², Ю.М. Можейко¹

¹ОАО «Могилевхимволокно», Могилев, Беларусь

²Могилевский государственный университет продовольствия, Могилев, Беларусь

Массовое использование нефтехимического сырья для производства синтетических полимерных биodeградируемых материалов и композитов на их основе является одной из причин загрязнения окружающей среды. Примером решения этой проблемы является использование при производстве таких материалов полимеров на основе молочной кислоты (МК) — полилактидов (PLA). PLA легко подвержен рециклингу, что делает его почти безотходным. Сырьем для производства МК служат биовозобновляемое углеводного сырья. Технология производства PLA в промышленном масштабе реализована в США, Японии, Европе. PLA все шире используется при изготовлении элементов транспортных средств, в изделиях медицинского и бытового назначения, при производстве текстильных и нетканых материалов, геотекстиля, тары и упаковки пищевого и технического назначения и других изделий.

С целью организации отечественных технологических процессов получения экологически безопасных биodeградируемых полимерных материалов на ОАО «Могилевхимволокно» совместно с УО «МГУП» ведутся работы по изучению синтеза полимеров на основе МК, а также формирования изделий на их основе. Разработаны необходимые для

этого экспериментальные стендовые установки.

Рассмотрен процесс получения сополимеров МК и ϵ -аминокапроновой кислоты, оценены их свойства. В качестве мономеров были использованы L-МК и ϵ -капролактam (КЛ). В качестве катализатора использован хлорид олова в количестве 0,5% от массы мономеров. Показано, что введение в реакционную среду до 1÷2% (от массы мономеров) КЛ увеличивает интенсивность роста температуры начала течения. Дальнейшее увеличение количества КЛ (свыше 5%) снижает темпы роста этого показателя. Сополиамидэфиры, синтезированные при содержании КЛ в реакционной среде от 0 до 10% (от массы мономеров), характеризуются близкими значениями температур стеклования и кристаллизации, однако с увеличением содержания КЛ значительно снижаются температуры плавления и деструкции. Это объяснено нарушением регулярности первичной структуры макромолекул и может быть использовано для направленной модификации эксплуатационных характеристик сополимеров МК.

Проводится дальнейшее уточнение технологических параметров синтеза сополимеров МК с целью модификации физико-химических и технологических свойств биodeградируемых PLA.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНЫХ ВОЛОКОН В ПРОЦЕССЕ ТЕРМООКИСЛЕНИЯА.А. Рыбаков¹, Л.А. Щербина², И.А. Будкуте², Ю.В. Огулик², Н.Н. Свинцицкая²¹ОАО «Могилевхимволокно», Могилев, Беларусь²Могилевский государственный университет продовольствия, Могилев, Беларусь

Исследованию физико-химических и технологических закономерностей получения термостойких волокнистых материалов на основе полиакрилонитрильных (ПАН) прекурсоров уделяется большое внимание, поскольку возрастающий на них спрос, в том числе для производства композиционных материалов, диктует необходимость решения ряда проблем: выбора оптимальных температурно-временных условий основных стадий технологического процесса, их интенсификации, создания материалов и энергосберегающих технологий и т.д.

В связи с этим, целью данной работы явилось исследование влияния температурно-временных режимов термоокислительной стабилизации волокна на основе терсополимера акрилонитрила (АН), метилакрилата (МА) и 2-акриламид-2-метилпропансульфокислоты (АМПС) на его деформацию. При этом объектом исследования явился прекурсор, полученный на стендовом оборудовании кафедры химической технологии высокомолекулярных соединений Могилевского государственного университета продовольствия, на основе поли[АН-со-МА-со-АМПС]. При изучении деформации ПАН волокна в ходе термоокисления были апробированы ряд температурно-временных режимов этого процесса, характеризующихся как плавным, так и ступенчатым набором температуры от 170 до 250—300 °С. Величина прилагаемой к исследуемому волокну нагрузки варьировалась от 20 до 160 сН/г.

Сравнительный анализ полученных результатов показал, что в случае термоокисления ПАН волокон под нагрузкой 160 сН/г (в некоторых случаях и 140 сН/г) в температурном диапазоне от 170 °С до 245—270 °С происходит удлинение исследуемых образцов на 25—35%. Дальнейшее повышение температуры до 250 °С и выше приводит к обрыву волокон под указанной нагрузкой.

В случае термоокисления ПАН волокон под меньшей нагрузкой (от 20 до 140 сН/г) во всем температурном диапазоне отмечена усадка образцов. Причем, по мере повышения температуры обработки величина усадки увеличивается (при температуре 200—210 °С — 7—12%, при температуре 245—300 °С усадка достигает 27—32%). Уменьшение нагрузки обуславливает более высокую деформацию образцов ПАН волокон при термоокислении. Проявление такого эффекта при температурах, превышающих температуру стеклования ПАН, обусловлено протеканием процессов расстекловывания полимерного субстрата и релаксации напряжений структурных элементов волокон. Скорость релаксации увеличивается с повышением температуры до 245—270 °С (в зависимости от температурного режима). Таким образом, величина нагрузки, прилагаемой в процессе термоокисления к волокну, обуславливает характер его деформации.

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ ЩЕЛЕВЫХ УПЛОТНЕНИЙ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ИХ ПОВЕРХНОСТИ

В.П. Селькин¹, С.В. Сосновский², А.С. Михневич¹

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

²ОАО «Гомельтранснефть Дружба», Гомель, Беларусь; selkin_v@mail.ru

Введение

В свете устойчивой тенденции к росту цен на энергоносители весьма актуален вопрос экономии энергоресурсов. Как показывает мировой опыт, значительная доля в их потреблении принадлежит насосным агрегатам большой мощности, используемым для добычи и магистральной транспортировки воды и нефти. При этом поддержание на должном уровне их энергетически эффективной работы вызывает ряд проблем. Наиболее значимой из них на настоящее время остается рост объемных потерь через щелевые уплотнения насосов в процессе эксплуатации.

Цель

Изучение возможности решения проблемы путем повышения износостойкости деталей щелевых уплотнений центробежных насосов методом электроэрозионного (электроискрового) легирования их поверхности [1, 2].

Материалы и методы

Объектом исследования являлись материалы, используемые при реализации разных направлений создания износостойких поверхностей на деталях щелевых уплотнений: закаленная сталь 40X (твердость ~ 500 НВ), хромосодержащая сталь Chromecore 410 (твердость 380 НВ), высокопрочный чугун ВЧ50 (твердость 155 НВ), алюминиево-никелевая бронза Selectarc Cu 118 (твердость 210 НВ). Методика их испытаний основана на использовании схемы вал (исследуемый материал) — частичный вкладыш (пластина твердого сплава ВК8). Однако контактная поверхность вкладыша находилась от поверхности ролика на расстоянии 200 мкм. В зазор подавались в соотношении 10:1 поток жидкости (дистиллированная вода) и абразивные частицы (карьерный песок дисперсностью 200—315 мкм). За счет вращения ролика происходило затягивание частиц в щелевой зазор и, как следствие, изнашивание материалов противоположных поверхностей. Подробно метод описан в работе [3]. Электроэрозионное легирование осуществляли на установке Элитрон-22А с использованием электродов из твердых сплавов: на основе карбида вольфрама ВК6 и кобальтохромового сплава Stellite 12.

Результаты и их обсуждение

Установлено, что легирование поверхности сталей, изначально обладающих высокой твердо-

стью и стойкостью к абразивному воздействию (линейный износ после 4-х часовых испытаний до 10 мкм), не дало существенного роста их износостойкости. По видимому ввиду незначительной толщины получаемого упрочненного слоя металла (до 80 мкм) по сравнению с размером проникающих в щелевой зазор абразивных частиц. В то же время легирование менее твердых и износостойких материалов (чугун и бронза, линейный износ 20 и более мкм) дало заметный положительный эффект. Особенно он значителен при упрочнении алюминиевой бронзы, которое позволило повысить микротвердость ее поверхности в 2,5—3 раза. Изменение линейного износа образцов после их легирования твердыми сплавами относительно значения износа не упрочненной бронзы представлено на рисунке.

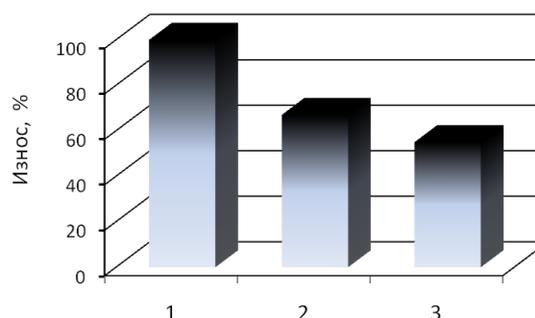


Рис. 1. Относительный линейный износ образцов бронзы Selectarc Cu 118: 1 — не упрочненная бронза; 2 — легированная твердым сплавом ВК6; 3 — легированная сплавом Stellite 12

Заключение

Таким образом, показана перспективность применения метода электроэрозионного легирования высокопрочных алюминиевых бронз при их использовании в качестве материалов деталей щелевых уплотнений центробежных насосов, перекачивающих жидкости, содержащие твердые абразивные частицы.

1. Лазаренко Н.И. Электроискровое легирование металлических поверхностей. — М.: Машиностроение. — 1976
2. Жарков П.Е., Тарельник В.Б. Повышение ресурса центробежных компрессоров электроэрозионным легированием рабочих колес // Химическое и нефтегазовое машиностроение. — 2003, № 1, 22—24
3. Сосновский С.В., Селькин В.П. Исследование износа в щелевых уплотнениях центробежных нефтяных насосов // Трение и износ. — 2012 (33), № 4, 386—392

Трибологические свойства монослоев Ленгмюра – Блоджетт триакоктановой кислоты

А.Е. Соломянский, Г.К. Жавнерко, В.Е. Агабеков

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

При миниатюризации прецизионных узлов трения необходимы ультратонкие и износостойчивые покрытия [1], в качестве которых можно использовать пленки Ленгмюра – Блоджетт (ЛБ) на основе амфифильных органических веществ, в том числе высокомолекулярных соединений [1, 2].

Цель данной работы заключалась в разработке новых защитных покрытий для узлов трения микроэлектромеханических систем (МЭМС) на основе монослоев ЛБ триакоктановой кислоты (ТК).

Экспериментальная часть

Монослои ТК формировали на кремниевых подложках прямоугольной формы площадью ~ 2 см² методом горизонтального осаждения на установке LT-103 при поверхностном давлении 30 мН/м [2].

Триботехнические испытания покрытий осуществляли на трибометре вращательного типа TRN 01-02638 (CSM Instruments, Швейцария), при следующих условиях: индентор — стальной шарик диаметром 5 мм, приложенная нагрузка 1 Н, радиус вращения: 2,27 мм. Скорость вращения образцов варьировали от 5 до 500 оборотов в минуту. Разрушение оксидного слоя кремниевой подложки наблюдается в диапазоне коэффициентов трения скольжения (k_f) стали по кремнию от 0,2 до 0,4 и при $k_f = 0,4$ испытания пленок прекращали [2].

Морфологию образцов изучали методом атомно-силовой микроскопии на сканирующем зондовом микроскопе Multimode (Veeco, США).

Результаты и их обсуждение

Монослой ТК при поверхностном давлении 30 мН/м содержит как участки «жидко-конденсированной» пленки, так и «твердые» кристаллы в виде доменов (рис. 1).

Толщина монослоя ТК по данным АСМ составляет 3 нм, а длина молекулы ТК — 3,8 нм, что также подтверждает отсутствие вертикальной ориентации гидрофобных «хвостов» в пленке ТК [2].

В диапазоне скоростей вращения от 200 до 500 оборотов в минуту наблюдается уменьшение износостойчивости монослоя ТК, возможно, из-за его деградации обусловленной ростом температуры в узле трения [3]. В тоже время от 5 до 100 оборотов в минуту возможно как удаление пленки ТК из зоны контакта поверхностей, так и перераспределение части слоя между ними (рис. 2).

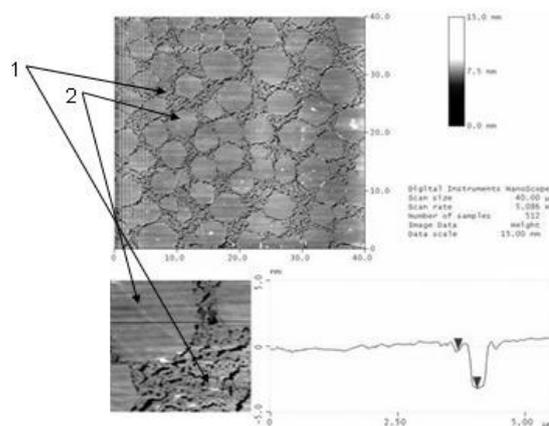


Рис. 1. АСМ изображение и профиль поперечного сечения, монослоя ТК с искусственным дефектом в его структуре 1 — участок «жидко-конденсированной» пленки, 2 — «твердый» кристалл

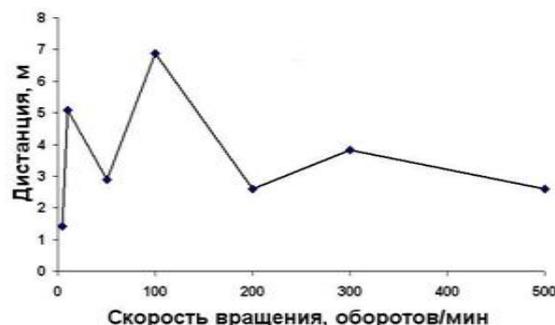


Рис. 2. Зависимость дистанции пройденной стальным индентором по кремниевой пластине до разрушения ее оксидного слоя от скорости вращения образцов

Выводы

Показано, что монослои триакоктановой кислоты могут быть использованы в качестве защитных материалов в узлах трения микроэлектромеханических систем соответствующего типа.

- Hao J. Self-Assembled Structures Properties and Applications in Solution and on Surfaces — London: CRC Press — 2010.
- Соломянский А.Е., Жавнерко Г.К., Каратай Н.В., Агабеков В.Е. Морфология пленок Ленгмюра – Блоджетт жирных кислот // Методологические аспекты сканирующей зондовой микроскопии: Сб. докладов IX междунар. конф. БелСЗМ. — 2010, 257—260
- Imura K. and Kato T. Robustness of monolayers on the solids; comparative studies on thermal, solvent, pH, and mechanical resistance among 1-layer LB films of cadmium arachidate and alkylchlorosilanes // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. — 2000 (171), 249 –264

ИЗНАШИВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ ЩЕЛЕВЫХ УПЛОТНЕНИЙ РАБОЧИХ КОЛЕС МАГИСТРАЛЬНЫХ НАСОСОВ И ОСНОВНЫЕ ПУТИ СНИЖЕНИЯ ЕГО ИНТЕНСИВНОСТИ

С.В. Сосновский¹, В.П. Селькин²

¹ОАО «Гомельтранснефть Дружба», Гомель, Беларусь

²Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь;
selkin_v@mail.ru

Введение

Одной из основных причин снижения подачи и напора магистральных нефтяных насосов является износ деталей щелевых уплотнений их рабочих колес. При этом может происходить существенное падение производительности насосов при сохранении неизменной потребляемой мощности [1]. Данная проблема наблюдается и в мощных насосах систем транспортировки неочищенной воды и канализационных стоков [2].

Цель

Изучение основных факторов влияющих на интенсивность изнашивания деталей щелевых уплотнений магистральных насосов. В прикладном плане — определение основных подходов выбора материалов и технологий их упрочнения при решении задач снижения износа щелевых уплотнений насосов, перекачивающих значительные потоки воды и нефти.

Результаты и их обсуждение

На основании лабораторных и эксплуатационных испытаний произведена оценка вкладов эрозивно-кавитационного, коррозионного и гидроабразивного видов изнашивания в суммарный износ деталей щелевых уплотнений рабочих колес магистральных нефтяных насосов наиболее распространенной в СНГ марки НМ. Установлено, что при перекачивании сырой нефти основным фактором, определяющим интенсивность изнашивания данных деталей, является механический износ вследствие абразивного воздействия попадающих в щелевой зазор твердых частиц. Аналогичный вывод сделан и при оценке изнашивания щелевых уплотнений центробежных насосов, перекачивающих потоки воды, содержащие абразивные частицы.

С целью определения основных подходов выбора материалов и технологий их упрочнения при решении вышеупомянутой задачи разработана оригинальная методика проведения испытаний на абразивную стойкость материалов деталей щелевых уплотнений центробежных насосов. Методика основана на использовании известной схемы трения вал — частичный вкладыш. Однако контактная поверхность вкладыша находится от поверхности ролика на некотором регулируемом расстоянии. В зазор по-

даются в определенном соотношении поток жидкости (вода, нефть) и абразивные частицы (песок) заданного фракционного состава. За счет вращения ролика происходит затягивание частиц в щелевой зазор и, как следствие, абразивное изнашивание материалов противоположащих поверхностей.

Проведены испытания материалов широко применяемых при производстве рабочих колес магистральных насосов и их уплотнительных колец. Сравнивали конструкционные углеродистые и литейные стали, чугун марок СЧ и ВЧ, аустенитную сталь Nitronic 60 и закаленные стали, в частности марки 40Х, а также материалы, используемые в качестве защитных покрытий стальных и бронзовых колес в области щелевого уплотнения: мартенситную хромсодержащую сталь Chromocore 410 и алюминиевую бронзу Selectarc Cu 118.

Отмечено отсутствие полной корреляции между твердостью испытанных материалов и их износостойкостью. Установлено, что в случае использования сталей, особенно закаленных, вода или нефть (по сравнению с сухим трением) могут приводить вследствие протекающих физико-химических процессов к интенсификации абразивного изнашивания поверхности щелевых уплотнений центробежных насосов. На основании проведенных исследований сделан вывод о предпочтительности нанесения на поверхность щелевых уплотнений магистральных насосов, перекачивающих жидкости (нефть, вода), содержащие твердые механические частицы, защитных покрытий из стойких к абразивному изнашиванию и водородному охрупчиванию сталей и сплавов, чем использование метода термического упрочнения поверхности этих деталей.

Более подробно с частью материалов этой работы можно ознакомиться в статьях [3, 4].

1. Гумеров А.Г., Гумеров Р.С., Акбердин А.М. Эксплуатация оборудования нефтеперекачивающих станций. — М.: Недра. — 2001
2. Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции. — М.: Стройиздат. — 1986
3. Сосновский С.В., Селькин В.П. Исследование износа в щелевых уплотнениях центробежных нефтяных насосов // Трение и износ. — 2012 (33), № 4, 386—392
4. Сосновский С.В., Селькин В.П. Влияние перекачиваемой среды на интенсивность изнашивания щелевых уплотнений центробежных насосов // Трение и износ. — 2013 (34), № 2, 171—174

КОМПОЗИТНЫЕ ПЛЕНКИ ПОЛИЭТИЛЕНА С БИНАРНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

Д.Э. Темнов, Е.Е. Фомичева, В.В. Бурда, Ю.А. Гороховатский

Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия;
tde@herzen.spb.ru**Актуальность и цель работы**

Целью работы являлось исследование электретных свойств активных биоразлагаемых упаковочных материалов на основе полиэтилена высокого давления (ПЭВД) с унарным или бинарным наполнителем.

Методы исследования

Исследования проводились методами термостимулированной деполяризации, изотермической релаксации потенциала, инфракрасной и диэлектрической спектроскопии.

Результаты исследований

Исследования методом изотермической релаксации потенциала показали, что добавление крахмала в полиэтилен привело к ухудшению электретных характеристик полимера. Для улучшения электретных свойств композитных образцов с крахмалом в них был добавлен аэросил. Такое изменение электретных свойств исследуемых образцов можно объяснить следующим образом. В крахмале в диапазоне температур 20—60 °С идет процесс преобразования крахмала в глюкозу с освобождением связанной воды, которой в крахмале достаточно много. О наличии связанной воды в композитах с крахмалом можно судить по присутствию на ИК-спектре полос в областях 1625—1650 см⁻¹ и 3400—3500 см⁻¹. Эти полосы свидетельствуют о наличии в полимере адсорбированной воды, связанной с силанольными группами водородной связью. Как известно из работ [1, 2], вода является катализатором процесса проводимости в полимерах, поэтому увеличение количества ее молекул приводит к увеличению проводимости и, как следствие, ухудшению электретной стабильности полиэтилена высокого давления. На поверхности внесенных в полимер частиц аэросила находятся силанольные группы, которые адсорбируют воду, вследствие чего молекул воды в объеме полимера становится меньше, а, значит, проводимость материала должна уменьшиться, а стабильность электретного состояния возрасти, что и наблюдается на кривых спада потенциала с течением времени. Исследования, проведенные методом диэлектрической спектроскопии, показали уменьшение тангенса диэлектрических потерь с увеличением частоты, что также характерно для процессов проводимости.

Внесение в полиэтилен аэросила приводит к появлению на спектрах термостимулированной деполяризации пика в области 55—60 °С. Причиной возникновения этого пика могут служить два фактора:

– частицы аэросила, имеющие на поверхности силанольные группы, либо захватывают на них протон, что приводит к образованию положительно заряженной группы [ОН₂]⁺, либо теряют протон, тогда они становятся отрицательно заряженными [O]⁻. При попадании такой частицы в электрическое поле происходит перемещение этих групп по поверхности частицы в соответствующих направлениях, что приводит к образованию макродиполя;

– накопление заряда на границе фаз полимер-наполнитель с его последующей релаксацией.

Аналогичные выводы можно сделать и проанализировав температурные зависимости тангенса диэлектрических потерь, на которых наблюдается пик в области 60 °С. Наблюдающийся ход кривой характерен для полярных диэлектриков, в которых происходят потери энергии за счет дипольной поляризации и за счет объемной проводимости. Аналогичный пик может наблюдаться и в композитных полимерах, в которых происходит релаксация Максвелла-Вагнера [3, 4].

Заключение

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод о синергетическом характере бинарного наполнителя (крахмал/аэросил) в объеме полиэтилена. Добавление аэросила в композитные пленки полиэтилена с крахмалом приводит к увеличению стабильности их электретного состояния, однако, наличие крахмала в объеме полимера позволяет существенно снизить процентное содержание аэросила без ухудшения электретных характеристик. Методами диэлектрической и термоактивной спектроскопии было обнаружено появление нового релаксационного процесса при добавлении в композит аэросила.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №12-02-31432

1. Гороховатский Ю.А., Анискина Л.Б., Викторovich А.С., Гороховатский И.Ю., Карулина Е.А., Тазенков Б.А., Темнов Д.Э., Чистякова О.В. Проявление спин-орбитального взаимодействия в колебательных спектрах полиэлектролитов — волокнистых и пленочных электретов на основе полипропилену и полиэтилену. // Известия РГПУ А.И. Герцена: Научный журнал. — СПб. — 2009, № 11(79), 47—61
2. Анискина Л.Б., Викторovich А.С., Галиханов М.Ф., Темнов Д.Э. Полиэлектrolитная модель волоконитов на основе полиэтилену и полипропилену. // Известия РГПУ им. А.И. Герцена: Научный журнал. — СПб. — 2010, № 135, 24—36
3. Сканава Г.И. Физика диэлектриков (область слабых полей). — Издательство: Техничко-теоретической литературы. — 1949
4. Блайт Э.Р., Блур Д. Электрические свойства полимеров. Пер. с англ. — М.: ФИЗМАТЛИТ. — 2008

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ИСКОПАЕМЫХ РЕСПУБЛИКИ
В КАЧЕСТВЕ АНТИПИРЕНОВ ДЛЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**В.В. Тимошенко¹, С.Н. Бобрышева², Д.Л. Подобед²¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь²Гомельский инженерный институт Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь, Гомель, Беларусь; bobrusheva@tut.by

Динамичное развитие современной энергетики, машиностроения, химической промышленности требует модернизации и разработки новых средств, материалов, методов обеспечения безопасной жизнедеятельности человека. Совершенствование существующих и создание принципиально новых технологий и средств предупреждения чрезвычайных ситуаций невозможно представить без привлечения потенциала как фундаментальной, так и прикладной науки отечественного и мирового уровня. Приоритетное направление в настоящее время получают методы нанотехнологий, которые по наиболее смелым прогнозам позволяют создавать любые материалы и изделия. Достижения в области нанотехнологий закономерно востребованы и при разработке современных средств предупреждения чрезвычайных ситуаций. Так эффективность антипиренов в значительной мере зависит от размера и удельной поверхности частиц. Использование наноматериалов с развитой удельной поверхностью, на порядок превышающей удельную поверхность материалов традиционной крупности, обеспечивающей резкое повышение их химической и адсорбционной активности, является положительным фактором для повышения эффективности этих материалов. В связи с этим в поверхностном слое частиц дисперсных материалов минеральной природы возможна прививка функциональных фрагментов, ингибирующих реакции горения, избирательно поглощающие токсичные вещества, ингредиенты горючего в газовой и конденсированной фазе. Перспективно применение таких материалов в составе антипиренов.

На территории Республики Беларусь существуют перспективные месторождения уникальных полезных ископаемых — глин бентонитового класса. Использование их в качестве минеральной матрицы позволяет решить комплекс задач, включающих эффективность, экономичность, экологическую безопасность материалов и средств для предупреждения чрезвычайных ситуаций.

Используя метод механо-химического диспергирования, совмещенный с модифицированием, комбинируя функциональные модификаторы, можно получать на основе бентонитовых глин материалы для различных технологий ликвидации чрезвычайных ситуаций. А введение в полимерную мат-

рицу модифицированной органическими соединениями нанодисперсной глины способствует повышению их огнестойкости. Одним из предполагаемых механизмов действия антипирена является образование барьера из слоев органоглины, выполняющих роль термоизоляторов и элементов, препятствующих выделению продуктов горения. В тоже время, такие антипирены вносят в повышение термостойкости полимерного материала характеристический вклад, обусловленный склонностью органического модификатора глины к коксообразованию при пиролизе. В связи с этим подбор органических модификаторов глины может осуществляться также с учетом как можно большего коксового числа. В качестве модификатора использовались соапстоки жирных кислот — промежуточный продукт жирового производства. Выбор его обусловлен наличием в молекулах жирных кислот функциональной группы, способной взаимодействовать со структурными единицами порообразующего минерала глины. Кроме того, есть сведения, что природные глинистые минералы традиционно проявляют свойства адсорбентов, в этой связи обосновано полагать, что действие антипиренов (органоглин) позволит уменьшить количество и состав газообразных продуктов горения полимеров, снижая их экологическую опасность. Достоинствами таких антипиренов также является хорошая совместимость с полимером, способность не оказывать влияние на технологические свойства материалов, доступность, дешевизна и простота применения.

Результаты экспериментальных работ показали снижение температуры воспламеняемости и тепловыделения при горении полимеров с добавками 2—5% разработанного антипирена.

1. Бобрышева С.Н., Буякевич А.Л., Боднарук В.Б., Кашлач Л.О. Дисперсные системы в технологиях предупреждения и ликвидации ЧС // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. — 2011 (6), № 1, 60—69
2. Копылов В.В., Новиков С.Н., Оксентьевич Л.А. и др. Полимерные материалы с пониженной горючестью / под ред. А.Н. Праведникова. — М: Химия. — 1986
3. Бобрышева С.Н., Журов М.М., Кашлач Л.О. Новые результаты разработки отечественных адсорбентов для нефти и нефтепродуктов // ЧС: образование и наука. — 2012 (8), № 1, 28—33

ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ТЕРМООКСИЛИТЕЛЬНУЮ СТОЙКОСТЬ ПОЛИЭТИЛЕНА, СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ПРОМЫШЛЕННЫМ АНТИОКСИДАНТОМ ФЕНОЛЬНОГО ТИПА

В.В. Тимошенко¹, Д.Г. Лин², Е.В. Воробьева²

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

² Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины, Гомель, Беларусь

Цель

Известно, что большинство минеральных наполнителей, увеличивающих механическую прочность полимерных композитов, при введении в ингибированный полимер существенно изменяют его устойчивость к термоокислению. Осуществляя выбор наполнителя и его концентрации для будущей композиции нужно учитывать этот аспект. Целью настоящего исследования явилось изучение влияния каталитически активных и пассивных наполнителей на термоокислительную стойкость полиэтилена, стабилизированного промышленным антиоксидантом фенольного типа ирганоксом 1010.

Материалы и методы исследования

В исследованиях использовали порошок полиэтилена низкого давления (ГОСТ 16338-85, марка 20308-005). В качестве наполнителей использовали оксиды алюминия (ГОСТ 8136-85), кремния (ТУ 2168-002-14344269-09), а так же порошки цинка (ГОСТ 18843-73) и меди (ГОСТ 4960-75). Из полимерных композиций путем термического прессования получали пленки (толщина 100 мкм), которые окисляли в термошкафах на кристаллах KBr при температуре 150 °С. Степень окисления образцов

характеризовали показателем экстинкции полосы поглощения 1720 см⁻¹ (ИК-спектроскопия). Индукционный период окисления (ИПО) полимера определяли по кинетическим зависимостям накопления в нем карбонильных групп.

Результаты и их обсуждение

На основе графических зависимостей продолжительности ИПО полиэтиленовых пленок содержащих 0,1 мас.% ирганокса 1010 от концентрации наполнителей. Установлено, что каталитически активные к процессам окисления наполнители по-разному влияют на термоокислительную стойкость полученных пленок: медь — сокращает продолжительность ИПО полимерных образцов, а цинк — увеличивает ИПО. При использовании неактивных к процессам окисления наполнителей термоокислительная стойкость полимера также изменяется по-разному. В случае применения оксида алюминия — она снижается, оксида кремния — повышается. Таким образом, при наполнении стабилизированного полиэтилена термоокислительная стойкость получаемого композита зависит не только от активности наполнителя к процессам окисления, но и от его химической природы.

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА И УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ЛЮМИНОФОРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

О.В. Урецкая¹, Н.Е. Дробышевская¹, Е.Н. Подденежный¹, Е.Е. Трусова², Н.М. Бобкова²

¹Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Гомель, Беларусь

²Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь.

В НИЛ ТKN ГГТУ им. П.О.Сухого было проведено исследование состава и структуры люминофорных покрытий на стеклянных подложках, усовершенствована методика нанесения шликера на поверхность пластин и определены оптимальные режимы термообработки.

Методы исследования

Люминофорные покрытия получены на основе наноструктурированного порошка иттрий-алюминиевого граната, легированного церием, синтезированного методом термохимических реакций (горение азотнокислых солей с использованием в качестве горючего сахарозы или уксусной кислоты). Основой для композиции служило легкоплавкое стекло состава $\text{BaO-Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O-SiO}_2$, синтезированное в БГТУ с температурой размягчения не более 600 °С. В некоторых экспериментах в композицию вводится порошок кварцевого стекла в качестве диффузно-рассеивающего компонента, улучшающего светотехнические характеристики. Люминофорная композиция готовится смешиванием компонентов с изопропанолом, далее шликер наносится поливом на стеклянную подложку и высушивается при температуре 60—100 °С. Стеклоподложка с покрытием помещается в муфельную печь на кера-

мическую подставку, нагревается до температуры 600 °С и выдерживается в течение 30—60 минут, затем медленно охлаждается с печью до комнатной температуры. В качестве подложки используются как гладкие, так и рифленые прозрачные стекла.

Результаты и осуждения

Проведенные исследования показали, что люминофорное покрытие, формируемое с тонким кварцевым порошком со средними размерами частиц менее 0,2 мкм, имеет меньшее количество пор и не содержит трещин, а получаемое с более крупным наполнителем (0,5 мкм) — беспористое, но имеет более грубую поверхность. Фотопреобразователь, изготовленный на рифленой подложке без введения дополнительного светорассеивающего компонента требует меньшего расхода дорогостоящего люминофора и сохраняет равномерность излучения. При изменении соотношения стекло-люминофор (люминофора больше 40% по объему) в покрытии появляются трещины и люминофорное покрытие непригодно для применения.

Установлена зависимость коэффициента пропускания подложки с покрытием от толщины пленки и состава наносимого шликера

ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫЕ ГИДРОГЕЛИ НА ОСНОВЕ ГИДРОЛИЗАТА ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНОГО ВОЛОКНА, СШИТОГО ПРОДУКТАМИ ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ПЕРСУЛЬФАТА АММОНИЯ

Е.К. Фомина¹, О.В. Кастюкевич², Л.Б. Бражникова¹,
Е.А. Семененко¹, Ю.И. Матусевич¹, А.П. Майсеёнок³

¹Учреждение БГУ «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», Минск, Беларусь; famina@bsu.by

²Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

³Двинская экспериментальная лесная база Института леса НАН Беларуси, п. Подсвилье, Беларусь

Гидролизат полиакрилонитрильного волокна (ГПАН) используется при производстве биотехнических средств для предпосевного инкрустирования семян и обработки вегетирующих растений [1]. Путем радиационного или химического сшивания макромолекул ГПАН могут быть получены полиэлектролитные гидрогели (ПЭГГ) [2, 3]. Ранее было показано [3], что при термической обработке 35% водно-солевого раствора ГПАН, содержащего добавки персульфата аммония (ПСА), могут быть получены ПЭГГ с высокой водоудерживающей способностью.

Цель

Изучение процесса гелеобразования в водно-солевых растворах ГПАН различной концентрации в зависимости от содержания ПСА в растворе, а также определение водоудерживающей способности полученных ПЭГГ.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования использовались растворы препарата ВРП-3 (ТУ РБ 00280198.024-99) в воде с содержанием сухого продукта, равным 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 и 40 мас.%. В качестве сшивающего агента применялся ПСА марки «ХЧ». Концентрация ПСА составляла 1—10% от массы сухого остатка. Полученные растворы нагревали при 90 °С в течение 2 ч.

Величины степени набухания (α) и гель-фракции (δ) определяли гравиметрическим методом.

Результаты и их обсуждение

Установлено, что эффективность химического сшивания макромолекул ГПАН увеличивается по мере возрастания содержания полимера и сшивающего агента в водно-солевом растворе (рис. 1). Водоудерживающая способность полученных ПЭГГ увеличивается с уменьшением степени сшивания. ПЭГГ с водопоглощением, достигающим 1000 г/г, формируются в растворах препарата ВРП-3 с содержанием сухого продукта, равным 20 мас.%, при использовании ПСА в количестве 5% от массы сухого продукта.

Композиции на основе препарата ВРП-3 с добавками продуктов термического разложения ПСА

могут быть использованы в качестве биотехнических средств для предпосевного инкрустирования семян сельскохозяйственных культур и обработки вегетирующих растений. Показана высокая эффективность применения полученных композиций и для предпосевной обработки семян лесных культур (сосны и ели), а также при обработке корневых систем ели после выкопки. В полевых испытаниях, проведенных ГЛХУ «Двинская экспериментальная лесная база Института леса НАН Беларуси», установлено, что обработка корневых систем ели после выкопки увеличивает приживаемость растений и выход посадочного материала на 10%.

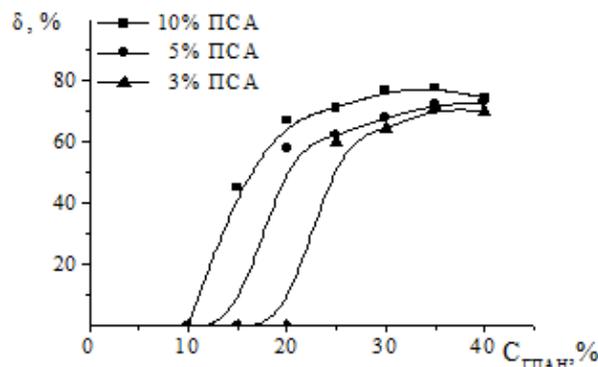


Рис. 1. Зависимость величины гель-фракции ПЭГГ от концентрации ГПАН при различном содержании ПСА

- Круль Л.П., Мамаев О.И., Фомина Е.К., Бражникова Л.Ю. Препарат «Гисинар» — новое биотехническое средство для предпосевной обработки семян зерновых культур и льна // Белорусское сельское хозяйство. — 2007, № 3, 40—42
- Рыбак А.С., Гринюк Е.В., Климец Т.Г., Поликарпов А.П., Бражников М.М., Шадыро О.И., Круль Л.П. Радиационное сшивание сополимера акриламида с акрилатом натрия в водных растворах // Химия высоких энергий. — 2003 (37), № 2, 265—267
- Гринюк Е.В., Фомина Е.К., Якимцова Л.Б., Круль Л.П. Новые пленкообразующие биотехнические средства сельскохозяйственного назначения на основе химически сшитых функционализированных полиакриламидов // Свиридовские чтения: Сб.ст. 2012. Вып. 8 / Редкол.: Т.Н. Воробьева [и др.]. ISBN 978-985-518-714-2 — Мн.: БГУ. — С. 194—201

МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИМЕРОВ ПРИ РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ

А.А. Харченко, Д.И. Бринкевич, М.Г. Лукашевич, В.Б. Оджаев

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Цель работы

Выявление особенностей модификации полимеров при ионной имплантации и γ -облучении.

Методика эксперимента

Промышленные пленки полиимида (ПИ), полиэтилентерфталата (ПЭТФ) и полиэфирэфиркетона (ПЕЕК) были имплантированы ионами Ni, Ag, Mn, Fe, Co и В с энергиями 30—100 кэВ в интервале доз $1 \cdot 10^{15}$ — $1,5 \cdot 10^{17}$ см⁻² в остаточном вакууме 10^{-5} торр на имплантаторе ИЛУ-3. Во избежание перегрева и деструкции образца в процессе имплантации использовалась кассета, обеспечивающая эффективный сток ионного заряда с поверхности полимера и плотный контакт плёнок с металлическим основанием, охлаждаемым водой. При таких условиях в процессе имплантации температура образцов не превышала 350 К. Облучение полимерных пленок γ -квантами проводилось на установке МРХ- γ -25М с источником ⁶⁰Co. Мощность поглощенной дозы составляла $0,36 \pm 0,008$ Гр/с. Интервал поглощенных доз 6—2900 кГр. Морфология поверхности модифицированной имплантацией полимерной плёнки исследовалась методом атомно-силовой микроскопии при комнатной температуре в полуконтактном резонансном режиме на частоте 145 кГц на приборе Solver P-47. Использовались кантеливеры серии NSG 01 с радиусом закругления 10 нм.

Результаты и их обсуждение

Облучение γ -квантами приводит к появлению на поверхности полимерной пленки конусообразных выступов высотой до 40 нм и диаметром основания до 200 нм. Плотность таких образований достигает 2 мкм⁻². Шероховатость при этом изменилась незначительно. Аналогичная модификация поверхности полимера наблюдалась и при низких дозах имплантации $1 \cdot 10^{15}$ — $1 \cdot 10^{16}$ см⁻² ионов металлов. При увеличении дозы высота подобных конусообразных образований уменьшается, а диаметр их основания увеличивается до 800 нм. При этом увеличивается как количество таких образований на единице площади, так и средняя шероховатость, а также начинается их перекрытие. При дозе имплантации $\sim 1 \cdot 10^{17}$ см⁻², вышеописанные неоднородности поверхности в виде отдельных конусообразных островков полностью сливаются, превращаясь в единую лабиринтоподобную структуру с максимальным значением шероховатости $R_a = 17$ нм. Надо отметить, что при этой дозе имплантации наблюдается

корреляция между морфологией поверхности имплантированного полимера и лабиринтоподобной структурой металлоуглеродных кластеров внутри полимерной матрицы.

Изменение морфологии поверхности имплантированного полимера (*swelling*) — может быть обусловлено действием различных факторов: 1) образование углеродных и металлических нанокластеров в матрице полимера; 2) выхода газообразных продуктов деструкции полимера; 3) локальным разогревом матрицы в области ионного трека; 4) процессами распыления приповерхностного слоя полимера. Указанные факторы обуславливают изменение морфологии поверхности полимера при высоких дозах имплантации, однако не способны, на наш взгляд, адекватно объяснить формирование при низкой дозе на имплантируемой поверхности полимерной пленки конусообразных образований с высотой до 40 нм и диаметром основания до 200 нм.

Объяснить формирование конусообразных образований можно, принимая во внимание особенности молекулярной структуры и специфику радиационного воздействия на полимеры. Во-первых, в полимерах существуют как области с высокой степенью «кристалличности», в которых макромолекулы достаточно сильно связаны между собой, так и аморфные области с пониженной плотностью. Их размеры обычно составляют от десятков нанометров до нескольких микрометров. Во-вторых, радиационная деструкция полимеров приводит к значительному разбуханию полимера. В наших экспериментах это было выражено как процесс коробления образцов при дозах формирования конусообразных образований на поверхности. В третьих, имеет место высокая локальная неоднородность процессов радиационно-индуцированной деструкции и сшивания полимеров — радиационные явления наиболее интенсивно протекают в аморфных областях. Учитывая вышесказанное, можем предположить, что в результате ионной имплантации, процессу разбухания, в первую очередь, подвержены аморфные области полимера, что способствует выталкиванию «кристаллических» включений, «плавающих» в аморфной фазе. Находящиеся до облучения вблизи поверхности «кристаллические» включения полимера вследствие эффекта «выталкивания» могут формировать конусообразные образования с субмикронными размерами, наблюдавшиеся на АСМ изображениях.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ПАРЕ ТРЕНИЯ ПРИ НЕИДЕАЛЬНОМ ТЕПЛОВОМ КОНТАКТЕ

М.Ю. Целуев

Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь;
tseluev@gmail.com

В работе сформулирована безразмерная математическая модель двумерного нестационарного температурного поля в паре ролик-вкладыш при граничном трении, представляющая собой краевую задачу теплопереноса в системе двух сопряженных тел конечных размеров. Предполагается, что в области контакта твердых тел действует источник фрикционного тепловыделения, образованный их поверхностными слоями нулевой толщины, а присутствие граничного слоя учтено введением термического сопротивления теплопереносу через границу контакта [1]. Теплообмен поверхностей пары трения с окружающей средой моделируется при помощи граничного условия третьего рода.

Теоретические исследования закономерностей формирования температурного поля в паре ролик-вкладыш при стационарных режимах трения выполняли путем численного решения разработанной математической модели методом Петрова-Галеркина для конечных элементов [2]. Для оценки величины термической проводимости контакта в зависимости от шероховатости поверхностей контактирующих тел и давления использовали методику [3]. Расчет коэффициентов теплоотдачи поверхностей пары трения в окружающей среду осуществляли согласно полуэмпирическим зависимостям, приведенным в [4]. Экспериментальные исследования теплового режима работы пары трения выполняли на машине трения 2070 СМТ-1 с учетом рекомендаций РД 50-662-88. Материалом ролика являлась сталь 45 (ГОСТ 1050), а частичного вкладыша — фрикционный материал ВОМ-55 (ТУ РБ 400084698.111). Плотность материалов пары трения определяли методом гидростатического взвешивания (ГОСТ 15139) на аналитических весах XS-204, удельную теплоемкость и теплопроводность — методом динамического с- и λ -калориметра (ГОСТ 23630.1 и ГОСТ 23630.2) на приборах ИТ-с-400 и ИТ- λ -400 соответственно.

Результаты численного анализа показали, что абсолютные значения развиваемых в трущихся элементах безразмерных температур прямо пропорциональны величине критерия Кирпичева K_i , который является масштабным фактором и не определяет закон пространственно-временного распределения температурного поля в паре трения.

Установлено, что при числах Фурье $Fo < 30$ наблюдается неустойчивый тепловой режим работы, характеризующийся уменьшением скорости роста температуры в элементах пары трения с рос-

том числа Fo . Максимальная величина безразмерной температуры θ/K_i в паре трения, наблюдающаяся на поверхности трения вкладыша, на этапе стационарного теплового режима работы находилась в диапазоне 1,97...39,67. Этот параметр линейно снижается с ростом коэффициента разделения удельной мощности трения β от 0,25 до 0,75 и нелинейно падает при увеличении относительной тепловой проводимости фрикционного контакта α в интервале 0,4...400,0. При этом значение θ/K_i на контактной поверхности ролика, составившее 0,76...1,89, линейно увеличивается с ростом β и нелинейно растет при повышении α .

Наибольший перепад безразмерных температур $\Delta\theta/K_i$ по радиальной координате пары трения, достигающий 1,27...29,84, наблюдается для вкладыша, что объясняется относительно низким значением коэффициента теплопроводности фрикционного материала по сравнению со сталью. Величина $\Delta\theta/K_i$ по радиальной координате ролика выражена значительно меньше и составила 0,05...0,13. Значение $\Delta\theta/K_i$ по радиальной координате ролика линейно растет с увеличением параметра β и нелинейно с повышением α . Напротив, для вкладыша величина $\Delta\theta/K_i$ линейно падает с увеличением параметра β и нелинейно снижается с повышением α .

Результаты экспериментальных исследований показали, что отклонение расчетных данных от измеренных значений температуры в контрольной точке на этапе установившегося теплового режима работы пары трения не превышает 15%, а фрикционный контакт ролика и вкладыша характеризуется высокими значениями относительной тепловой проводимости ($\alpha \geq 400,0$).

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (код проекта T12P-184).

1. Berry G.A. and Barber J.R. The Division of Frictional Heat — a Guide to the Nature of Sliding Contact // Transactions of the ASME. Journal of Tribology. — 1984 (106), no. 3, 405—415
2. Yu C.C. and Heinrich J.C. Petrov-Galerkin Methods for Multi-dimensional, Time-Dependent, Convective-Diffusive equations // International Journal for Numerical Methods in Engineering. — 1987 (24), no. 11, 2201—2215
3. Mikic B.B. Thermal Contact Conductance: Theoretical Considerations // International Journal of Heat and Mass Transfer. — 1974 (17), 205—214
4. Wong H.Y. Handbook of Essential Formulae and Data on Heat Transfer for Engineers. — London, New York: Longman. — 1977

МОДЕЛЬ ПРОПИТКИ ДРЕВЕСИНЫ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТЬЮ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

А.Е. Чаадаев, В.И. Лисицын

Воронежская государственная лесотехническая академия, Воронеж, Россия

Известно, что процесс пропитки древесины протекает за время, сравнимое со временем подъема давления в автоклаве ввиду небольших размеров заготовок для модифицирования древесины. Поэтому в настоящей работе рассматривается процесс пропитки древесины в рамках временного уравнения Навье-Стокса, когда давление зависит как от времени, так и от координат. Предполагается, что давление нарастает со временем по линейному закону, а вдоль капилляра убывает по экспоненциальному, т.е. для давления P имеем:

$$P(t, z) = (p_0 + ct)e^{-z^2} \quad (1)$$

Решение уравнение Навье-Стокса с учетом начальных условий для градиента давления, опреде-

ляемого из соотношения (1) принимает вид:

$$v_z(t, z) = \int_0^t \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\frac{\partial}{\partial \zeta} P(\tau, \zeta) \exp\left(-\frac{(\zeta - z)^2}{4a^2(t - \tau)}\right)}{2a\sqrt{\pi(t - \tau)}} d\zeta d\tau. \quad (2)$$

Полученное выражение из соотношения (2) для скорости движения фронта жидкости позволяет проанализировать зависимость показателя скорости от реальных параметров древесины и жидкости.

Результаты работы могут быть использованы при пропитки заготовок в виде втулок из прессованной древесины.

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ДИАЗОПРОИЗВОДНОГО САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ И ОРГАНИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ

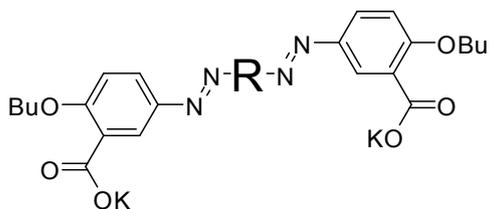
Ж.Д. Чапланова, А.А. Муравский, В.Е. Агабеков, В.С. Микулич, Е.А. Грачева

Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Анизотропные пленки на основе органических дихроичных красителей применяются в фототехнологии производства разнообразных поляризационно-оптических элементов и устройств [1].

Цель исследования — разработать методику получения и установить морфологию и спектрально-поляризационные свойства многослойных композиционных покрытий, содержащих анизотропные слои дихроичного азокрасителя, производного дисалициловой кислоты, и изотропные слои оптически прозрачного органического полимера.

Материалы и методы



АВА

Для получения изотропных слоев использовали сополимер стирола с циклогексадиеном (5:95 мас.%) (СЦГД). Растворителем для СЦГД служил толуол.

Тонкопленочные покрытия формировали послойным нанесением из соответствующих растворов красителя и полимера при центрифугировании. Для изучения фотоиндуцированной оптической анизотропии покрытий их облучали линейно поляризованным светом (синий светодиод с длиной излучения 450 нм и интенсивностью 15 мВт/см²).

Результаты и их обсуждение

Определены спектрально-поляризационные характеристики покрытий в зависимости от скорости центрифугирования, температуры сушки слоев, природы растворителей и концентрации красителя и полимера. Установлено, что введение АВА в матрицу поливинилпирролидона (ПВП) улучшает качество многослойных покрытий. Пленки АВА получали из 5%-ных растворов ПВП в метаноле. В спектре поглощения АВА, диспергированного в ПВП, наблюдался батохромный сдвиг λ_{\max} относительно спектра индивидуального красителя, что может свидетельствовать о взаимодействии АВА с ПВП. Оптическая плотность покрытий линейно зависит от числа слоев красителя. При облучении композиционных покрытий линейно поляризованным светом наблюдался дихроизм поглощения (рис. 1), обусловленный обратимой транс-цис-изомеризацией

молекул азокрасителя.

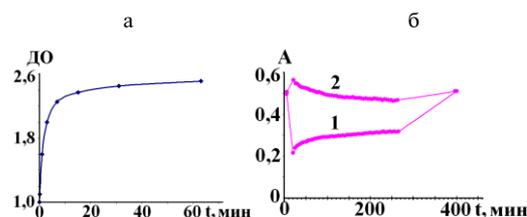


Рис. 1. Кинетика изменения дихроичного отношения (ДО) покрытия, содержащего 3 слоя АВА, при облучении линейно поляризованным светом (а) и оптической плотности поляризованного покрытия в темновом процессе (б): б — покрытие поляризовано в параллельном (1) и перпендикулярном (2) направлениях к поляризации света

Наличие цис- транс-изомеров АВА в матрице ПВП подтверждается присутствием изобестической точки в спектрах поглощения многослойного покрытия при облучении полным светом ртутной лампы сверхвысокого давления ДРТ-1000. В темновом процессе спектр поглощения покрытия восстанавливается.

Пленки АВА в матрице ПВП на подложке из монокристаллического кремния (рис. 2, а) и слое СЦГД (рис. 2, б) имели гладкую однородную поверхность и характеризовались значением шероховатости $1,7 \pm 0,1$ и $3,7 \pm 0,2$ нм соответственно.

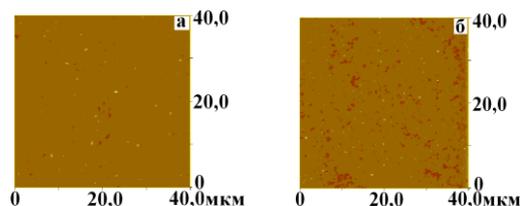


Рис. 2. АСМ-изображения топологии поверхности пленки АВА в матрице ПВП на кремниевой подложке (а) и слое СЦГД (б)

Выводы

Разработана методика получения многослойных композиционных покрытий на основе дихроичного азокрасителя АВА и оптически прозрачного СЦГД. Изучена кинетика фотоиндуцированной анизотропии поглощения покрытий и установлено, что их дихроизм обусловлен обратимой транс-цис-изомеризацией молекул азокрасителя в матрице ПВП.

1. Микулич В. С., Муравский Ал. А., Агабеков В. Е., Муравский Ан. А. Использование «зеленой технологии» при создании анизотропных пленок для ориентации жидких кристаллов // Тезисы докладов Первой всероссийской конф. по жидким кристаллам. Иваново, Россия. 17—21 сентября 2012, — 2012, 111

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭМУЛЬСИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

А.Л. Чеховский¹, Е.А. Цветкова¹, В.А. Гольдаде^{1,2}

¹Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь

²Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси,
Гомель, Беларусь; mpri-otdel8@mail.ru

Постановка задачи и цель работы

Загрязнение пресных вод вызывает обеспокоенность во многих странах мира. В водных экосистемах вследствие антропогенного воздействия ухудшается качество воды, происходит резкое негативное изменение структуры водных биоценозов, снижается биоразнообразие. Загрязнение поверхностных вод различными веществами, в том числе углеводородами, вызвано, прежде всего недостаточной эффективностью работы очистных сооружений, а также несанкционированными сбросами загрязняющих веществ в водоемы. Качество воды в значительной степени ухудшают смывы почв с территорий, примыкающих к рекам и озерам, эксплуатация автотранспорта на водосборных территориях, а также техногенные аварии. Для Гомельского региона актуальны разработка и внедрение новых методов оценки загрязненности водоемов и ведения экологического мониторинга.

Изменение состава воды в водоемах всегда сопровождается изменением комплекса электрофизических свойств. Молекулы углеводородов являются гидрофобными, в связи с чем их участие в процессах поляризации-деполяризации дисперсных систем носит особый характер. В связи с этим **целью работы** было изучение электрофизических свойств эмульсий углеводородов.

Методы исследования

В экспериментах по оценке степени загрязненности углеводородами проб воды использовали метод изотермической деполяризации. Принцип действия компьютеризированного программно-аппаратного анализатора [1] состоит в наложении электрического поля в изотермических условиях на исследуемую дисперсную систему. После выключения поляризующего тока регистрируют кинетику спада тока, обусловленного релаксацией поляризационного заряда в образце. Для исследования проб воды сконструирована измерительная ячейка и плоскопараллельные электроды. Данные регистрировались в виде массива значений напряжения в системе за определенный промежуток времени с выведением графических результатов на монитор компьютера. Левая часть полученной таким образом кривой характеризовала процесс поляризации, правая — деполяризации исследуемой системы. Дальнейшую статистическую обработку данных проводили с помощью MS Excel 2007 и Statistica 7.0

Результаты и их обсуждение

Выполнено 3 серии экспериментов.

Первая серия экспериментов состояла в оценке изменений электрофизических свойств дистиллированной воды. Установлено, что система приходит в относительно устойчивое состояние через 4 часа, а спустя сутки состояние водной системы практически не изменяется.

Во второй серии экспериментов оценивали электрофизические свойства эмульсий известных марок бензинов различных концентраций в дистиллированной воде. Установлено, что при уменьшении содержания бензина растет напряжение поляризации, уменьшается скорость падения диэлектрических потерь и возрастает напряжение деполяризации. Это означает, что система закономерно стремится к состоянию и характеристикам дистиллированной воды, не содержащей бензина. На основании этого построены эталонные кривые различных концентраций известных марок бензинов и дизельного топлива в эмульсиях.

Третья серия экспериментов состояла в оценке степени загрязненности углеводородами водоемов города Гомеля, расположенных вблизи автозаправочных станций. В трех из пяти исследуемых водоемов было обнаружено присутствие углеводородов без превышения ПДК. Водоем, находящийся на пересечении улиц Свиридова и Федюнинского, можно считать условно чистым. Беспокойство вызывает состояние озера Дедно, расположенного на пересечении улиц Хатаевича и Мазурова в непосредственной близости от автозаправочной станции. Содержание углеводородов на данном объекте значительно превысило ПДК.

Выводы и рекомендации

Таким образом, в настоящей работе проиллюстрированы возможности экспресс-метода оценки загрязненности водоемов углеводородами, основанного на изотермической деполяризации. Полученные результаты расширяют номенклатуру программно-инструментальных методов оценки состояния дисперсных систем и могут быть полезны при проведении экологического мониторинга и природоохранных мероприятий.

1. Шаламов И.В., Ухарцева И.Ю., Цветкова Е.А., Гольдаде В.А. Программно-аппаратный комплекс АИР-1 для контроля жидкодисперсных систем // Приборы и техника эксперимента. — 2002, № 6, 143—144

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ПОЛИДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ СТРУКТУРИРОВАННОГО УГЛЕРОДА НА ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ ПОЛИАМИДНЫХ ПОКРЫТИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В.М. Шаповалов¹, А.М. Валенков¹, В.М. Цырульник²

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

²ОАО «Мозырский авторемонтный завод», Мозырь, Беларусь

Развитие машиностроительной области во многом обусловлено решением проблем связанных с повышением надежности и работоспособности деталей механизмов узлов трибосопряжения в условиях воздействия агрессивных факторов окружающей среды. Одним из эффективных путей снижения коррозионно-механического повреждения таких деталей и в частности элементов электроприводных агрегатов сельскохозяйственной техники, является нанесение на рабочие поверхности полимерных покрытий. Среди множества полимерных материалов применяемых для формирования такого рода покрытий, наиболее перспективными являются алифатические полиамиды. Однако, высокое водопоглощение полиамидов сдерживает их применение в качестве триботехнических покрытий работающих в коррозионных средах и в частности водных растворах различных электролитов.

Цель работы — исследование влияние добавок полидисперсных частиц структурированного углерода на водопоглощение и триботехнические свойства тонкослойных полиамидных покрытий.

Материалы и методы исследований

В качестве наполнителя использовали полидисперсные частицы структурированного углерода ТУ ВУ 690654933.001-2011, полученные в плазме высоковольтного разряда атмосферного давления, по способу описанного в [1]. В качестве полимерного связующего применяли порошкообразный полиамид-6 с размером частиц не более 125 мкм, полученный криогенным измельчением гранулированного продукта ОСТ 6-06-09-83. Покрытия формировали на металлических подложках из стали 45 электростатическим способом с величиной высоковольтного потенциала 70 кВ при помощи пистолета-распылителя «Старт-50» (РФ). Спекание композиции до получения сплошного покрытия осуществляли в конвекционной электропечи СНОЛ при температуре 200 °С в течении 10 минут.

Водопоглощение композиционных материалов изучали по изменению массы образца после кипячения в дистиллированной воде в течении часа (ГОСТ 4650-80). Образцами служили пластины

10×100×1 мм, полученные с помощью вырезного штампа из сформированных композиционных покрытий.

Степень кристалличности ПА 6 определяли методом ДСК.

Триботехнические свойства покрытий исследовали на возвратно-поступательном микротрибометре MTU-2K7 (ИММС НАН Беларуси) без смазки при нагрузке 750 мН. В качестве контртела использовали шарик из стали ШХ15.

Результаты и их обсуждение

В результате проведенного исследования, установлено, что введение в ПА 6 полидисперсных частиц структурированного углерода влияет преимущественно на аморфную область полимерной матрицы.

Так, исходный ПА 6 имеет степень кристалличности 30%, при введении частиц наполнителя в количественном диапазоне 0,2÷0,6 мас.% кристалличность полимера возрастает до 37—45% соответственно, при этом водопоглощение снижается в 2 раза. Дальнейшее повышение концентрации наполнителя в интервале 0,8—1 мас.% не обеспечивает последующего роста кристалличности полимерной матрицы.

Таким образом, при введении полидисперсных частиц структурированного углерода в количестве 0,2÷0,6 мас.% наблюдается повышение степени кристалличности ПА 6, что затрудняет взаимодействие молекул воды с доступными амидными группами, находящихся в аморфных зонах полимера и, соответственно, снижает уровень водопоглощения композитов. В результате чего появляется возможность формирования полиамидных покрытий для защиты металлических поверхностей от коррозионно-механических повреждений в процессе трения в условиях повышенной влажности.

1. Способ получения углеродного наноматериала: пат. 10010 Респ. Беларусь, МПК 2006 D 01F 9/12, C01B 31/00, B82B 3/00 / С.А. Жданок, А.П. Солнцев, А.В. Крауклис, И.Ф. Буяков; заявитель Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова — № а 20050321; заявл. 31.03. 05; опубл. 30.12.06 // Афіцыйны бюл. / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласн., 2006

МЕХАНИЗМ ВЛИЯНИЯ АКТИВНЫХ МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНГИБИРОВАНИЯ ПОЛИОЛЕФИНОВ ПРОМЫШЛЕННЫМИ АНТИОКСИДАНТАМИ

В.М. Шаповалов¹, Д.Г. Лин², Е.В. Воробьева²

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

² Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь

Цель

Проблему уменьшения окислительной стойкости полиолефинов в контакте с переходными металлами, например медью, обычно решают путем введения в состав полимерного компонента антиокислительных добавок или антиоксидантов (АО). Однако введение таких добавок в полимеры по своей эффективности неоднозначно. Поэтому целью настоящей работы являлось обобщение экспериментальных данных и выявление механизма влияния медьсодержащего наполнителя на эффективность ингибирования полиэтилена промышленными антиоксидантами аминного и фенольного типов.

Материалы и методы исследования

В исследованиях использовали порошок полиэтилена низкого давления (ГОСТ 16338-85, марка 20308-005), в который вводили ирганокс 1010 (АО фенольного типа) или неозон Д (АО аминного типа). В качестве наполнителя использовали порошок меди (ГОСТ 4960-75). Из полимерных композиций путем термического прессования получали пленки (толщина 100 мкм), которые окисляли в термошкафах на кристаллах КВг при температуре 150 °С. Степень окисления образцов оценивали показателем экстинкции полосы поглощения 1720 см⁻¹ (ИК-спектроскопия).

Результаты и их обсуждение

В результате исследований установлено, что при введении АО фенольного типа в полиэтилен, наполненный порошком меди, эффективность его ингибирования незначительна. В этом случае происходит интенсивное расходование АО вследствие его взаимодействия в контактных зонах с катализатор-наполнителем. При этом АО дезактивирует образующиеся там радикалы и тем самым подавляет развитие реакций окисления. В итоге в полимерном материале устанавливается неравномерное распределение остатков АО, что является показателем быстрого развития окислительных процессов в локальных объемах полимера. При использовании аминного АО эффективность ингибирования наполненного медью полимера наоборот повышается. В данном случае в зоне контакта медьсодержащего наполнителя и АО, наряду с процессом непосредственно расхода АО, наблюдается протекание процесса его химического преобразования в устойчивые нитроксильные радикалы, которые являются более эффективными ингибиторами, чем исходный аминный АО. Таким образом, эффективность ингибирования промышленными АО полиэтилена с медьсодержащими наполнителями определяется природой АО и преимущественно зависит от возможности взаимодействия АО и наполнителя в композиционной системе.

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОМПОЗИТА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ МАТРИЦЫ И ЗЕРЕН ЗАПОЛНИТЕЛЯ

А.О. Шимановский¹, Г.М. Кузёмкина², Ю.М. Плескачевский³, О.И. Якубович¹

¹Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

²Гомельский центр повышения квалификации руководящих работников и специалистов, Гомель, Беларусь

³Гомельский филиал НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

Существующие методы расчета характеристик композитных материалов базируются на многоуровневой модели их структуры [1]. Однако они позволяют получить удовлетворительные результаты таких расчетов, только если обеспечивается надежное сцепление армирующих элементов с матрицей. Тогда будет реализовываться так называемый эффект “армирования” матрицы заполнителем [2]. При низком сцеплении матрицы с заполнителями разрушение может происходить при весьма малой нагрузке, при этом прочность композита окажется ниже прочности матрицы.

По данным [3] полированная поверхность гранита, известняка, песчаника — обладает сцеплением с цементным камнем на отрыв от 0,6 до 1 МПа, что определяется физико-химической природой контакта. Шероховатость поверхности, включающая в работу физико-механический фактор, повышает напряжение сцепления на отрыв и сдвиг в 1,5...2 раза. Специальные связующие позволяют обеспечить дополнительное сцепление составных частей композита, при котором не будет происходить расслоения материалов.

Целью настоящей работы является исследование свойств композита, армированного гранулами, на основе применения разработанного нами ранее подхода, учитывающего контактное взаимодействие между матрицей и армирующей фазой [4, 5], что позволит осуществить выбор рационального связующего.

В качестве расчетной модели принят куб с длиной ребра 10 см и шаровидными зёрнами заполнителя диаметром от 0,5 до 2 см. С учетом симметрии создана модель, представляющая собой одну восьмую часть куба (рис. 1). Учитывалось, что модули упругости заполнителя и материала матрицы 50 и 30 ГПа, коэффициенты Пуассона 0,15 и 0,27 соответственно.

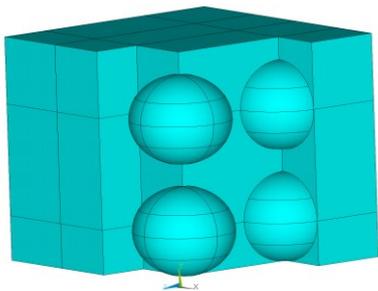


Рис. 1. Схема расположения зерен заполнителя в материале матрицы

Заполнитель и матрица композита моделировались тетраэдральными конечными элементами. Общее число конечных элементов модели оказалось большим 100000. Полагалось, что между компонентами имеется сухое трение, определяемое законом Кулона. Кроме того, во внимание принималось наличие адгезии, которая варьировалась в пределах от 10 до 1000 кПа.

В качестве граничных условий задавалось отсутствие перемещений на плоскостях симметрии по направлениям, перпендикулярным этим плоскостям. Нагружение куба осуществлялось равномерно распределенным давлением 5 МПа, приложенным к его верхней грани.

Расчеты показали, что наибольшие напряжения в матрице возникают между зёрнами заполнителя. Они превышают напряжения в остальной ее части на 35—40%. Таким образом, прочность матрицы определяется максимальными напряжениями, возникающими в названной зоне.

Анализ, выполненный с учетом контактного взаимодействия между заполнителем и матрицей, продемонстрировал неравномерность распределения контактных напряжений. На «экваторе» зёрна они минимальны и максимальны в его верхней части.

Таким образом, применение подхода, учитывающего контактное взаимодействие между матрицей и армирующей фазой, позволила установить особенности напряженно-деформированного состояния композита. Разработанный подход может быть использован для анализа материалов с зёрнами иной формы, что даст возможность разработать рекомендации по подбору связующих, обеспечивающих прочность композитных материалов.

1. Bernard O., Ulm F. J., Lemarchand E. A. Multiscale micromechanics-hydration model for the early-age elastic properties of cement-based materials // *Cement and Concrete Research*. — 2003 (33), № 8. — 1293—1309
2. Ицкович С. М. Заполнители для бетона. — Минск: Вышэйшая школа. — 1983
3. Bertacchi P. Adherence Entre Granulats et Ciment et son Influence sur les Caracteristiques des Betons // *Revue des materiaux de construction*. — 1970, № 659/660. — 243—250
4. Pleskachevskii Yu. M., Shimanovskii A. O., Kuzemkina G. M. Finite-Element Modeling of the Interaction of Reinforcement with Concrete Matrix // *Mechanics of Composite Materials*. — 2008 (44), № 3. — 209—214
5. Kuziomkina H. M., Shimanovsky A. O., Yakubovich V. I. The Special Features of the Deformation for the Bearing Building Constructions with Composite Reinforcement // *Procedia Engineering*. — 2012 (48). — 346—351

ГЕЛЕОБРАЗУЮЩИЕ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРОВ АКРИЛАМИДА И АКРИЛАТА НАТРИЯ

Л.Б. Якимцова¹, С.Н. Ларикова², Д.А. Господарев³, А.В. Макаревич³

¹Учреждение БГУ «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», Минск, Беларусь

²Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

³Белорусский научно-исследовательский и проектный институт нефти, Гомель, Беларусь

Цель

Получение сополимеров (СП) акриламида (АА) и акрилата натрия (АNa) с различным соотношением звеньев, а также гелеобразующих композиций на их основе для повышения нефтеотдачи пластов (ПНП). Определение влияния молекулярной массы СП и содержания в нем звеньев АNa на скорость гелеобразования водных растворов СП в присутствии сшивателя — ацетата хрома и свойства гидрогелей.

Материалы и методы

Объектами исследования являлись сополимеры АА и АNa с содержанием звеньев АNa (β) от 0,1 до 0,5 мол. долей и молекулярной массой от $1,86 \cdot 10^6$ до $0,11 \cdot 10^6$ Да, а также гомополимеры АА и АNa, синтезированные в лабораторных условиях свободно-радикальной полимеризацией мономеров.

Состав СП определяли методом ИК спектроскопии, молекулярную массу — с помощью вискозиметрии в 3%-ном водном растворе хлорида натрия при 25 °С [1].

Пробы гелеобразующих композиций получали разбавлением исходного 10% водного раствора СП до концентрации 1% и добавлением триацетата хрома (АХ) в объемном соотношении СП:АХ = 15:1. Пробы переливали в широкогорлые банки объемом 50 мл, герметично закупоривали и помещали в термостат, нагретый до температуры, имитирующей пластовую (90 °С). Через заданные промежутки времени оценивали консистенцию композиций согласно процедуре [2].

Результаты и их обсуждение

СП, АА и АNa применяются в нефтедобывающей промышленности, в частности, в составе гелеобразующих композиций в технологиях ограничения водопитоков и ПНП [3].

Ранее не были известны закономерности влияния соотношения мономеров на молекулярную массу и гелеобразующую способность СП в композициях с АХ.

В таблице представлена зависимость содержания звеньев АNa в СП β от его мольной доли в мономерной смеси (α). Наблюдается обеднение СП звеньями АNa по сравнению с исходной смесью мономеров.

На рис. 1 показана зависимость молекулярной массы СП от мольной доли в нем звеньев АNa. Как видно на рис. 1, при увеличении содержания акрилатных звеньев в цепи молекулярная масса СП экс-

поненциально уменьшается.

Таблица. Зависимость мольной доли АNa в СП (β) от его мольной доли в исходной мономерной смеси с АА (α)

α	0	0,10	0,20	0,30	0,50	0,70	0,80	1
β	0	0,10	0,12	0,17	0,30	0,43	0,50	1

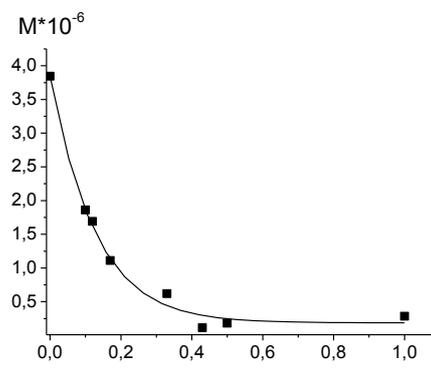


Рис. 1. Зависимость молекулярной массы СП АА и АNa (М) от мольной доли в нем звеньев АNa (β)

Это, по-видимому, это связано с торможением роста цепи при синтезе высокоанионного СП из-за увеличения электростатического отталкивания между звеньями АNa в макромолекуле и акрилатным мономером, находящимся в растворе.

Показано, что скорость гелеобразования при 90 °С максимальна для композиций на основе СП, АА и АNa с $\beta = 0,10$ и $0,12$, которые через 24 ч образуют пластичные подвижные гели. По мере увеличения доли акрилатных звеньев от $0,17$ до 1 , и соответствующего снижения молекулярной массы СП, гелеобразование замедляется, а консистенция гелей снижается. Очевидно, для приготовления композиций с АХ, способных к гелеобразованию, следует использовать СП с содержанием акрилатных звеньев не более 10—12 мол. %.

1. Recommended practice 63: evaluation of polymers used in enhanced oil recovery operations // American Petroleum Institute. — 1990, 22—74
2. Kakadjian S., Rauseo O., Mejias F. // SPE International Symposium on Oilfield Chemistry. Houston, Texas, 1999. SPE Paper 50751.
3. Макаревич А. В., Господарев Д. А., Гилязитдинов Т. Д. Композиции для увеличения добычи нефти в условиях месторождений Припятского прогиба // Теория и практика современных методов интенсификации добычи нефти и увеличения нефтеотдачи пластов: мат. междунар. науч.-практ. конф. — Речца, 2012, 392—406

ЗАОЧНЫЕ ДОКЛАДЫ

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ И ТРИБОЛОГИЯ
(ПОЛИКОМТРИБ-2013)

24—27 июня 2013 г., Гомель, Беларусь

ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ НАНОСТРУКТУР В ПОЛИИМИД-ФТОРОПЛАСТОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ ПРИ УДАРНО-ВОЛНОВОЙ ОБРАБОТКЕ

Н.А. Адаменко, А.В. Казуров, И.В. Сергеев, П.А. Бессонов

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия; mvpol@vstu.ru

Полиимиды являются перспективными антифрикционными материалами с высокими механическими свойствами, однако возрастающие запросы современной техники требуют повышения их триботехнических свойств, поэтому в них вводят дисперсные наполнители, такие как фторопласт-4. При этом качественный скачок эксплуатационных свойств полиимид-фторопластовых материалов может быть достигнут за счет комплексной реализации процессов, обеспечивающих повышение адгезионного взаимодействия и наноструктурирование компонентов.

Целью работы являлось исследование закономерностей формирования структуры и свойств в полиимид-фторопластовых композиционных материалах (КМ) при ударно-волновой обработке (УВО). КМ получали УВО порошковых полиимид-фторопластовых смесей (50 об.% ПМ-69 + 50 об.% Ф-4) с последующим спеканием при температуре 390 °С. Микроструктуры исследовали на оптическом микроскопе «Olympus» ВХ-61 и атомно-силовом микроскопе Solver PRO, микротвердость — на микротвердомере ПМТ-3М.

Установлено, что для реализации наноструктурирования необходимо, чтобы давление и энергия взрывного воздействия в порошковой полиимид-фторопластовой смеси были достаточны не только для достижения структуры предельного уплотнения, но и для качественного изменения структуры в результате активного измельчения за счет дробления и деформации компонентов смеси, что достигается при критических условиях УВО. При УВО полиимид-фторопластовой порошковой смеси с пористостью 20—30% критическими ударными давлениями (более $P = 1,5—3,0$ ГПа), когда стадия переукладки

частиц в более плотную упаковку преимущественно проходит через их дробление, чему способствует многократное отражение ударных волн, происходит измельчение фаз в КМ до нанометрового диапазона. Это приводит к образованию свободных радикалов макромолекул полимеров, а также сближению большего количества макромолекул полимеров до расстояния межмолекулярного взаимодействия, результатом чего является рост числа химических связей, определяющих уровень физико-химического взаимодействия компонентов системы, а также получение более плотных прессовок. Наноструктурированные зоны, полученные при приложении критических давлений, представляют смесь двух полимеров с наноразмерными частицами. В наноструктурах прослеживаются как отдельные монолитные нанометровые включения (110—900 нм), так и агломераты такого же размера, состоящие из частиц размером от 50 до 550 нм.

Установлено, что образование наноструктур в КМ сопровождается повышением микротвердости в 1,5—3 раза до 1,2—1,8 ГПа. Интенсивное повышение твердости материала в микрообъемах свидетельствует о формировании новой структуры на основе наноразмерных составляющих и происходит за счет дробления и деформации макромолекул с образованием более прочных нанофаз и переукладки макромолекул в более плотную упаковку. Вариация значений твердости в широких пределах связана с неоднозначностью влияния ударных давлений и энергий на структуру КМ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 13-03-00344).

ВЛИЯНИЕ НАНОПРИСАДОК НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

О.Б. Аكوпова¹, Н.В. Усольева¹, М.В. Якемсева¹, А.А. Гвоздев²

¹Ивановский государственный университет, НИИ Наноматериалов, Иваново, Россия, akorov@dsn.ru

²Ивановская государственная сельскохозяйственная академия им. академика Д.К. Беляева, Иваново, Россия

С целью установления влияния на триботехнические характеристики введения присадок органической (жидкие кристаллы) и неорганической природы (углеродные нанотрубки) к маслам и пластичным смазкам, проведен цикл исследований в системах: 1) серийное моторное масло «Лукойл» — ЖК холестерилловые эфиры карбоновых кислот — углеродные нанотрубки; 2) пластичные смазки Литол-24 (ТУ-0254-11604001396-05) и Солидол-С (ГОСТ 4366) — углеродные нанотрубки.

Многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ) вводились в серийное моторное масло «Лукойл» и смазочные материалы «Литол-24» и «Солидол-С» в различном процентном соотношении (от 0,0002% до 0,053%) путем диспергирования с помощью ультразвуковой ванны SONOREX SUPER.

Триботехнические характеристики указанных систем получали на машине трения 2070 СМТ-1. В первом случае схема испытания — «ролик — колодка», материалы: закаленная сталь 40Х (HRC50) и чугун специальный (гильза двигателя Д-240 ММЗ) соответственно. Смазочная композиция подавалась в зону трения путем погружения ролика в ванночку с испытуемой средой. Проведены «активный» (ступенчатое увеличение нагрузки в узле трения от 50 до 650 Н при постоянной частоте вращения 1000 мин⁻¹ до момента наступления предельного состояния пары трения) и «пассивный» (время испытания — 120 мин., нагрузка постоянная 300 Н, частота вращения — 1000 мин⁻¹) типы испытаний. Во втором случае схема трения — «вращающийся диск — неподвижный вкладыш». Скорость скольжения — 1 м/сек. Нагрузка на образец повышалась ступенчато от 200 Н и до момента схватывания образцов. Пробег при нагрузке составлял 1 км. Износ замерялся методом искусственных баз. Температура контролировалась термопарой-ХК. Смазка наносилась на поверхность диска и вкладыша однократно перед каждым приложением нагрузки.

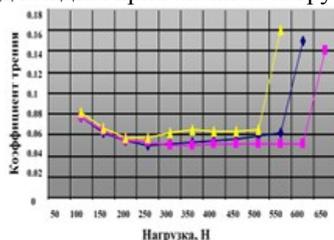


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения от нагрузки в паре трения «ролик-колодка» в присутствии смазки без присадки и с присадками в условиях ступенчатого нагружения (интервал 5 мин) при $V_{ск} = 3,2$ м/с: 1) \blacklozenge — масло «Лукойл»; 2) \blacktriangle — масло «Лукойл» + Х-17; 3) \blacksquare — масло «Лукойл» + Х-17 + МУНТ

В первой системе были получены зависимости

коэффициента трения (рис. 1), момента трения и температуры трения в зоне контакта от нагрузки.

В двух других системах были найдены зависимости коэффициента трения (рис. 2), температуры в зоне трения от концентрации наноприсадки «Таунит М», получены данные по износу пары трения в исходной пластичной смазке и с добавкой углеродных нанотрубок в различной концентрации (рис. 3) [1].

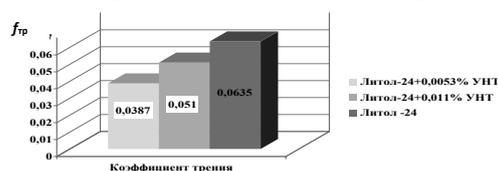


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения смазки литол-24 от концентрации присадки УНТ

В результате нами установлено, что как в первой, так и второй системах использование в качестве присадки МУНТ способствует снижению коэффициента трения по сравнению с серийным моторным маслом «Лукойл» (рис. 1) и серийными пластичными смазками «Литол-24» (на 20—40%) и «Солидол-С» (на 9—19%), причем большим понижающим эффектом на коэффициент трения и износные характеристики обладают меньшие концентрации МУНТ. Присадки МУНТ увеличивают время наступления предельного состояния в трибосопряжении, понижают температуру в зоне контакта при повышенных нагрузках (475—575 Н). Установлено также снижение износных характеристик в 1,6—1,8 раза и в 2—13 раз в модифицированных МУНТ литоле-24 и солидоле-С соответственно, в последнем случае существенно улучшаются противоизносные характеристики смазочного материала. При этом для солидола-С после введения МУНТ характерно повышение диапазона его работоспособности на 17%. [1]. Наблюдаемые эффекты объяснены с точки зрения лучшего ориентационного упорядочения испытуемых систем за счет введения МУНТ.

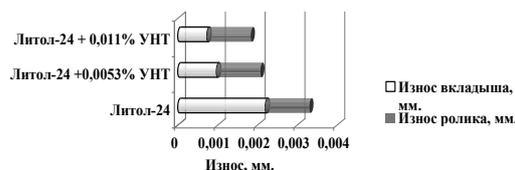


Рис. 3. Зависимость износа элементов пары трения при их смазке композициями на основе чистого литола-24 и с присадкой МУНТ различной концентрации

1. Терентьев В.В., Лапшин В. Б., Якемсева М.В., Усольева Н.В., Аكوпова О.Б. Модификация пластичных смазочных материалов введением углеродного материала «Таунит-М» // ЖК и их практическое использование. — 2013. Вып. 2, 73—79

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ БЕНТОНИТА НА СТРУКТУРУ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

Е.С. Афанасьева, С.А. Слепцова

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия;
KatiaSerafimovna@yandex.ru

Введение

Основным лимитирующим фактором отказа техники в Северных регионах Российской Федерации в зимнее время является недостаточная морозостойкость уплотнительных элементов узлов трения, приводящая к утечке рабочей жидкости. Для сложных условий эксплуатации в качестве уплотнительных материалов для узлов трения используются композиционные материалы на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) [1].

Цель

Целью работы является исследование влияния механоактивированного бентонита на структуру политетрафторэтилена.

Объекты и методы исследования

Объектами исследований являлись промышленный политетрафторэтилен (ПТФЭ, ГОСТ 10007-80), наполнитель — бентонит, полученный с месторождений Республики Саха и относящиеся к подклассу слоистых силикатов. Основной компонент бентонита (60—70%) — монтмориллонит ($Al_2[Si_4O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$), который представляет собой листовый силикат с расширяющейся структурной ячейкой.

Композиты получали путем сухого смешения полимера с наполнителем и последующим спеканием. Образцы для испытаний изготавливали по стандартным методикам (ГОСТ 10007-80). В работе для улучшения совместимости наполнителя с полимерной матрицей использовали активацию наполнителя в планетарной мельнице АГО-2 разработки ИХТТ СО РАН, г. Новосибирск (частота вращения 3000 об/мин, центробежное ускорение, развиваемое мелющими телами, 1000 м/с²).

Физико-механические свойства композитов определяли по ГОСТ 11262-80 на испытательной машине «UTS-2» (Германия) при комнатной температуре и скорости перемещения подвижных захватов 100 мм/мин на лопатках. Триботехнические характеристики — скорость изнашивания и коэффициент трения — определяли на машине трения СМЦ-2 по схеме трения «вал—втулка», при нагрузке — 0,45 МПа, скорости скольжения — 0,39 м/с. Структурные исследования поверхностей трения композитов проведены на растровом электронном микро-

скопе JSM-5400 LV «JEOL» при увеличении до 8000 раз.

Результаты и их обсуждение

Анализ триботехнических характеристик композитов показывает значительное влияние механоактивации наполнителя на износостойкость композитов: отмечается снижение скорости массового изнашивания до 1000 раз по сравнению с исходным полимером.

На основании структурных исследований поверхностей трения ПКМ на основе ПТФЭ и бентонита методом растровой электронной микроскопии, можно заключить, что структура поверхностных слоев ПКМ после трения заметно отличается от структуры исходного полимера. В процессе трения происходит ориентирование структурных частиц по направлению скольжения, локализация наполнителей на поверхности материала. Обогащение поверхностей трения полимерной матрицы частицами наполнителя способствует предохранению поверхностного слоя материала от истирания.

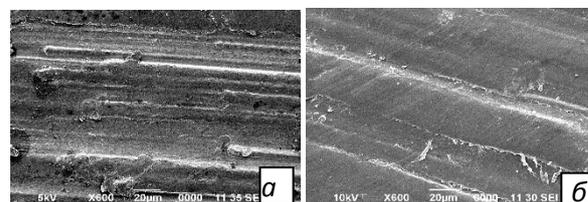


Рис. 1. Структура поверхностных слоев ПКМ на основе ПТФЭ, наполненного бентонитом: а — ПТФЭ + 2 мас.% бентонита; б — ПТФЭ + 5 мас.% бентонита

По результатам комплексного исследования свойств композитов на основе ПТФЭ и бентонита показана эффективность использования приемов механоактивации наполнителя на процессы трибодеструкции ПТФЭ, играющую значительную роль в формировании триботехнических характеристик композитов. Разработаны новые составы композитов с высокими триботехническими характеристиками.

1. Машков Ю.К., Овчар З.Н., Суриков В.И., Калистратова Л.Ф. Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена. Структурная модификация. — М.: Машиностроение. — 2005

ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В Тi-ПЛЕНКАХ ПРИ ОТЖИГЕ НА ВОЗДУХЕ

Д.А. Багрец, В.В. Рубаник

Институт технической акустики НАН Беларуси, Витебск, Беларусь; ita@vitebsk.by

Термообработка является хорошо изученным способом управления свойствами различных материалов и широко применяется для создания тонкопленочных покрытий в различных отраслях науки и техники. Изменяя условия и режимы термообработки, можно определенным образом влиять на изменения структуры, а, следовательно, и свойств тонких пленок.

В работе с помощью рентгено-спектрального анализа исследовались тонкие ($h = 0,5 \div 1$ мкм) пленки титана, осажденные вакуумно-дуговым методом на подложки из нержавеющей стали и подвергнутые отжигу в атмосфере воздуха в течение 30 мин в интервале температур от 200 до 600 °С.

Из концентрационных профилей распределения элементов покрытия (Ti) и подложки (Fe) по глубине исходного покрытия (рис. 1) видно, что атомы железа присутствуют в поверхностном слое, что, по всей видимости, обусловлено наличием сквозных пор в структуре Ti-покрытия. С увеличением глубины концентрация Fe линейно возрастает, и на границе “покрытие-подложка” соотношение $I_{Ti}/I_{Fe} = 1$.

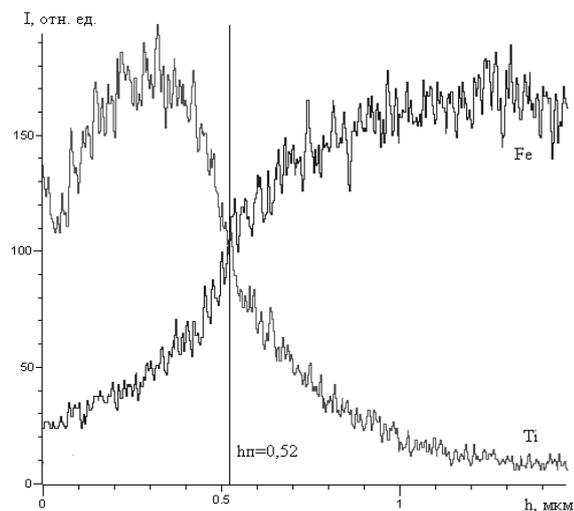


Рис. 1. Концентрационные профили распределения атомов Ti и Fe по глубине не отожженного Ti-покрытия

Сравнительный анализ содержания атомов железа в Ti-покрытиях, отожженных при различных температурах (рис. 2), показал, что отжиг при 200÷300 °С заметно уменьшил содержание Fe в поверхностных слоях покрытия, что связано с эффектом “залечивания” дефектов Ti-пленки при термообработке. С увеличением температуры отжига до 400 °С наблюдается усиление диффузионной активности железа, а также присутствие азота. Покрытие приобрело характерный для нитрида титана золоти-

сто-коричневый оттенок.

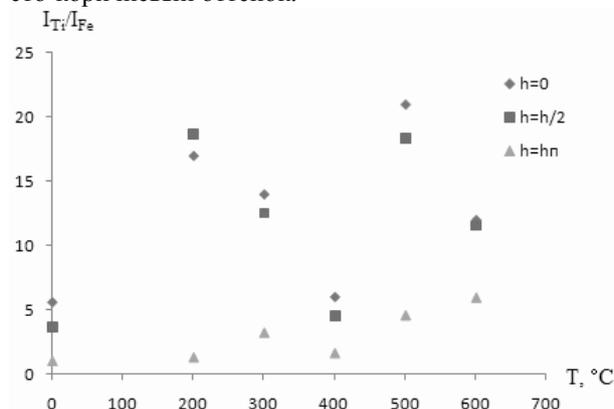


Рис. 2. Относительная концентрация титана и железа на различной глубине Ti-покрытий в зависимости от температуры отжига

При увеличении температуры отжига до 500÷600 °С в поверхностном слое Ti-пленки отмечено также присутствие кислорода (рис. 3). Поскольку диффузионная активность титана заметно выше, чем у железа, концентрация атомов Fe на поверхности покрытия снижается. Можно предположить формирование слоистой структуры, где наружный слой (≤ 300 нм) представляет собой оксид титана, а остальная часть покрытия состоит из смеси оксинитридов титана различного состава.

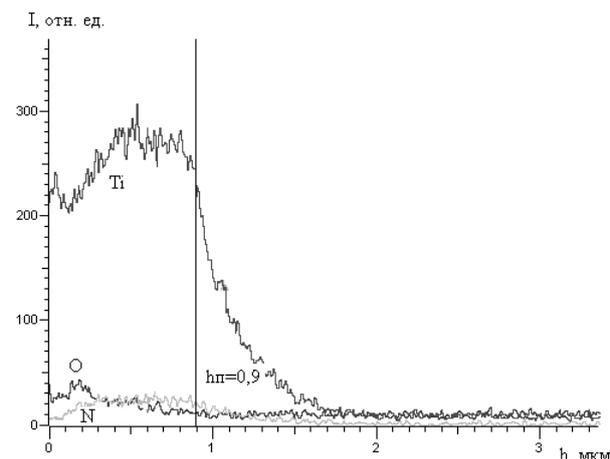


Рис. 3. Концентрационные профили Ti, O и N для Ti-покрытия после отжига при 500 °С

Таким образом, для всех режимов отжига характерно присутствие в покрытии атомов подложки (Fe) и образование диффузионного переходного слоя. При 400 °С в Ti-покрытии образуются соединения титана с азотом, которые интенсивно окисляются при нагреве свыше 500 °С с образованием оксинитридных фаз TiN-TiO.

АТМОСФЕРОСТОЙКИЕ СВОЙСТВА ОГНЕЗАЩИТНО-ОГНЕТУШАЩИХ СУСПЕНЗИЙ НА ОСНОВЕ ТРЕПЕЛА И БЕНТОНИТА

В.В. Богданова¹, О.И. Кобец¹, А.А. Людко²

¹Учреждение Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», Минск, Беларусь; bogdanova@bsu.by
²ГУО «Командно-инженерный институт» МЧС РБ, Минск, Беларусь

На основании проведенных ранее исследований нами установлено, что синтетические суспензии на основе фосфатов двух-, трехвалентных металлов — аммония могут использоваться в качестве огнезадерживающих средств для природных полимерных материалов (древесина, торф). Эффективность огнезащитного или огнетушащего действия суспензий обеспечивается как присутствием в их составе синергической пары элементов (азота и фосфора), так и возможностью получения продуктов различного химического состава с широкой гаммой физико-химических свойств при варьировании условий синтеза, природы и соотношений их основных компонентов. При создании новых огнетушащих суспензий (ОС) комплексного действия одним из основных требований к ним наряду с экономичностью, высокой огнезащитно-огнетушащей эффективностью по отношению к древесине и торфу является атмосферостойкость огнезащитной поверхностной обработки древесных материалов.

Для обеспечения комплексных огнезадерживающих свойств ОС одновременно к древесине и торфу получены продукты с использованием недефицитного природного минерального сырья (бентонит, трепел) и исследованы их физико-химические свойства, способные оказывать влияние на атмосферостойкость ОС (способность нанесенных на древесину ОС сохранять огнезащитные свойства после обработки образцов водой). В сопоставительном плане исследованию подвергали известный специализированный ОС для древесины — Метафосил (ОС1).

После обработки водой огнезащитная способность известного ОС1 и бентонитсодержащего ОС2 (табл. 1) на древесине сохраняется на уровне не подвергаемых испытаниям на атмосферостойкость образцов этих же ОС (первая группа огнезащитной эффективности, $\Delta m \leq 9\%$). Огнезащитные свойства трепелсодержащих продуктов синтеза (ОС3, ОС4) после водных обработок ухудшились в 1,3—2,4 раза (вторая группа огнезащитной эффективности, $\Delta m \leq 25\%$).

Для нахождения факторов, вносящих определяющий вклад в огнезащитную эффективность и атмосферостойкость ОС, проведены сопоставительные исследования степени удерживания в древесине металлофосфатных суспензий (ОС1—ОС4), отличающихся химическим составом, фазового состава растворимого (РК) и нерастворимого компонентов суспензий (НК), их массовых соотношений в ОС 15%-ной концентрации, распределения их частиц по

размерам в микро- и нанодиапазоне, а также определена степень удерживания антипиреновых элементов-синергистов — азота и фосфора после водной обработки огнезащищенной древесины.

Рентгенографически установлено, что фазовый состав РК суспензий во всех случаях представлен дигидрофосфатом аммония, а также, в зависимости от природы используемых исходных реагентов, фосфатами, сульфатами, хлоридами аммония и/или калия. НК для всех ОС, предварительно отмытый водой от растворимых солей, рентгеноаморфен за исключением базовой суспензии, где обнаружен фосфат цинка-аммония.

Таблица 1. Атмосферостойкость, степень удерживания (α) суспензий в древесине после водных обработок, дисперсность и массовое соотношение растворимого и нерастворимого компонентов для ОС различной эффективности

№ ОС	Атмосферостойкость, Δm , %	α , %	Доля частиц с минимальным диаметром, %		Соотношение РК:НК, мас.%
			НК, 1—5 мкм	РК, 50—75 нм	
1	8,0	66,3	68	40	54 : 46
2	6,0	100	78,3	69	63 : 37
3	23,6	72	64,2	30	93 : 7
4	20,6	74,2	69,4	30	92 : 8

С помощью оптической и электронной микроскопии обнаружено, что более высокая дисперсность РК и НК суспензии ОС 2 обеспечивает ей наилучшую степень удерживания в микро- и макропорах на поверхности древесины, а также высокую проникающую способность внутрь защищаемого материала. Так, после испытаний устойчивости к водным обработкам содержание ОС 2 в образце древесины практически не изменяется, тогда как в случае других суспензий (ОС1, ОС3, ОС4) в тех же условиях испытаний потеря массы сухого вещества с поверхности древесины составляет более 25%. С результатами по потере массы согласуются данные по содержанию азота и фосфора в огнезащищенных ОС2 и ОС1 образцах древесины после водных обработок: в первом случае степень удерживания азота и фосфора после испытаний на атмосферостойкость соответственно в 1,6 и в 2 раза больше по сравнению с базовым составом. Кроме того, причину высокой атмосферостойкости ОС1 и ОС2 можно также объяснить большим содержанием (в 5—7 раз) нерастворимого мелкодисперсного остатка в рабочих растворах 15% концентрации по сравнению с ОС3 и ОС4.

СИНТЕТИЧЕСКИЕ АНТИПИРЕНОВЫЕ СОСТАВЫ ДЛЯ СЭВИЛЕНА

В.В. Богданова, Л.В. Радкевич

Учреждение Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», Минск, Беларусь

Выделяют четыре способа снижения горючести синтетических полимерных материалов: использование огнезащитных покрытий, введение наполнителей, введение замедлителей горения или антипирюющих составов, модифицирование самой полимерной матрицы. Метод введения антипиренов в полимерную матрицу при переработке полимера является наиболее эффективным и целесообразным, так как позволяет максимально сохранить свойства самого полимера. В качестве антипиренов используются различные органические и неорганические соединения. При этом в соответствии с экологическими требованиями существенно ограничивается применение сурьма- и галогенсодержащих замедлителей горения. Наибольший интерес в создании экологических безвредных и эффективных замедлителей горения представляют собой азот-фосфорсодержащие соединения, проявляющие при совместном присутствии синергический эффект [1, 2]. Ранее исследованиями по приданию огнестойких свойств природным полимерам, в частности древесине, было установлено, что устойчивым огнезащитным эффектом обладают составы на основе нестехиометрических фосфатов металлов-аммония. [3]

В данной работе с целью исследования возможного применения аналогичных продуктов в качестве замедлителей горения синтетических полимеров получены простые фосфаты двух- и трёхвалентных металлов-аммония (Mg, Ca, Zn, Al, Fe).

В качестве объекта исследования использовали сэвилен (СЭВА-113), широко используемый для получения изделий различного назначения.

Для изучения влияния природы металла и соотношения оксида фосфора к оксиду металла на огнезащитные свойства в качестве исходных реагентов использовали оксиды двух- и трёхвалентных металлов. Синтез огнезащитных составов проводили в водной среде золь-гель методом в два этапа: на первом этапе получали концентрированные металл-фосфатные растворы, затем проводили их нейтрализацию водным раствором аммиака. Установлено, что растворение оксидов двухвалентных металлов целесообразнее проводить при комнатной температуре, а трёхвалентных — при нагревании, независимо от соотношения компонентов в системе. Показано, что увеличение скорости нейтрализации ведет к ухудшению физико-химических свойств полученного продукта.

Полученные образцы высушивали, измельчали и фракционировали. В полимер вводили фракцию с размером частиц до 100 мкм в количестве 30%. В качестве образца сравнения использовали имею-

щийся на рынке огнезащитный состав Budit. Огневые испытания проводили по условиям ГОСТ 28157-89 [3].

По результатам испытаний установлено, что огнестойкость полимерных композиций зависит от природы металла и соотношения компонентов синтезированных продуктов. Огнестойкость композиций с использованием в качестве антипиренов составов на основе двухвалентных металлов не проходит испытания. Категории стойкости к горению ПВ-2 соответствует только один образец с соотношением компонентов $P_2O_5:ZnO=4:1$. Результаты испытаний полимерных композиций с продуктами на основе трехвалентных металлов показывают, что антипирен с соотношением компонентов $P_2O_5:Al_2O_3=12,4:1$ имеет наилучшую эффективность. Согласно ГОСТ 28157-89 полимерная композиция относится к категории стойкости к горению ПВ-0. Увеличение содержания металла в составе снижает огнестойкие свойства композиции, полученные образцы относятся к категории стойкости к горению ПВ-2. Ухудшение огнестойких свойств наблюдалось с ростом концентрации металла в системе, как для двухвалентных металлов, так и для трехвалентных.

Фазовый состав полученных образцов антипиреновых составов исследовали на дифрактометре ДРОН-2 ($CuK\alpha$ -излучение). Рентгенофазовый анализ показал, что системы на основе оксидов трехвалентных металлов и оксида цинка имеют в составе фосфаты металлов-аммония $((NH_4)_3Al_5H_6(PO_4)_8 \cdot 18H_2O$, $NH_4Fe(HPO_4)_2$, $ZnNH_4PO_4$). Установлено, что при термообработке фосфатов металлов-аммония протекает их поликонденсация с образованием ди-, три-, тетрафосфатных анионов и процессы дегидратации с последовательным выделением аммиака.

Таким образом, можно предположить, что огнезащитные свойства состава зависят от способности антипирена образовывать в конденсированной фазе изолирующие расплавы, а также поставлять в газовую фазу достаточное количества летучих ингибиторов горения в широком температурном интервале.

1. Асеева Р.М., Заиков Г.Е.. Горение полимерных материалов. — М.: Наука. — 1981
2. Кодолов В.И. Замедлители горения полимерных материалов. — М.: Химия. — 1980
3. Богданова, В.В., Кобец, О.И., Радкевич, Л.В. / Свиридовские чтения. / Сб. статей. — 2004, вып. 2, 186—195
4. ГОСТ 28157-89 Пластмассы. Методы определения стойкости к горению

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В.Д. Борозна, Ю.М. Кукушкина, А.Н. Буркин

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

Одним из основных требований предъявляемых изделиям легкой промышленности является их долговечность, то есть способность изделия сохранять определенные характеристики в течение заданного или длительного времени под воздействием предсказуемых факторов. Показатель долговечности характеризуется такими свойствами материалов как прочность при растяжении, прочность лицевого слоя, пластичность, износоустойчивость, устойчивость к многоцикловому нагружению. В Витебском государственном технологическом университете разработана методика для определения долговечности материалов, позволяющая охарактеризовать данный показатель по всем свойствам. Сущность методики заключается во вращении изогнутого под углом образца и наблюдением видимых появлений дефектов поверхности исследуемого материала.

Для проведения испытаний по данной методике был изготовлен прибор, схема которого представлена на рис. 1.

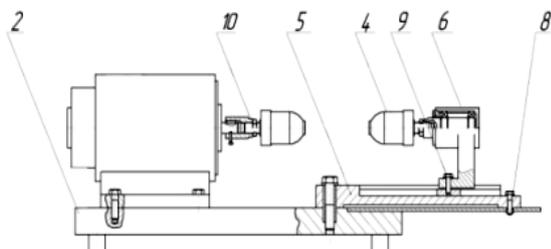


Рис. 1. Схема прибора для оценки свойств материалов, швов и узлов изделий

Прибор состоит из следующих деталей: 1 — двигатель постоянного тока, 2 — плита, 3 — трёхкулачковый патрон передний, 4 — трёхкулачковый патрон задний, 5 — рейка поворотная, 6 — бабка задняя, 7 — измерительная пластина, 8 — болт-фиксатор (фиксирует заданный угол), 9 — болт-фиксатор (фиксирует длину образца), 10 — соединительная муфта.

Двигатель 1 крепится при помощи болтового соединения к плите 2, к которому присоединен трёхкулачковый патрон 3, при помощи соединительной муфты 10. К плите 2 крепится рейка по-

воротная 5, на которой при помощи болта-фиксатора 9, установлена бабка задняя 6 с трёхкулачковым патроном задним 4. Расстояние между патронами 3 и 4 регулируется с учетом длины образца и фиксируется болтом-фиксатором 9. К поворотной рейке 5 крепится измерительная пластина 7, по которой при помощи болта-фиксатора 8 устанавливается заданный угол поворота. На данный прибор имеется положительное решение о выдаче патента.

Для проведения испытаний на описанном выше приборе отбирают элементарные пробы. Образцы прямоугольной формы, размерами 180×60мм. Размеры образцов измеряют металлической линейкой по ГОСТ 427-75 «Линейки измерительные металлические. Технические условия». Образцы сшивают в виде трубки и устанавливают на полимерную оправку. На установке при помощи болтов-фиксаторов устанавливается заданный угол изгиба (0—90°) и расстояние между патронами в соответствии с заданной длиной образца, но не менее 50 мм. Угол изгиба можно регулировать с целью приближения формы изделия к реальным условиям эксплуатации.

Подготовленный образец закрепляют между патронами, под установленным углом. Количество оборотов регулируется в диапазоне от 50 до 2500. При испытании, для наблюдения за образцом, прибор периодически выключают и осматривают образец с помощью лупы. С этой целью применяют лупы типа ЛП1–2,5×, ЛП1–4×, по ГОСТ 25706–83 «Лупы. Типы, основные параметры. Общие технические условия» или другие с 10 кратным увеличением. Частота осмотров зависит от сопротивления материала образца образованию дефектов. При появлении трещин, длину трещин измеряют металлической линейкой по ГОСТ 427-75. За результат испытания принимается значение показателя по худшему из образцов.

С помощью данной методики можно определять долговечность материалов кожгалантерейных изделий, обувных изделий, а также возможно определять показатели различных изделий технического назначения.

КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ПТФЭ И БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНАС.В. Васильев¹, А.А. Охлопкова², Е.В. Панова²¹Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия; spira_ira_vas@mail.ru
²Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия

Объемы производства и сферы использования армированных волокнами полимерных композитов во всем мире непрерывно растут. Перспективны для ответственных конструкций полимерные материалы, армированных стеклянными, углеродными и базальтовыми волокнами. В свете проблем получения армированных пластиков на основе термостойких, прочных и химически стойких волокон из недефицитного и дешевого сырья в настоящее время велик интерес в мире к использованию базальтового волокна для получения различных композиционных и конструкционных материалов [1].

Объекты и методы исследований

Объектами исследования являлись политетрафторэтилен (ПТФЭ) (ГОСТ 10007-80), и полимерные композиционные материалы (ПКМ), армированные активированными базальтовыми волокнами (БВ). Использованные в исследовании базальтовые волокна произведены НПК «Композит» г. Зеленоград.

Перед использованием в качестве наполнителя ПТФЭ, волокна подвергали измельчению с применением режущей мельницы Fritsch Pulverizette. Использование рубленых волокон позволяет без усложнения технологических операций наполнять и получать ПКМ на основе ПТФЭ. Механическую активацию базальтовых волокон осуществляли в планетарной мельнице АГО-2 в течение 2 мин.

Физико-механические свойства определяли на разрывной машине «UTS» при скорости движения подвижных захватов 100 мм/мин. Скорость изнашивания полимерных композитов определяли на машине трения СМТ-1 (схема трения «вал-втулка» при контактном давлении 0,45 МПа, скорость скольжения 0,39 м/с). ИК-спектры образцов в области частот 400—4000 см⁻¹ получали с применением ИК-Фурье спектрометра Varian FTIR 7000. Для определения термодинамических параметров ПКМ использовали дифференциальный сканирующий калориметр (ДСК) Netzsch DSC 204 F1 Phoenix (погрешность не более 0,1%).

Обсуждение результатов исследований

Оптимальный комплекс свойств достигается при содержании 2 мас.% активированного базальтового волокна. Установлено, что модификация ПТФЭ активированными базальтовыми волокнами приводит к повышению деформационнопрочностных и триботехнических характеристик по сравнению с ПКМ, содержащими неактивированные БВ. Прочность при растяжении ПКМ при наполнении активированными БВ повышается на 15—38%, а относительное удлинение при разрыве — на 20—95% по

сравнению с композитами с содержанием неактивированных БВ. Износостойкость ПКМ с содержанием активированных волокон повышается в 475 раз по сравнению с ненаполненным ПТФЭ и в 5 раз по сравнению с композитами, содержащими неактивированное БВ.

С целью изучения адгезионного взаимодействия в базальтофторопластах исследованы термодинамические параметры ПКМ методом дифференциальной калориметрии (ДСК). Зарегистрировано увеличение температуры плавления, энтальпии плавления и степени кристалличности ПКМ по сравнению с ненаполненным ПТФЭ. Показано, что значения степени кристалличности ПКМ уменьшаются с ростом содержания наполнителя. Это, вероятно, обусловлено тем, что скорость кристаллизации полимера определяется ограничением подвижности макромолекул в слоях полимера, непосредственно прилегающих к поверхности наполнителя [2].

ИК-спектры ПКМ до и после трения по характеристическим пикам идентичны. Наиболее интенсивными являются полосы, относящиеся к валентным колебаниям CF₂ групп (1202 и 1146 см⁻¹). Кроме этого, на ИК-спектрах ПКМ до и после трения зарегистрированы пики в области 2926 см⁻¹, 2850 см⁻¹ и 1460 см⁻¹, относящиеся к валентным и деформационным колебаниям СН₂-группы и к молекулам кристаллизационной воды. Повышение интенсивности пиков, относящихся к колебаниям наполнителя, после трения свидетельствует об активном участии БВ в процессах трения. Это свидетельствует о протекании сложных трибохимических реакций на поверхности трения, окислении фрагментов трибораспада ПТФЭ вследствие разрушения структуры материала, разрыва цепей и «аморфизации» поверхностного слоя.

Заключение

На основании проведенных исследований физико-механических, трибологических и термодинамических свойств ПТФЭ, наполненного базальтовыми волокнами, можно сделать заключение, что активированные базальтовые волокна являются эффективными наполнителями ПТФЭ. Позволяющими получить материалы триботехнического назначения, характеризующиеся стабильными и низкими значениями интенсивности изнашивания при сохранении деформационно-прочностных показателей.

1. Старцев О.В. // Высокомолекулярные соединения. — 1983 (25), № 11, 2267—2270
2. Липатов Ю.С. Физико-химические основы наполнения полимеров. — М.: Химия. — 1991

СТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛИМЕР — СИЛИКАТНЫХ КОМПОЗИТОВ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Ф.Д. Васильева, С.А. Слепцова

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия; ssard@yandex.ru

В последнее время использование слоистых силикатов в качестве наполнителей полимеров вызывает большой интерес. Получаемые из них наночастицы однородны по размерам и имеют хлопьевидную форму, что может способствовать повышению механических свойств нанокompозитов. Немаловажным фактором является доступность исходного материала [1].

Необходимость в альтернативных технологиях модификации полимеров связана с многостадийностью традиционных процессов, высокими энерго- и трудовыми затратами, экологической напряженностью производства. Исследования по применению электрофизических методов обработки материалов и изделий показали эффективность использования для этой цели энергии сверхвысокочастотных (СВЧ) электромагнитных колебаний [2].

В работе показаны результаты, полученные при разработке и исследовании свойств нанокompозитов триботехнического назначения на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) и вермикулита, обработанных в поле СВЧ, а также с бинарным наполнителем — вермикулитом и шпинелью магния.

Выбраны способы модификации наполнителей для улучшения совместимости с полимерной матрицей и режимы их обработки включающие: механоактивацию вермикулита в планетарной мельнице и последующим добавлением нанощпинели магния; обработка композитов на основе ПТФЭ и вермикулита в СВЧ.

Для создания полимер- силикатных композитов триботехнического назначения показана эффективность и перспективность использования дополнительной модификации слоистых силикатов нанодисперсными соединениями шпинели магния и объ-

емная обработка композиционной смеси в поле СВЧ. Разработанные композиты характеризуются более высокими прочностными и триботехническими свойствами.

Для оценки влияния наполнителя на процессы трения и изнашивания композитов проведены структурные исследования композитов.

Результаты ИК- спектров ПКМ подтверждают образование солей карбоновых кислот и возможную сшивку отдельных фрагментов макромолекул путем образования эфирных группировок, наблюдающихся в области спектров 1200—1300 см⁻¹.

Рентгенографический анализ показал, что в результате модификации ПТФЭ вермикулитом, формируется частично интеркалированный полимер-силикатный нанокompозит.

Анализ результатов термодинамических исследований ПКМ показывает, что при введении наполнителей повышаются термодинамические параметры и степень кристалличности системы. Наиболее высокой степенью кристалличности обладает композит, модифицированный вермикулитом 4,5 мас.% и НШ 0,5 мас.%. Именно данный композит характеризуется наиболее оптимальным комплексом высоких эксплуатационных показателей.

Таким образом, разработаны новые материалы, характеризующиеся повышенной износостойкостью и эластичностью.

1. Охлопкова А.А., Адрианова О.А., Попов С.Н. Модификация полимеров ультрадисперсными соединениями. — Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН. — 2003
2. Калганова С.Г. Электротехнология нетепловой модификации полимерных материалов в СВЧ электромагнитном поле: Автореф. дис. д-ра техн. наук. — Саратов. — 2009

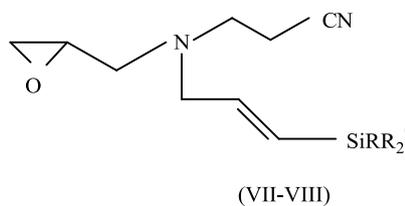
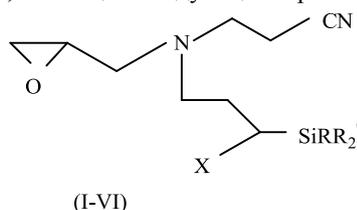
ТЕРМОСТОЙКИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПОЛУЧЕННЫЕ НА ОСНОВЕ АМИНОСОДЕРЖАЩИХ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

М.Г. Велиев, О.В. Аскеров, М.И. Шатирова, А.Ф. Гулиева

Институт полимерных материалов НАН Азербайджана, Сумгайыт, Азербайджан; mveliye@mail.ru

В связи с развитием народного хозяйства увеличивается спрос на полимерные материалы, в том числе на кремнийорганические олигомеры и полимеры, используемые в производстве пластических масс, герметиков и резин, лакокрасочных и антикоррозионных покрытий [1, 2].

Для увеличения тепло- и термостойкости покрытий на основе полиэфирной и эпоксидиановой композиций разработан метод получения термостойких композиционных материалов путем введения в состав смолы аминоксодержащих кремнийорганических соединений. Синтез аминоксодержащих кремнийорганических соединений осуществлен путем гидросилилирования эпоксиаминопропионитрилов аллилового и пропаргилового ряда [3] триарил(алкил-, алкокси-) гидридсиланами в присутствии катализатора ацетилацетонат-дикарбонила рода, имеющих следующее строение:



X=O, R=CH₃, R'=C₆H₅(I); X=O, R=R'=OC₂H₅(II);
X=Cl, R=CH₃, R'=C₆H₅(III); X=Cl, R=C₆H₅, R'=CH₃(IV);
X=CH₃, R=CH₃, R'=C₆H₅(V); X=CH₃, R=C₆H₅, R'=C₂H₅(VI);
X=CH₃, R'=C₆H₅(VII); R=C₆H₅, R'=C₂H₅(VIII);

Синтезированные аминоксодержащие кремнийорганические соединения (I—VIII) были испытаны в качестве модификаторов-термостабилизаторов полиэфирной и эпоксидиановой смолы и использованы для увеличения термостойкости композиционных материалов полученных на их основе. Содержание вводимых аминоксодержащих кремнийорганических соединений (I—VIII) 10—30 вес.ч. на 100 вес.ч. полиэфирной или эпоксидиановой смолы.

Результаты исследований показали, что модификаторы (I—VIII), содержащие в своем составе атомы кремния, азота и оксиановое кольцо обладают более высоким модифицирующим и термостабилизирующим эффектами и увеличивают термостойкость на 40—50 °С по сравнению с немодифицированной смолой.

Установлено, что синтезированные аминоксодержащие кремнийорганические модификаторы (I—VIII) увеличивают также и относительное удлинение покрытий и могут быть использованы в качестве модификаторов-стабилизаторов полиэфирных и эпоксидиановых смол.

1. Велиев М.Г., Чалабиева А.З., Ищенко Н.Я., Аскеров О.В. Исследование модифицирующих свойств некоторых функциональных кремнийорганических соединений // Пластические массы. — 2005, № 10, 24—25
2. Велиев М.Г., Гусейнова З.Н., Ищенко Н.Я., Шатирова М.И., Аскеров О.В. Модификация полиэтилена кремнийорганическими эпоксидными соединениями // Пластические массы. — 2011, № 5, 44—45
3. Велиев М.Г., Алыев Н.А., Аскеров О.В., Шатирова М.И. Синтез и свойства эпоксиаминопропионитрилов аллилового и пропаргилового ряда // Химические проблемы. — 2008, № 3, 519—529

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ АЛКИДНО-СТИРОЛЬНЫХ СМОЛ

Е.И. Винглинская, Н.Р. Прокопчук, А.Л. Шутова

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь; Vinglik@rambler.ru

Цель. В связи с постоянным ростом цен на энергоресурсы все большее значение приобретает поиск путей снижения энергоемкости процессов получения лакокрасочных покрытий. Создание новых пленкообразователей для материалов естественной сушки, способных быстро формировать покрытия (время высыхания — не более 30 мин) является актуальной задачей в области потребления лаков и красок. Одним из способов решения этой задачи является модификация алкидных олигомеров стиролом, что позволяет получать быстросохнущие материалы естественной сушки.

В настоящее время алкидно-стирольные смолы широко представлены зарубежными производителями, однако на территории Республики Беларусь их не производят. В свою очередь создание отечественных алкидно-стирольных смол позволит снизить импортозависимость белорусских потребителей лакокрасочных материалов, обеспечит экономию энергоресурсов, а также приведет к повышению конкурентоспособности продукции белорусских предприятий за счет удешевления процесса окраски продукции. Поэтому цель данной работы — изучение особенностей получения алкидно-стирольных смол с целью дальнейшего их производства в Республике Беларусь.

Сущность. Принципиально возможны различные методы получения алкидно-стирольных сополимеров [1]:

1) сополимеризация жирных кислот растительных масел со стиролом и последующее взаимодействие полученного сополимера с остальными компонентами алкидных олигомеров (глицерин, фталевый ангидрид) по жирнокислотному методу;

2) сополимеризация масел со стиролом и последующий синтез алкида по глицеридному способу с использованием масляного сополимера;

3) сополимеризация моноглицеридов со стиролом с последующей их этерификацией;

4) сополимеризация предварительно полученного алкида со стиролом.

Согласно литературным данным [2—4] в основе процесса получения алкидно-стирольных смол можно выделить следующие особенности:

— наиболее распространенным методом получения алкидно-стирольных сополимеров является сополимеризация предварительно полученного алкида со стиролом;

— стирол может быть легко сополимеризован либо в блоке, либо в растворе при 140—170 °С;

— стирол хорошо сополимеризуется с жирными кислотами, имеющими сопряженные двойные связи,

но очень большое их содержание может легко вызвать желатинизацию в результате образования пространственных полимеров, вследствие сшивки радикалов жирных кислот;

— небольшая добавка малеинового ангидрида способствует получению однородной смолы с хорошими свойствами;

— применение вместо стирола смеси, состоящей из стирола и 25—35% α -метилстирола, дает возможность получать светлые однородные продукты с большим количеством масла;

— необходимым условием получения гомогенного продукта реакции является введение 1—4% (от массы мономера) инициатора (например, перекись третичного бутила);

— для сополимеризации лучше использовать метод, при котором стирол необходимо постепенно вводить в смесь в течение нескольких часов вместе с инициатором;

— предельное содержание стирола \approx 40%.

Заключение. В данной работе были исследованы возможные методы синтеза алкидно-стирольных смол, а также особенности их получения. На основании проведенной работы можно отметить, что для получения гомогенного продукта с хорошими свойствами в реакции сополимеризации следует регулировать количественные соотношения реагирующих веществ, тип и количество инициатора, температуру и тип растворителя, если сополимеризация проводится в растворе. Применяя одинаковые условия процесса, можно получить и технически однородные продукты. В настоящее время в лаборатории на кафедре технологии нефтехимического синтеза и переработки полимерных материалов нами уже получена пробная алкидно-стирольная смола. В промышленности наиболее распространенным, ввиду своей экономичности, является метод сополимеризации предварительно полученного алкида со стиролом. В дальнейшем планируется наладить производство алкидно-стирольных смол данным методом на технологических линиях ОАО «Лакокраска» г. Лида.

1. Сорокин М.Ф., Шодэ Л.Г., Кочнова З.А. Химия и технология пленкообразующих веществ. — М.: Химия. — 1981
2. Пэйн Г. Ф. Масла, смолы, лаки и полимеры / пер. с англ. М.Д. Гордонова и др.; под ред. Е.Ф. Беленького. — Л.: Госхимиздат. — 1959 (Технология органических покрытий: в 2 ч. / Г. Ф. Пэйн; ч. 1)
3. Пот У. Полиэфирные и алкидные смолы. — М.: Пейнт-Медиа. — 2009
4. Коршак В.В. Мономеры. — М.: Изд-во иностр. лит-ры. — 1953 (Сборник статей: в 2 ч. / В. В. Коршак; ч. 2)

РАЗРАБОТКА САМОСМАЗЫВАЮЩИХСЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА И МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕОЛИТОВ

О.В. Гоголева, П.Н. Петрова

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия; oli-gogoleva@yandex.ru

Основополагающим и актуальным направлением развития материаловедения является разработка машиностроительных материалов различного назначения на основе полимерной матрицы. Фторполимеры обладают комплексом уникальных свойств, которые соответствуют современному ритму жизни и высоким требованиям, предъявляемым предприятиями химической, нефтяной, металлургической и многих других отраслей промышленности для обеспечения высокой надежности и стабильности работы технологического оборудования. Наиболее доступным и приемлемым методом модификации является, в частности, использование возможности введения в полимеры жидких и твердых компонентов, совместное действие которых может изменять первоначальные свойства полимеров и тем самым получать материалы с заданными свойствами. Целью данной работы является разработка новых самосмазывающихся триботехнических полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ).

В ранее проведенных работах [1, 2] было показано снижение скорости массового изнашивания до 600 раз, температуры в зоне трибоконтакта в 2 раза, коэффициента трения в 2 раза композитов, содержащих пропитанный в моторном масле цеолит по сравнению с ненаполненным ПТФЭ. Установлены закономерности структурообразования в композициях ПТФЭ, модифицированных цеолитом, пропитанным в моторном масле. Показано, что введение наполнителей в ПТФЭ приводит к трансформации ламелярной структуры связующего в сферолитную. Введение цеолита, пропитанного маслом, способствует уменьшению структурных элементов, с формированием мелкоцеолитной структуры.

В данной работе методом дифференциальной калориметрии установлено уменьшение энтальпии плавления композитов, что свидетельствует о формировании мелкокристаллических структурных элементов. Зарегистрировано снижение степени кристалличности модифицированного ПТФЭ, связанное с влиянием жидкой смазки на повышение молекулярной подвижности макроцепей связующего в областях, граничащих с поверхностью наполнителя. Эти процессы благоприятно влияют на процессы перестройки и упорядочения жестких макромолекул ПТФЭ, стимулируя процесс формирования мелкокристаллической структуры [3].

Зарегистрировано повышение нагрузочной способности ПКМ в 1,5 по сравнению с ненаполненным ПТФЭ. Это объясняется образованием на

поверхности трения устойчивых кластерных структур, предохраняющих материал от дальнейшего изнашивания.

На рис. 1 приведена зависимость нагрузочной способности материала от прикладываемой нагрузки. Установлено, что при модификации ПТФЭ повышается допустимые значения давления на материал до ~ 10 МПа. Вероятно, это объясняется тем, что частицы цеолита под действием температуры, нагрузки и скорости скольжения в процессе трения переносятся на поверхность трения с образованием с материалом связующего устойчивых кластерных структур, предохраняющих материал от дальнейшего изнашивания.

Таким образом, установлено, что модификация ПТФЭ предварительно пропитанным в моторном масле цеолитом приводит к повышению значения PV фактора до 10 МПа·м/с при скорости скольжения 1 м/с, тогда как значения PV фактора для ненаполненного ПТФЭ соответствует 7,5 МПа·м/с.

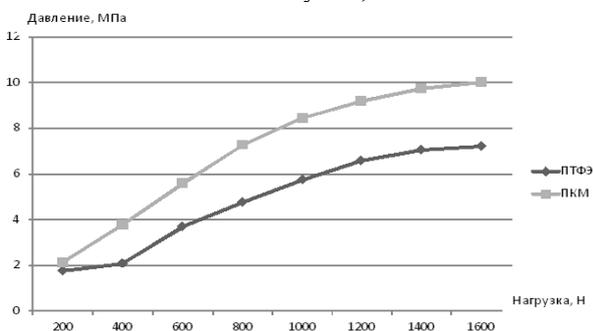


Рис. 1. Зависимость нагрузочной способности материала от прикладываемой нагрузки

Разработаны новые материалы с эффектом самосмазывания в течение длительного времени, обладающие повышенной нагрузочной способностью, для узлов трения различного назначения для техники, эксплуатируемой в условиях Крайнего Севера.

1. Гоголева О.В., Алексеев А.А. Комплексная модификация как способ повышения свойств композитов на основе политетрафторэтилена / Сб. тез. докл. межд. науч. конф. «Полимерные композиты и трибология». Поликомтриб-2011. — Гомель. — 2011
2. Гоголева О.В., Петрова П.Н., Дедиюкин А.Е. Разработка машиностроительных материалов на основе политетрафторэтилена и природного цеолита / Сб. тр. межд. конф. «Композиционные материалы в промышленности. Славполикком». — Ялта. — 2012, 383—385
3. Теплофизика полимеров / Под ред. Ю.К. Годовского. — М.: Химия. — 1982

МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫЙ КОМПОЗИТ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ СО СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ КОММУТИРУЮЩЕЙ ФАЗОЙ

В.В. Гончаренко, П.И. Лобода, И.О. Микулёнок, М.В. Гончаренко,
Г.В. Герасимов, Ю.Ф. Евдокименко, Д.Г. Швачко

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
Киев, Украина; vvgonch@ukr.net

В момент запуска активного элемента, выполненного из металлополимерного композита (МПК), обладающего эффектом памяти формы (ЭПФ), коммутирующая фаза должна потерять способность к сопротивлению растягивающему усилию, накопленному в армирующих пружинах, что приведет к термической усадке функционального МПК в условиях выполнения механической работы. Момент запуска коммутирующей фазы специализированного МПК с ЭПФ определяется прежде всего температурой размягчения полимерной матричной композиции. Точность достижения момента запуска сенсора-активатора, выполненного из МПК с ЭПФ, зависит от ширины температурного порога чувствительности (ТПЧ). Чем шире диапазон температур, в котором происходит тепловое разрушение структурной сетки физических связей между узлами, образованными главным образом кристаллитами, тем шире ТПЧ коммутирующей фазы МПК с ЭПФ, тем менее четко может быть установлен момент запуска процесса термической усадки такого МПК в условиях выполнения механической работы. Одним из полимеров, наиболее удобных для изготовления композиций с узким ТПЧ, является полиэтилен марки LLDPE M3804 RWP (SCG-Chemical, Таиланд, Бангкок), предназначенный для ротационного формования замкнутых ёмкостей. Для того, чтобы снизить ТПЧ с 143 °С до заданного значения, наиболее удобно использовать наполнение олигомером (парафином), который в принципе не может привести к расширению ТПЧ. С увеличением концентрации C парафина в полимерной композиции наряду с понижением температуры размягчения T происходит также снижение прочности σ (рис. 1). Интересен тот факт, что эта концентрация соответствует «золотой пропорции» Фибоначчи [2] и может быть связана с

переходом из количества в качество.

Пользуясь результатами, проведенными на рис. 1, можно оценить возможности снижения коммутирующей температуры МПК с ЭПФ с позиций обеспечения достаточной прочности при заданной концентрации парафина.

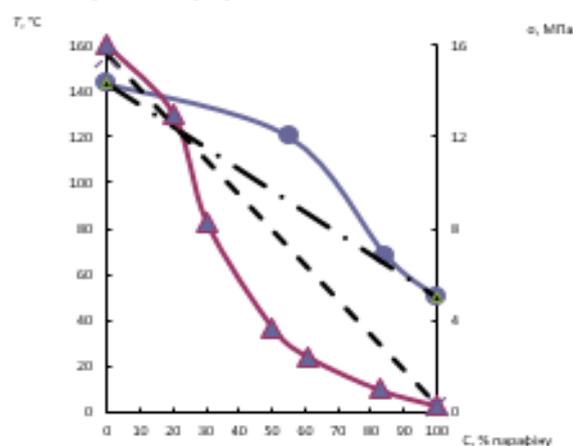


Рис. 1. Графики (целые линии) зависимостей температуры размягчения $T(C)$ и прочности σ от концентрации C парафина в композициях «полиэтилен-парафин»; воображаемые общие графики линейных зависимостей $T(C)$ (штрихпунктирная линия) и σ (пунктирная линия) соединяют точки зависимостей

1. Goncharenko V.V., Mikulionok I.O., Goncharenko M.V., Gerashimov G.V., Martynenko N.M., Shvachko D.G. Temperature tailored sensor-actuator on a basis of the shape memory metal reinforced polymer matrix composites. — “Strategiczne pytania swiatowej nauki-2012”: Materiały VIII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji. — Przemysl, Poland. — 2012, 14—16
2. Fisher R. Fibonacci Applications and Strategies for Traders. — New York, John Wiley and Sons, Inc. — 1993

НОВЫЕ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ ФОРМЫ, ВЫДЕЛЕННЫЕ ИЗ УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

О.М. Горбенко, Л.Н. Игнатьева, В.Г. Курявый, Д.В. Машталяр, А.Д. Павлов, В.М. Бузник

Институт химии ДВО РАН, Владивосток, Россия; gorbenko@ich.dvo.ru

Для ряда современных технологий интерес представляют модифицированные формы политетрафторэтилена (ПТФЭ). Как правило, они имеют иные температуры плавления, размягчения и разложения. Ультрадисперсный политетрафторэтилен (УПТФЭ) (торговая марка ФОРУМ), полученный термогазодинамическим способом, относится к таким формам. Одной из интересных особенностей УПТФЭ является то, что термическая деструкция этого материала протекает в широком температурном интервале: от 50 до 500 °С. Такое поведение можно объяснить присутствием в составе порошка фаз с различной термической устойчивостью, которая, в свою очередь, зависит от молекулярной массы макромолекул, образующих эти фазы. Хромато-масс-спектрометрический анализ позволил идентифицировать в составе УПТФЭ компоненты с числом атомов углерода от C_5 до C_{70} . Из вышесказанного следует, что изменяя температуру и методику выделения продукта деструкции, можно получать фазы разного состава и строения, обладающие различными свойствами, тем самым расширять число модифицированных форм УПТФЭ.

В настоящей работе представлены фракции, выделенные из УПТФЭ при температурах ниже 100 °С. Выделение фракций осуществляли сублимацией порошка УПТФЭ при изотермических условиях при температурах 50, 60, 70, 80, 90 и 100 °С с последующей конденсацией полимерных продуктов на хладоприемнике. Порошок, оставшийся после отбора каждой фракции, продолжали нагревать и через каждые 10 градусов отбирали выделившийся продукт. Все выделенные продукты представляют собою порошки белого цвета. Для определения состава выделенных фаз был применен хромато-масс-спектрометрический анализ. Анализ хроматограмм показал, что выделенные образцы представляют собою смесь насыщенных и ненасыщенных фторуглеродов, из-за чего основная масса пиков на хроматограммах имеет неправильную форму. Пики насыщенного C_nF_{2n+2} и ненасыщенного фторуглеродов C_nF_{2n} не разделяются. Фракция 50 °С представлена легкими фторуглеродными молекулами с числом атомов углерода от 4 до 10; фракция 60 °С — от 5 до 11; фракция 70 °С — от 6 до 12; фракция 80 °С — от 6 до 13; фракция 90 °С — от 7 до 14; фракция 100 °С — от 8 до 15. Характер хроматограмм позволил оценить количественный состав фракций в зависи-

мости от температуры их выделения. Так фракция 50 °С содержит в основном фторуглерод с количеством атомов углерода равным 7 — C_7 , фракция 60 °С — C_8 , фракция 70 °С — C_9 , фракция 80 °С — C_{10} , фракция 90 °С — C_{11} , фракция 100 °С — C_{12} .

Методом инфракрасной спектроскопии выявлена зависимость интенсивности полосы, характеризующей колебания концевой группы $-CF=CF_2$ в ИК спектрах изученных фракций, от числа атомов углерода.

Проведены исследования термических свойств полимерных продуктов, выделенных из ультрадисперсного политетрафторэтилена сублимацией. Фракции, выделенные из УПТФЭ при 50, 60, 70, 80, 90 и 100 °С, имеют свои, присущие только им, термические свойства. Деструкция этих фракций протекает в две стадии. На первой стадии происходит постепенное освобождение исходной полимерной фракции от низкомолекулярных продуктов, летучих при низких температурах. На второй стадии происходит активное разложение полимерных фракций. Оно сопровождается интенсивным ростом газоотделения, т.е. образованием молекул, способных испаряться во всем объеме образца полимера.

По данным рентгенофазового анализа, кристаллическая фаза, характерная для исходного УПТФЭ, сохраняется (кроме фракции 50 °С), и доля ее растет по мере возрастания температуры выделения фракции.

Особенностью морфологии низкомолекулярной серии является ее пленочное строение. Однако образец, выделенный при температуре 50 °С, составлен из пористых пленок, наночастиц в виде стержней и овальных наночастиц. Более высокотемпературные фракции характеризуются утолщением пленок, появлением нанофибрил — протяженных и разветвленных волокнистых структур. Образец, выделенный при 100 °С, составлен только из кусков пленок. Стержни и волокна не просматриваются на изображениях данной фракции.

В заключение можно сказать, что все описанные выше фракции, которые являются модифицированными УПТФЭ, можно выделить из ультрадисперсного политетрафторэтилена и использовать как самостоятельный продукт

ХЕЛАТНЫЕ ВОЛОКНИСТЫЕ ИОНИТЫ ФИБАН X-1 И X-2 ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ

В.И. Грачек, А.А. Шункевич, Р.В. Марцынкевич, О.И. Исакович, Е.И. Вечер

Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь; grachek@ifoch.bas-net.by

Цель

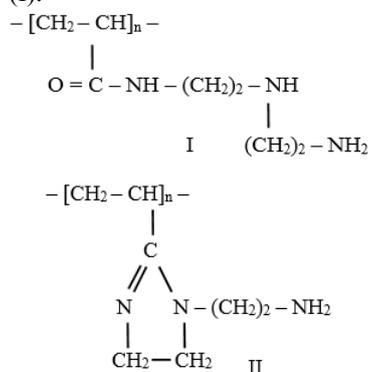
Целью работы является синтез хелатных волокнистых ионитов, обладающих повышенной селективностью к отдельным ионам.

Материалы и методы

Для синтеза хелатных сорбентов в качестве матрицы использовали полиакрилонитрильное волокно «нитрон». Функциональные группы вводили с помощью реакций аминирования (I стадия) и N-алкилирования аминированного волокна (AB) (II стадия). Аминирование волокна «нитрон» можно проводить двумя методами. Первый метод — это получение АВ в водной среде. Второй метод — получение АВ в паровой фазе. В зависимости от амина, используемого при аминировании волокна «нитрон», синтезированные сорбционные материалы получили следующие товарные названия: при аминировании этилендиамином — ФИБАН X-1, при аминировании диэтилентриамином — ФИБАН X-2. Алкилирование АВ проводили монохлоруксусной кислотой или ее натриевой солью при температуре 100 °С, поддерживая рН реакционного раствора равным ~ 9,0.

Результаты и их обсуждение

Методом ИК Фурье-спектроскопии определена структура полученных ионитов. Показано, что условия синтеза АВ неодинаково влияют на структуру ионитов. Для ионита ФИБАН X-1 фаза, в которой происходит получение АВ, не имеет значения, и ФИБАН X-1 имеет амидоаминную структуру. Структура хелатного ионита ФИБАН X-2 зависит от условий синтеза АВ. При проведении процесса в водной среде ФИБАН X-2в имеет амидоаминную структуру (I).



Аминирование в паровой фазе приводит к получению ФИБАН X-2п, содержащего в своей структуре имидазолиновое кольцо, структура (II).

Исследование сорбционных свойств хелатных ионитов по катионам тяжелых и цветных металлов проводили в динамических условиях, используя модельный раствор, содержащий по $2 \cdot 10^{-2}$ ммоль/л солей металлов на фоне 2 ммоль/л CaCl_2 . По выходным кривым сорбции рассчитаны динамические емкости до проскока ионов металлов при концентрации их в вытекающем растворе 5% от начальной концентрации (таблица 1).

Таблица 1. Динамические емкости до проскока ионов металлов на ионитах

Сорбент	СОЕ _{СООН} ммоль/г	Динамическая емкость до проскока, ммоль/г			
		Cu ²⁺	Pb ²⁺	Ni ²⁺	Mn ²⁺
X-1	3,7	0,46	0,45	0,18	0,02
X-2п	5,3	0,23	0,23	0,09	0,17
X-2в	5,0	0,24	0,25	0,08	0,07
ВИОН КН-1	6,67	0,17	0,18	0,03	—

Из таблицы видно, что катионит ФИБАН X-1 обладает динамической ёмкостью до проскока по всем катионам металлов почти в 2 раза большей, чем ёмкость сорбента ФИБАН X-2, за исключением ионов марганца. Исследования показали, что ФИБАН X-2п, имеющий структуру II, сорбирует ионы Mn²⁺ в 8 раз лучше ФИБАН X-1 и в 2 с лишним раза лучше ФИБАН X-2в, имеющего структуру (I).

Проведение испытаний после регенерации сорбентов показало, что иониты не теряют свои сорбционные и механические свойства и могут применяться, как минимум, еще в двадцати циклах сорбции-десорбции.

В Институте создана опытная установка по получению ионитов производительностью 2 тонны в год. Сорбенты выпускаются в виде волокна, аппаратной пряжи и нетканых материалов. Результаты использования сорбентов в фильтрационных установках фирмы «Мифил» и фильтрах кувшинного типа показали, что один грамм ФИБАН X-1 может очистить 8—10 литров воды, содержащей 6,5 мг/л Fe²⁺, а один грамм ФИБАН X-2 может очистить 17—18 литров воды, содержащей 0,5 мг/л Mn²⁺. Испытания аппаратной пряжи ионитов показали, что пряжа очищает воду от меди и свинца в водопроводной воде (концентрация Cu²⁺ 0,06 мг/л, концентрация свинца 0,1 мг/л) при времени контакта с потоком от 9 до 1,55 секунд на 93—95%, а при времени контакта 0,55 секунды на 78—81%.

НАНОКОМПОЗИТЫ ДЛЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ

Н.В. Губанова

Воронежская государственная лесотехническая академия, Воронеж, Россия; gubanova@freemail.ru

Нанотехнологии позволяют создавать материалы и структуры, в которых проявляются новые существенно улучшенные физико-механические и антифрикционные свойства, с использованием наноразмерных объектов (от 1 до 200 нм) [1, 2]. Используя нанотехнологии можно управлять свойствами макрообъектов, осуществляя контроль структуры на молекулярном уровне [3].

Многочисленными были проведены исследования, в которых для получения нанокompозитов на основе модифицированной древесины использовались: смазка Biol, нанокристаллическая целлюлоза (НКЦ), высокодисперсный кремнезем (А-300). Экспериментальные исследования проводились на модернизированной машине трения типа МИ-1М. Испытания на трение и износ проводились на образцах в виде колодки с торцевой рабочей поверхностью. Образцы готовились по следующей технологической схеме:

– получение спрессованных заготовок из древесины березы в виде брусков с размерами $65 \times 65 \times 300$ мм и плотностью 1100 ± 20 кг/м³ (ГОСТ 9629-81);

– выпиливание образцов в форме прямоугольной призмы из спрессованных брусков на фрезерном станке мод. 676; размеры образцов для испытаний на трение — $10 \times 25 \times 10$ мм, для испытаний на износ — $10 \times 5 \times 10$ мм;

– пропитка образцов в автоклаве под давлением 40 бар, образцы пропитывались минеральным маслом Индустриальное И-50А ГОСТ 20799-88, смазкой Biol ТУ 0253-004-72589978-2005 с добавками нанокристаллической целлюлозы (НКЦ) и аэросила (А-300). После пропитки образцы содержали:

ДП-М1 — 12...14% масла Индустриальное И-50А;

ДП-М2 — 10...12% смазки Biol;

ДП-М3 — 10% смазки Biol + 2% НКЦ;

ДП-М4 — 10% смазки Biol + 2% НКЦ + 2% аэросила (А-300);

– формирование поверхности трения на токарно-винторезном станке;

– доводка образцов.

Точность изготовления и количество образцов принимались по ГОСТ 16483.0-89.

В результате испытаний на трение и износ образцов из ДП-М определено влияние скорости скольжения и контактного давления на коэффициент трения и температуру образцов из модифицированной спрессованной древесины (ДП-М). С увеличением контактного давления коэффициент трения снижается с 0,08...0,09 до 0,05...0,052 для ДП-М3 и ДП-М4.

Для ДП-М1 и ДП-М2 коэффициент трения сначала снижается до значений 0,11 и 0,075 соответственно, а затем возрастает, что связано с ростом тем-

пературы до 110 и 140 °С и интенсивным выносом смазки из зоны трения. Для образцов из ДП-М3 и ДП-М4 температура при максимальной нагрузке 5,0 МПа не превышает 90—100 °С и ее зависимость имеет линейный характер. Для образцов из ДП-М1 и ДП-М2 при нагрузках выше 4,0 МПа наблюдается более интенсивный рост температуры до 140 и 110 °С.

Из анализа зависимости коэффициента трения от скорости скольжения видно, что с увеличением скорости скольжения коэффициент трения для всех образцов сначала снижается, а затем возрастает. Минимальные значения коэффициента трения имеет в диапазоне скоростей 0,4—0,6 м/с; для ДП-М1, ДП-М2, ДП-М3, ДП-М4 — соответственно 0,15; 0,07; 0,06; 0,05.

Зависимости температуры в зоне трения образцов из ДП-М от скорости скольжения показывают, что с ростом скорости скольжения наблюдается практически линейный рост температуры. Наибольшей работоспособностью по температурному режиму обладают образцы из ДП-М3 и ДП-М4 соответственно 98 и 106 °С.

В ходе испытаний определено, что более высокой износостойкостью обладают образцы ДП-М3 и ДП-М4. Образцы ДП-М4, имеющие в своем составе смазку Biol с нанодисперсными наполнителями — нанокристаллической целлюлозой (НКЦ) и аэросилом (А-300) показали самую высокую износостойкость. По сравнению с образцами из ДП-М1, имеющими в своем составе масло Индустриальное И-45, образцы из ДП-М4 в 4...4,5 раза выше по износостойкости.

Вывод. По результатам исследования антифрикционных свойств и износостойкости для производственных испытаний рекомендуется спрессованная древесина (ДП), пропитанная смазкой Biol с нанодобавками аэросила (А-300) и нанокристаллической целлюлозы (НКЦ).

Анализ результатов показал, что за счет наномодифицирования поверхностей трибосопряжений скорость изнашивания образцов из МД с нанонаполнителями снизилась в 2,5—3,5 раза.

1. Мышкин Н.К., Свириденко А.И., Фридрих К. Развитие трибологии полимерных материалов // Полимерные композиты и трибология: матер. междунар. науч.-техн. конф. — Гомель. — 2011, 3
2. Борисенко Л.И. и др. Трибологические свойства новых кремнеземных смазок // Полимерные композиты и трибология: матер. междунар. науч.-техн. конф. — Гомель. — 2011, 48—49
3. Губанова Н.В. Исследование технологических режимов получения модифицированной древесины // Молодой ученый. — Чита: Молодой ученый. — 2010 (23), Т. 1, № 12, 17—19

СИНТЕЗ СОПОЛИМЕРА НА ОСНОВЕ П-(2-ЭТОКСИМЕТИЛ)ЦИКЛОПРОПИЛСТИРОЛА И МАЛЕИНОВОГО АНГИДРИДА

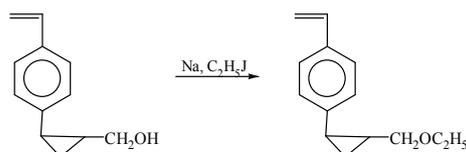
К.Г. Гулиев, Г.З. Пономарева, Р.В. Джафаров, А.Т. Алыев, А.А. Нагиева

Институт Полимерных Материалов НАН Азербайджана, Сумгайыт; ipoma@science.az

Наличие реакционноспособных функциональных групп в п-замещенных циклопропилстиролах обуславливает уникальные возможности для конструирования новых современных материалов на их основе.

Весьма перспективными в этом плане являются сополимеры на базе алкоксизамещенных циклопропилстиролов. Данное сообщение посвящено исследованию сополимеризации п-(2-этоксиметил)циклопропилстирола с малеиновым ангидридом с целью изучения свойств синтезированного сополимера.

Синтез этоксиметилзамещенного циклопропилстирола осуществлялся реакцией взаимодействия 2-(гидроксиметил)-п-циклопропилстирола с этилиодидом в присутствии металлического натрия при комнатной температуре.



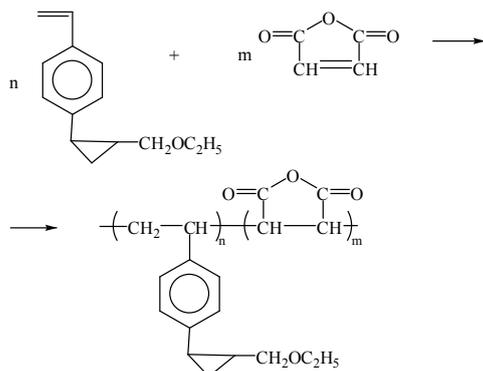
Сополимеризацию осуществляли в стеклянных ампулах при 70 °С в присутствии ДАК в бензоле.

Полученные сополимеры после очистки и высушивания представляют собой белые порошки, хорошо растворимые в большинстве органических растворителей и нерастворимые в ароматических углеводородах.

Изучен состав и структура сополимеров при различных мольных соотношениях исходных мономеров элементарными и спектральными методами анализа (ИК-, УФ- и ПМР-спектроскопия).

Установлено, что процесс сополимеризации в исследуемых условиях протекает за счет раскрытия двойных связей винильной группы и малеинового ангидрида с сохранением циклопропанового кольца.

Доказано, что синтезированный сополимер имеет следующую структуру:



Вычислены константы относительной реакционной способности r_1 и r_2 и параметры Q-е схемы сополимеризующейся системы.

Выявлено, что реакция сополимеризации сопровождается комплексобразованием с переносом заряда между мономерами. Значения констант сополимеризации ($r_1 = 0,07$, $r_2 = 0,002$) и их произведение ($r_1 r_2 \rightarrow 0$) свидетельствуют о том, что в сополимеризующейся системе ярко выражена тенденция к чередованию звеньев мономеров.

Изучена кинетика процесса с целью выявления влияния комплексобразования на процесс сополимеризации. Показано, что для данной системы он протекает с уменьшением объема реакционной смеси, что свидетельствует о прохождении реакции с раскрытием двойных связей мономеров.

Наличие в сополимере линейных полимерных структур, содержащих в боковых цепях макромолекул этоксиметилзамещенные циклопропановые группы в сочетании с ангидридными фрагментами, обуславливает его фоточувствительность, пластичность и пленкообразующую способность.

Синтезированный сополимер под действием УФ-облучения пленок на его основе достаточно легко превращается в нерастворимую форму. ИК-спектроскопическими исследованиями установлено, что интенсивности максимумов полос поглощения, характерных для циклопропанового кольца и карбонильной группы, значительно падают или полностью исчезают. Установлено, что эти группы принимают участие в фотохимических реакциях, приводящих к структурированию сополимера.

На основании проведенного исследования установлено, что синтезированный функциональный сополимер представляет собой ценный объект фотохимических исследований и может служить основой для создания фоточувствительных покрытий и пленок.

**ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТИЧНЫЕ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ СМЕСИ
ПОЛИЭТИЛЕНА, ПОЛИПРОПИЛЕНА И МЕЖФАЗНЫХ ДОБАВОК**

З.Н. Гусейнова, С.А. Рзаева

Институт Полимерных Материалов НАН Азербайджана, г. Сумгайыт; ipoma@science.az

Для улучшения эксплуатационных свойств полимерных материалов проводится модификация уже имеющихся крупнотоннажных промышленных полимеров. Основу этого процесса составляет частичная деструкция с образованием свободных макрорадикалов при термомеханическом смешении полимеров, рекомбинация макрорадикалов между собой с образованием композиций с новой структурой и свойствами [1, 2].

Известно, что совместимость полимеров отражает возможность получения композиционного материала, обладающего определенным комплексом свойств, т.к. смеси полимеров относятся к дисперсным коллоидным системам за счет коллоидной степени дисперсности одного из полимеров в другом. Основным отличием смесей является наличие межфазного слоя между полимерными компонентами смеси. Поскольку межфазные явления существуют в любой полимерной смеси и изучение их механизма образования и самих полимерных смесей в значительной мере связано решением проблемы целенаправленного регулирования эксплуатационных свойств полимерных смесей во время их переработки.

С учетом вышеизложенного в смеси ПЭ + ПП (90:10) наряду с низкомолекулярным модификатором-селендигликолом (продукт взаимодействия селенида натрия с этиленхлоридом) в качестве поли-

мерной межфазной добавки использован —поливинилхлорид (ПВХ-Э 6250 м., ρ (20 °С) — 1350 кг/м³; текуч. — 103 °С) в небольших дозах 2—8 мас.ч.

Было показано, что физико-механические свойства термопластов с каучуками, увеличиваются на порядок, что объясняется с низкой температурой текучести ПВХ по сравнению с ПЭНП и изотактическим ПП. В результате чего при термовоздействии образование макрорадикалов ускоряется при более пониженных температурах, улучшаются свойства межфазного слоя и совместимость полимеров. В следствии улучшаются комплекс характеристики смеси ПЭНП+ПП содержащих по 5 мас.ч. ПВХ и БНК-40; σ — 31,0 МПа; ϵ — 400%; теплостойкость — 140 °С; стойкость к растрескиванию > 500 час; стойкость к светостарению по прочности после 500 час. σ — 17 МПа; ϵ — 310%; а также прочностные свойства после термостарения при 120 °С в течении 500 час. σ — 23 МПа, ϵ — 380%.

1. Гусейнова З.Н. Модифицирование композиций ПЭ+ПП различными каучуками в присутствии теллура // Пласт. массы. — 2011, № 4, 43—45
2. Гусейнова З.Н. Термоэластопласты на основе смеси полиолефинов и эластомеров // Промышленное производство и использование эластомеров. — 2012, № 14, 30—33

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО КАРБОКСИЛИРОВАННОГО ПОЛИАКРИЛАМИДА

Т.Г. Данилович¹, Е.В. Гринюк², М. Газинежад²

¹Учреждение БГУ «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем, г. Минск, Беларусь; danilovich@tut.by

²Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Цель

Полиэлектролитные гели (ПЭГГ) на основе функционализированных полиакриламидов (ПАА) нашли широкое применение в медицине, сельском хозяйстве, нефтедобыче и других отраслях промышленности.

Наиболее часто такие ПЭГГ получают путем радиационного или химического сшивания макромолекул полимера в водных растворах [1, 2]. При этом существенным фактором, влияющим на эффективность процесса сшивания, является концентрация полимера в растворе. Получение же однородных растворов на основе высокомолекулярного ПАА ограничивается концентрациями полимера в несколько %. Цель настоящей работы заключалась в получении ПЭГГ на основе разбавленных растворов высокомолекулярного ПАА с использованием радиационного и химического сшивания.

Материалы и методы

В качестве объекта исследований использовали 1%-ный водный раствор частично гидролизованного ПАА марки FP-307 французской компании SNF Floerger.

Молекулярную массу полимера определяли вискозиметрически в капиллярном вискозиметре ВПЖ-2 с висязим уровнем с диаметром капилляра 0,56 мм при температуре 25 °С. В качестве растворителя использовали 3%-й раствор NaCl.

Степень анионности определяли потенциометрически, согласно методике, описанной в [3].

Радиационное сшивание проводили при комнатной температуре γ -лучами ⁶⁰Со на установке МРХ- γ -25М, мощность дозы 0,3 Гр/с. Величину поглощенной дозы варьировали от 0,5 до 25,7 кГр.

Химическое сшивание осуществляли при помощи ацетата хрома (АХ) при температуре 90 °С в течение 1 часа. Концентрация АХ варьировалась от 0,13 до 40 мас.% по отношению к массе полимера.

Величину гель-фракции и степень набухания ПЭГГ определяли гравиметрически.

Результаты и их обсуждение

Установлено, что ПЭГГ при облучении 1%-го водного раствора исследуемого карбоксилированного ПАА формируется при дозе облучения не ниже 4 кГр. Формирование ПЭГГ происходит в условиях, когда содержание карбоксилатных звеньев составляет примерно половину от исходного. Величина гель-фракции составляет около 70% и не изменяется

при дальнейшем увеличении дозы до 25 кГр. Однако водопоглощение (α) при этом снижается от 3800 до 120 г/г (рис. 1).

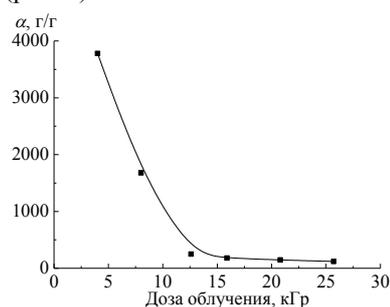


Рис. 1. Зависимость водопоглощения (α) ПЭГГ на основе карбоксилированного ПАА от дозы облучения

Определены величины гель-фракции и степени водопоглощения в ПЭГГ, полученных при сшивании ПАА с помощью АХ.

Установлено, что формирование ПЭГГ происходит при концентрации АХ, превышающей 0,13% от массы полимера. Содержание гель-фракции не зависит от концентрации АХ при изменении ее в пределах от 0,25 до 40 мас.% от массы полимера и составляет около 70%. Водопоглощение снижается от 2400 до 340 г/г при увеличении концентрации АХ от 0,25 до 13,3 мас.% от массы полимера. При дальнейшем повышении концентрации АХ до 40 мас.% величина водопоглощения практически не меняется (рис. 2).

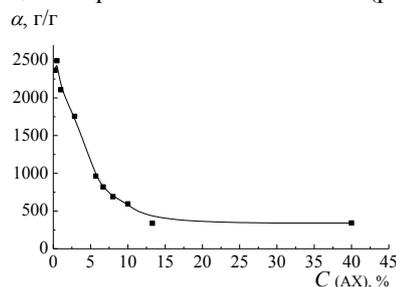


Рис. 2. Зависимость водопоглощения (α) ПЭГГ на основе карбоксилированного ПАА от концентрации АХ

1. Lockhart P.T. Chemical properties of chromium / polyacrylamide gels // SPE Advanced Technology Series. — 1994 (2), no. 2, 199—205
2. Круль Л.П. и др. Полиэлектролитные гидрогели на основе гидролизата полиакрилонитрильного волокна // Журнал прикладной химии. — 2003 (76), вып. 7, 1172—1175
3. Куренков, В.Ф., Бударина Л.А., Заикин А.Е. Практикум по химии и физике высокомолекулярных соединений: учеб. пособие. — М.: Колос. — 2008

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ И СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ АБРАЗИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ

Т.Г. Данилович¹, Е.А. Семененко¹, Н.С. Хомич², О.П. Корогода², А.Н. Хамутовский²

¹Учреждение БГУ «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем, Минск, Беларусь; danilovich@tut.by

²Научно-инженерное республиканское унитарное предприятие «Полимаг», Минск, Беларусь

Объектами исследования являлись композиционные ферроабразивные порошки (КФАП), применяемые в качестве инструмента при магнитно-абразивной обработке (МАО) поверхностей различных деталей. В композиции в качестве магнитной составляющей использовали порошок железа, абразива — материал шлифовальный из электрокорунда, связующие полимеры — АБС-пластик (термопластик) и новолак (термопластичная фенолформальдегидная смола).

Цель

Изучение поверхности частиц КФАП и исследование их функциональных свойств в процессе МАО.

Методика эксперимента

Обработка с помощью исследуемых КФАП изделий из циркониевых сплавов проводили на установке модели Т10, предназначенной для магнитно-абразивной обработки и модификации цилиндрических поверхностей. Микроструктуру поверхности, размер и форму частиц порошка-инструмента до и после МАО исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа. Изучение свойств (интенсивность съема и стойкость КФАП) проводили гравиметрическим методом. Оценку качественных характеристик поверхности до и после МАО проводили измерением параметров шероховатости методом контактной профилометрии.

Результаты и обсуждение

Исследованы ферроабразивные порошки фракцией 140/50 мкм, как исходные, так и после 5, 10 и 20 минут МАО. На рис. 1 показаны частицы исходного просеянного порошка, представляющие собой агрегаты частиц железа и электрокорунда, который прочно удерживается полимерными связующими на ферромагнитной основе.

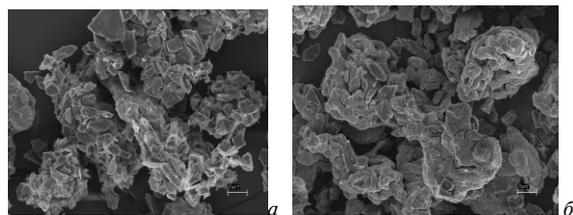


Рис. 1. Микрофотографии КФАП с различными полимерными связующими ($\times 1000$): а — КФАП-композиция с АБС-пластиком; б — КФАП-композиция с новолаком

Показано, что в процессе МАО поверхности детали порошком — инструментом с полимерными связующими количество частиц и размерность абразива-электрокорунда на поверхности порошка железа уменьшается. Однако и после 20 минут МАО на поверхности остается достаточное для эффективной обработки количество абразива.

Результаты экспериментов по исследованию интенсивности съема материала КФАП при МАО приведены в табл. 1. Показано, что наилучшие результаты по интенсивности съема показал состав КФАП с новолаком.

Таблица 1. Удельная интенсивность съема материала с поверхности детали в процессе МАО

№	Состав КФАП	Средняя интенсивность съема, мг/(см ² ·мин)
1	Железо — электрокорунд — АБС-пластик	1,55
2	Железо — электрокорунд — новолак	2,89

Результаты экспериментов по исследованию стойкости КФАП приведены на рис. 2. Каждым составом КФАП проводилась МАО в течение 20 минут, через каждые 5 минут обработки проводилось исследование съема (ΔG).

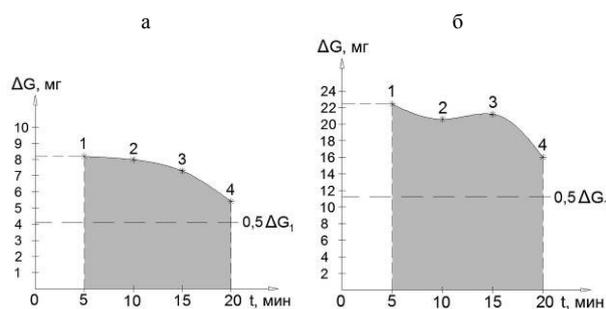


Рис. 2. Стойкость КФАП при МАО поверхности изделия: а — КФАП-композиция с АБС-пластиком; б — КФАП-композиция с новолаком

Установлено, что период стойкости незначительно зависит от состава КФАП. После 20 минут МАО значение съема, по сравнению с первоначальным, снизилось не более чем на 30% как для КФАП с АБС-пластиком, так и для КФАП с новолаком.

СОЗДАНИЕ ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА И ПЕСКА «ГЫЗЫЛДЖА»

В.Д. Джафаров, Г.Р. Бабаева

Институт полимерных материалов НАН Азербайджана, Сумгайыт, Азербайджан; valeh_ani@mail.ru

Большой научный и практический интерес представляет создание наполненных полимерных композиций и на их основе полимерных материалов с высокими эксплуатационными показателями на основе вторичного полимерного сырья. Получение полимерных, в частности, полиэтиленовых, материалов из вторсырья, содержащего до 60% наполнителя, позволит сэкономить до 60—70% первичного сырья и направить его на производство других необходимых изделий. Это позволяет в значительной мере сократить дефицит первичного полимерного сырья [1—3].

С целью получения высоконаполненных полимерных композиций и далее полимерных материалов из вторсырья нами использованы дисперсные минеральные наполнители с частицами различных размеров (50÷200 мкм). Это, обуславливает, с одной стороны, утилизацию отходов полимерных и минеральных ресурсов, что приводит к оздоровлению окружающей среды, с другой стороны — получение из указанных отходов полимерных материалов с высокими эксплуатационными характеристиками, которые могут применяться в различных отраслях промышленности.

Представленная работа посвящена получению высоконаполненных полимерных композиций на основе полиэтилена низкой плотности (ПЭНП), песка «Гызылджа» (наполнитель) и сополимера малеинового ангидрида с акриловой кислотой (аппрет), физико-механические свойства которых приведены в табл. 1.

Таблица 1. Физико-механические показатели полученных композиций

Соотношение компонентов композиции ПЭ : наполнитель (200 мкм)	Без аппрета		С аппретом	
	σ^* , МПа	ϵ^{**} , %	σ , МПа	ϵ , %
60 : 40	11,1	20	11,4	41
50 : 50	11,9	10	14,3	15
40 : 60	11,9	7	14,9	10

* σ — прочность при разрыве

** ϵ — относительное удлинение

Как видно из табл. 1, присутствие в композициях полимерного аппрета приводит к улучшению их физико-механических показателей. Это объясня-

ется хорошей совместимостью аппрета с компонентами.

Наряду с этим нами проведено исследование влияния дисперсности наполнителя на свойства полиэтиленовых композиций (табл. 2). Известно, что дисперсность наполнителя оказывает влияние на свойства полимерных композиций, т.е. приводит к возрастанию прочности при разрыве, однако при увеличении количества наполнителя относительное удлинение образца уменьшается.

Таблица 2. Влияние дисперсности наполнителя на физико-механические характеристики полученных композиций

Показатели	ПЭНП	Размер частиц наполнителей, мкм			
		50–63	63–100	100–150	150–200
Степень наполнения, %	0	40	40	40	40
Плотность, г/см ³	0,9194	1,310	1,299	1,275	1,270
Прочность при разрыве, МПа	12,5	12,8	12,7	11,9	11,5
Относительное удлинение, %	600	13	18	16,1	22
Температура плавления, °С	115	125	122	122	120

Из анализа экспериментальных данных (табл. 2) следует, что при введении наполнителей в одинаковом количестве (40%) увеличение дисперсности наполнителя с 200 до 50 мкм приводит к увеличению прочности композиций и уменьшению относительного удлинения, а температура плавления меняется незначительно. Дисперсность и природа наполнителей также оказывают влияние на надмолекулярную структуру композиции.

На основании полученных данных полученные композиции можно рекомендовать к применению в различных отраслях промышленности для получения изделий технического назначения (трубы, переходники и т.д.).

1. Вторичное использование полимерных материалов / Под ред. Б.Г. Любешкиной — М.: Химия — 1985.
2. Джафаров В.Д., Эфендиев А.А. / Conference “Compounds and materials with specific properties”. — New-York. — 2008
3. Джафаров В.Д. и др. / VII Бакинская Межд. Мамадалиевская конф. по нефтехимии. — Баку. — 2009, 244—245

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДЛЕНИЯ РЕСУРСА ТРИБОСИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ НАНОМОДИФИКАТОРА ФУЛЛЕРЕН C₆₀

Н.Ф. Дмитриченко, О.Н. Билякович, А.Н. Савчук, О.А. Миланенко, В.И. Лизанец

Национальный транспортный университет, Киев, Украина; oleg65@voliacable.com

Разработанная технология посвящена определению влияния наномодификаторов трения, которые в качестве присадок могут использоваться в смазочных средах разного назначения, на состояние и триботехнические свойства элементов трибосистем на протяжении продолжительного периода эксплуатации с целью повышения надежности последних, возможного увеличения периода их безотказного функционирования.

В качестве наномодификатора при реализации данной технологии предполагается использование фуллерена C₆₀, своеобразность строения молекул которого обусловила его уникальные физические и химические свойства: попадая в зону трения, молекулы фуллерена вносят структурные изменения в поверхность трибосопрежений, способны ее модифицировать в триботехнически выгодном направлении.

Сущность предложенной технологии, реализуемой в виде последовательности определенных процессов, изложена в нижеприведенных пунктах.

1. Компаундирование проб исследуемой марки масла (в состоянии поставки) фуллереном C₆₀ в различных концентрациях (1%, 2%, 3%, 5%) с целью проведения предварительных исследований относительно определения оптимальной концентрации наномодификатора.

2. Проведение предварительных испытаний на одноконтактной лабораторной установке СМЦ-2, которая моделирует условия эксплуатации трибосопрежений в реальных узлах и агрегатах трансмиссий транспортных средств для определения оптимальной концентрации фуллерена в фиксированном объеме смазочного материала. Анализ полученных результатов.

3. Организация и проведение натурных испытаний смазочного материала в состоянии поставки и с оптимальной концентрацией наномодификатора в условиях продолжительной эксплуатации трансмиссий, для чего немодифицированное и модифицированное масла заливаются в агрегаты однотипных подконтрольных транспортных средств (ПТС) и контролируется продолжительность их использования.

4. Осуществление отбора проб немодифицированного и модифицированного (в композиции с наномодификатором) масел из агрегатов ПТС с одинаковой периодичностью в соответствии с разработанным алгоритмом.

5. Проведение триботехнических исследований с целью оценки эффективности смазочного действия и противоизносных свойств масла с наномодифика-

тором на протяжении продолжительного периода эксплуатации, проведение сравнительного анализа параметров, полученных в среде проб модифицированных и немодифицированных смазочных материалов (рис. 1).

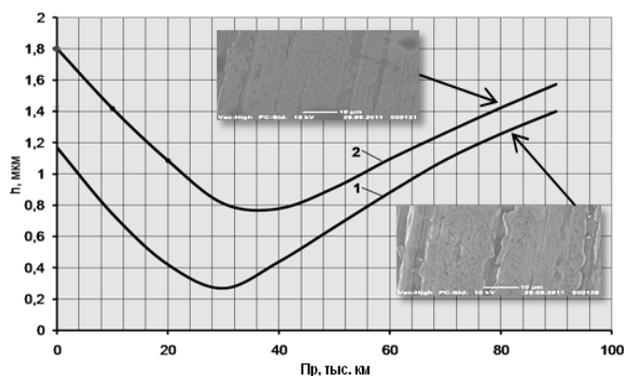


Рис. 1. Зависимость значений толщины полифазного граничного смазочного слоя от величины пробега подконтрольных транспортных средств при использовании в агрегатах трансмиссии товарного (1) и модифицированного фуллереном C₆₀ (2) масла ТАД-17и

6. Проведение фрактографических исследований контактных поверхностей образцов с целью определения влияния модифицированного и немодифицированного масла на состояние поверхностных слоев пар трения в условиях продолжительного использования. Анализ полученных результатов.

7. Формирование вывода относительно возможности увеличения периода безотказной работы (ресурса) трибосопрежений и смазочных материалов при добавлении в исследуемое масло наномодификатора фуллерен C₆₀ оптимальной концентрации.

На основе результатов проведенных исследований, согласно разработанной технологии, можно утверждать, что нанодисперсная добавка фуллерен C₆₀ в определенной концентрации является эффективным наномодификатором, который осуществляет позитивное воздействие на элементы трибосистемы. Такое воздействие на смазочную среду проявляется в улучшении параметров смазочного действия и противоизносных свойств в значительном нагрузочно-скоростном диапазоне на протяжении длительного периода эксплуатации узлов и агрегатов транспортных средств, что указывает на возможность существенного расширения их нормативного ресурса за счет увеличения надежности элементов трибосистем (как смазочного материала, так и контактирующих деталей).

МАССИВЫ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА ГИБКОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ПОДЛОЖКЕ ДЛЯ СЕНСОРОВ ДЕФОРМАЦИИ

А.Б. Зимин, Б.Г. Шулицкий, Л.Я. Портнов, А.Н. Егоров

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

К настоящему времени предложен ряд конструкций сенсоров механических величин на основе массивов многостенных углеродных нанотрубок (УНТ) [1], ориентированных пучков УНТ, одиночных многостенных и одностенных УНТ, а также одностенных УНТ с различным типом хиральности [2]. Конструкции сенсоров на основе одиночных УНТ пока находятся на стадии экспериментальных исследований, более близки к коммерческим изделиям сенсоры на основе массивов УНТ. Кроме низкой воспроизводимости, стабильности и малого времени наработки на отказ, одной из важных проблем сенсоров на основе массивов УНТ является повышение чувствительности.

В настоящей работе изготовлены и исследованы чувствительные элементы сенсоров на основе разреженных массивов УНТ, нанесенных на гибкую подложку полиэтилентерефталата (ПЭТФ) толщиной 100 мкм и размерами 8×2 мм². Для создания электрического контакта к массиву УНТ на два противоположных края подложки наносили металл (алюминий, серебро, медь) методом термовакuumного напыления. Массивы УНТ получали методом ХПО в процессах разложения жидкофазного углеводорода (этанол) в присутствии инжектированного катализатора (ферроцен) в потоке газа-носителя (аргон). Массив в виде «сети» горизонтально ориентированных УНТ формировался на подложке ПЭТФ на выходе из реактора при температуре подложки 200 °С [3] при вариации температуры синтеза (разложения реагентов) в диапазоне 950÷1050 °С, концентрации катализатора 0,1÷1,0%, скорости подачи реагентов 0,5÷2 см²/мин, а также зоны расположения образцов.

На первом этапе исследована проводимость полученных пленок в зависимости от параметров процесса синтеза. Установлено, что сопротивление массивов размером 8×2 мм² находится в диапазоне от единиц до сотен кОм. При толщине массива 0,1 мкм типичная проводимость — 5 S/m.

Количественно чувствительность сенсора к механическим деформациям (отклик сенсора на деформацию растяжения) характеризовалась калибровочным g-фактором (gauge factor, gf), равным отношению относительного изменения сопротивления образцов $\Delta R/R$ к величине относительной деформации (растяжения) ϵ . Для исследования g-фактора образцы с электродной системой и нанесенной сетью УНТ изгибали на цилиндрической поверхности заданного радиуса. Так как массив УНТ жестко закреплен на поверхности подложки и толщина массива

УНТ составляет 0,1 мкм, намного меньше толщины подложки, то относительное растяжение ϵ массива равно относительному растяжению поверхности пленки ПЭТФ при изгибе и его можно определить из соотношения $\epsilon = h/(2r)$, где h — толщина подложки, r — радиус кривизны поверхности. Это соотношение выполняется при условии, что ϵ мало по сравнению с 1. Установлено, что в образцах, полученных и исследованных в данной работе, изменение сопротивления остается практически линейным до значений $\epsilon = 0,1$.

Установлено, что для большинства исследованных образцов значение g-фактора находится в диапазоне 1—10, что соответствует данным, полученным для массивов УНТ другими исследователями [1, 2, 4]. Однако для некоторых полученных нами образцов g-фактор превышал 20 единиц. Такие значения g-фактора для сенсоров на базе массивов УНТ являются достаточно высокими, хотя они гораздо ниже, чем для сенсоров на основе одиночных УНТ [2]. Выполнен анализ взаимосвязи параметров синтеза и структуры массивов УНТ с высоким g-фактором.

Рассмотрены возможные механизмы изменения сопротивления массива УНТ при механической деформации. Вклад в проводимость массивов дают как сами УНТ, так и контакты между ними. При растяжении массива меняется как форма УНТ так и их взаимное расположение. В первом случае проводимость изменяется вследствие изменения электронных состояний УНТ, во втором случае изменяется проводимость контактов, например, вероятность туннельных электронных переходов между отдельными УНТ [5]. Согласно [4], во втором случае нелинейность и несимметричность изменения сопротивления при достаточно больших деформациях выражена более сильно. Так как для образцов, полученных и исследованных в данной работе, изменение сопротивления остается почти линейным до значений $\epsilon = 0,1$, то можно говорить о преобладании первого механизма проводимости исследованных образцов.

1. Bsoul F., Ali M.S.M., Nojeh A. et al. // Appl. Phys. Lett. 100, 213510(2012)
2. Cullinan M.A. and Culpepper M.L. // Phys. Rev. B 82, 115428, 2010
3. Labunov V. Shulitski B. et al. // Proc. 25th Int. Vac. Nanoelectronics Conf. (IVNC), 2012 10.1109/IVNC.2012. 6316894
4. Yin G., Hu N., Karube Y. et al. // Journ.of composite materials,45(12),1315-1323,2011
5. Kuronuma Y., Takeda T., Shindo Y. et al. // Composites Science and Technology. — 2012, no. 72, 1678—1682

УЛУЧШЕНИЕ МЕЖФАЗНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА, АРМИРОВАННОГО АРАМИДНЫМ ВОЛОКНОМ

А.Р. Ибатуллина

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия;
gaynutdinovaa@bk.ru

Цель исследования

Известно, что механические свойства композиционного материала (КМ) во многом зависят от прочности связи матрицы и армирующего наполнителя. Поэтому задачей данного исследования является увеличение адгезионной способности арамидного волокна с целью улучшения взаимодействия арамидного волокна с материалом матрицы композита.

Материалы и методы исследования

Объектом данного исследования является арамидное волокно марки Русар-С (производства ООО НТП «Термотекс»), используемое для создания композита. Предмет исследования — поверхностные свойства арамидного волокна. В качестве материала матрицы композита была выбрана эпоксидная смола ЭД-20 с отвердителем полиэтиленполиамин (ПЭПА). Применяемые методы улучшения межфазного взаимодействия КМ: активация армирующих волокон высокочастотной (ВЧ) низкотемпературной плазмой. Тип разряда: емкостной.

Проведены исследования влияния плазменной обработки на гидрофильные свойства арамидных волокон, исследован показатель смачиваемости арамидных волокон полимерным связующим (ЭД-20 с отвердителем ПЭПА). Арамидные волокна использовались в качестве армирующих наполнителей при получении элементарной ячейки КМ. Исследовалась физико-химическая связь арамидных волокон с матрицей. Как основной критерий качества связи компонентов элементарной ячейки КМ рассматривалась сила разрушения связи армирующего волокна с эпоксидной матрицей. Значение силы разрушения определялось необходимой силой для выдергивания волокна из отвержденной матрицы при постоянной глубине заделки волокна в матрицу. Все эксперименты проводили с необработанным и обработанным волокном марки Русар-С. Пропитку матрицей осуществляли на воздухе. Более подробно методики проведения экспериментов описаны автором в работе [1].

Результаты и обсуждения

Модификация арамидного волокна в низкотем-

пературной плазме в среде аргона приводит к многократному увеличению (20—30 раз) его капиллярности. С помощью плазменной обработки удалось добиться увеличения уровня подъема капиллярного столба эпоксидной матрицы по волокну марки Русар-С на 40%.

Плазменная обработка увеличивает адгезионную способность арамидного волокна, а выдернутое волокно представляет собой плотную кисть с ребристой поверхностью из эпоксидной матрицы. Образцы микрокомпозита из эпоксидной матрицы и арамидного волокна, обработанного в аргоновой плазме при нагружении ведут себя как прочный монолитный КМ. Прочность связи арамидного волокна с эпоксидной матрицей микрокомпозита после модификации возрастает на 30%.

Заключение

Плазменная обработка не только улучшает капиллярность арамидного волокна и увеличивает его адгезионную способность к полимерным связующим, но и повышает прочность его соединения с матрицей при создании КМ на 30%.

Полученные результаты свидетельствуют об улучшении межфазного взаимодействия компонентов арамидного волокнистого композита благодаря обработке исходного армирующего сырья в аргоновой плазме при пониженном давлении.

В ближайшем будущем модификация арамидных волокон ВЧ плазмой позволит создавать новые композиционные материалы с уникальными улучшенными свойствами: повышенной прочностью, высокой устойчивостью к ударным нагрузкам, хорошей термической стойкостью.

Автор выражает благодарность научному руководителю д.т.н., профессору Сергеевой Е.А. за помощь и поддержку при проведении работ и плодотворное обсуждение результатов.

1. Ибатуллина А.Р., Сергеева Е.А. Методы исследования поверхностных и физико-механических характеристик арамидных волокон в процессе создания композиционных материалов // Вестник Казанского технологического университета. — 2012, № 11, 113—117

ПОЛИМЕРЫ И ТБК АКТИВНЫЕ ПРОДУКТЫ

В.А. Игнатенко, А.В. Лысенкова, Б.К. Кузнецов

Гомельский государственный медицинский университет, Гомель, Беларусь; valeri_ign46@mail.ru

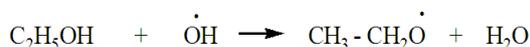
Современные масштабы производства полимеров, качество и долговечность продукции из них имеют большое значение. В процессе хранения и эксплуатации полимерных материалов и изделий происходят необратимые процессы, связанные со структурно-физическими изменениями степени кристалличности, молекулярной подвижности, прочности и других показателей. Окислительная деструкция — одна из причин старения полимеров и выхода из строя многих полимерных изделий. Учитывая все известные виды деструктирующих воздействий на полимеры, можно заключить, что главным из них является термоокислительная деструкция, усиливающаяся при одновременном действии света. Эти процессы протекают главным образом по механизму цепных радикальных реакций. Меры защиты должны быть в первую очередь направлены на подавление этих реакций в полимерах, начинающихся с наименее защищенных структурных элементов, в частности двойных связей. Высокомолекулярная природа полимеров является причиной того, что очень малые количества низкомолекулярных химических реагентов способны вызвать существенные изменения физических и механических свойств полимеров. Это относится к кислороду как наиболее распространенному химическому агенту, в контакте с которым работают полимерные изделия.

В работе исследовали политетрафторэтилен (ПТФЭ) и полиэтилен 6 (ПЭ6). Полимерные гранулы облучили в ультразвуковом поле в присутствии этанола при наличии воды. Известно, что, распространяясь в среде, ультразвуковые волны оказывают на нее действие как носитель энергии. Поглощенная H_2O энергия приводит к образованию радикалов кислорода по схеме:

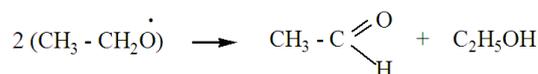


с увеличением концентрации кислорода в воздухе число свободных радикалов возрастает.

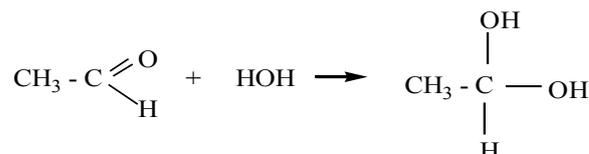
Известно, что радикалы H и OH взаимодействуют с молекулами этилового спирта с образованием этоксид радикала с константами скорости $K = 2,8 \cdot 10^7$ и $K = 1,6 \cdot 10^9$ $m^3/(кмоль \cdot c)$ соответственно, а гидратированный электрон — с $K = 10^5$ $m^3/(кмоль \cdot c)$ и с $K = 4,3 \cdot 10^2$ $m^3/(кмоль \cdot c)$ определенной методом импульсного фотолиза. С молекулами спирта в ультразвуковом поле происходят следующие превращения:



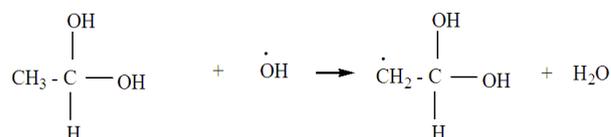
где из полученных двух этоксид радикалов, получают ацетальдегид и этанол по реакции



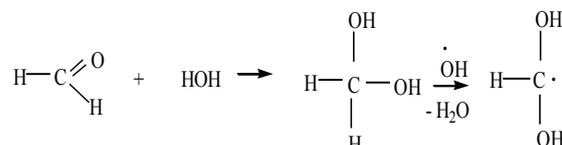
В водной среде образуется гидрат уксусного альдегида,



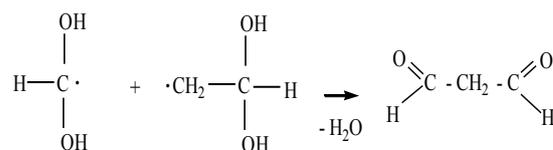
который, взаимодействуя с гидроксильным радикалом, образует новый радикал и воду по схеме:



Формальдегид при взаимодействии с водой образует неустойчивый гидрат, при действии на который гидроксид радикалом образуется новый радикал:



В результате рекомбинации двух радикалов возможно образование малонового диальдегида:



Вероятно, по предлагаемой выше схеме и можно получить малоновый диальдегид в эксперименте при облучении этанола и метанола ультразвуком. Проба облученного этанола при добавлении тиобарбитуловой кислоты (ТБК), трихлоруксусной кислоты (ТХУ) и кипячении 15 минут давала розовую окраску с максимумом поглощения на $\lambda = 532$ нм, что соответствует максимуму оптической плотности поглощения малонового альдегида. Оптическая плотность поглощения ТБК-активного продукта при действии ультразвука на спирт пропорционально зависит от длительности действия ультразвука. В эксперименте с ПТФЭ получили образование ТБК активного продукта в три раза меньше, чем в ПЭ6. Использование других алифатических спиртов и глицерина приводит к образованию ТБК активных продуктов. Таким образом, возникает необходимость изучения механизмов взаимодействия полимеров и ТБК активных продуктов образуемых из спиртов.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ НОВЫХ ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ

Н.Я. Ищенко, А.З. Чалабиева

Институт полимерных материалов НАНА, Сумгайыт, Азербайджан; abasgulu@yandex.ru

Эпоксидные смолы на сегодняшний день находят самое широкое применение в промышленности. Согласно данным нового исследования «Эпоксидные смолы: мировой бизнес-отчет» рынок эпоксидных смол будет увеличиваться и к 2017 году может достигнуть объема 3,03 млн. тонн [1].

В этой связи отмечается, что разработка новых эпоксидных смол с улучшенными характеристиками позволит создать новую инновационную продукцию. Так, эпоксидные смолы, получаемые на основе винилокса и его аналогов, относятся к смолам нового поколения [2]. В настоящее время идет интенсивный поиск сырья для синтеза эпоксидных смол.

Глицидиловые эфиры являются удобным объектом для получения новых видов эпоксидных смол. Глицидиловые эфиры резорцина также составляют особую группу эпоксидных смол, композиционные материалы на их основе характеризуются высокой прочностью и теплостойкостью [3]. Аллилглицидиловый эфир (АГЭ) — мономер, наиболее часто применяемый для получения сополимеров в присутствии различных каталитических систем [4].

Целью настоящей работы было изучение процесса олигомеризации АГЭ и соолигомеризации его с акрилонитрилом (НАК) под действием свободных радикалов, генерируемых при термическом распаде пероксидов, приводящем к получению эпоксидных олигомеров (ЭО и ЭО-1). Следует отметить, что процесс получения этих смол одностадийен и практически безотходен. Структура полученных смол установлена по результатам группового химического анализа, методами ИК-, ПМР-, ЯМР ¹³С спектроскопии.

Было установлено, что с увеличением количества НАК уменьшается эпоксидное число, увеличивается вязкость и молекулярная масса эпоксидной смолы. На базе синтезированных смол разработаны эпоксидные композиции. Процесс отверждения изучен методом дифференциально-термического анализа. В качестве отвердителей эпоксидных смол использованы широко применяемые в химии эпоксидных смол изо-метилтетрагидрофталеваый (изо-МТГФА) и метилэндиковый ангидриды (МЭА). Выявлена зависимость скорости отверждения от количества отвердителя и химического строения исследуемых смол. Было показано, что скорость отвер-

ждения исследуемых смол достаточно высока и не зависит от химического строения смолы. Определяющую роль в данном случае играет химическое строение отвердителя. Результаты испытаний разработанных эпоксидных композиционных материалов на физико-механические и тепловые характеристики представлены в табл. 1.

Таблица 1. Свойства отвержденных эпоксидных композиций*

Показатели	отвердитель	
	Изо-МТГФА	МЭА
Предел прочности, МПа		
при растяжении	$\frac{57-60}{58-60}$	$\frac{62-65}{60-63}$
сжатии	$\frac{115-118}{110-115}$	$\frac{95-100}{94-98}$
изгибе	$\frac{115-117}{100-105}$	$\frac{101-103}{100-105}$
Относительное удлинение, %	$\frac{4,5}{4,0}$	$\frac{9,0}{10,5}$
Теплостойкость по Вика, К	$\frac{559}{570}$	$\frac{565}{598}$
Термостойкость, К	$\frac{568}{575}$	$\frac{568}{583}$
Трекингостойкость, ч	> 100	> 100

*В числителе данные смолы ЭО, в знаменателе ЭО-1.

Из таблицы следует, что наличие нитрильной группы в составе смолы, не оказывает влияния на физико-механические показатели отвержденной эпоксидной композиции, но положительно влияет на тепло- и термостойкость.

С практической точки зрения разработанные на основе АГЭ эпоксидные олигомеры могут представлять интерес для создания на их основе композиционных материалов широкого назначения.

1. www.lkmportal.com.
2. Кочергин Ю.С., Недоля Н.А., Шаюгон В.В., Григоренко Т.И., Трофимов В.А. Свойства эпоксидных олигомеров на основе производных винилокса // Вопросы химии и химической технологии. — 2008, № 1, 105—111
3. Сорокин В.П., Бобылев В.А. Эпоксидные смолы на основе резорцина и его производных // Клеи, герметики, технологии — 2007, № 2, 16—22
4. Володина В.И., Тарасов П.И., Спасский С.С. Полимеризация аллиловых соединений // Успехи химии — 1970 (39), вып. 2, 276—303

МОНИТОРИНГ МИКРОСТРУКТУРЫ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В ДРЕВЕСИНЕ В НЕОДНОРОДНОМ ТЕМПЕРАТУРНОМ ПОЛЕ

Н.С. Камалова, Н.Ю. Евсикова, В.И. Лисицын, Н.Н. Матвеев, В.В. Саушкин

Воронежская государственная лесотехническая академия, г. Воронеж, Россия; gc@icmail.ru

Основными компонентами клеточных стенок древесины являются высокомолекулярные вещества: целлюлоза и лигнин, представляющий из себя субстанцию, исследуемую методами моделирования. Макромолекулы целлюлозы, составляющей половину всего вещества древесины, объединяются в пучки и образуют элементарные фибриллы, включающие участки с упорядоченным (кристаллические области) и беспорядочным (аморфные области) расположением молекул. При возникновении неоднородности температуры в выбранном направлении в тонких слоях древесины в силу изменения конформационной энтропии макромолекул целлюлозы степень кристалличности последней начнет изменяться в направлении неоднородности, что не может не привести к возникновению электрических полей термического происхождения. Ранее нами было экспериментально установлено, что в поперечном слое древесины березы возникает разность потенциалов. Она составляет 35—50 мВ при неоднородности температуры порядка 2 К на 100 мкм. Мониторинг термоэлектрических полей в неоднородном температурном поле проводился методом электретно термического анализа. Измерялась разность потенциалов в тонких (порядка 100 микрон) слоях древесины березы (влажность которых не превышала 3%) при нагревании с постоянной скоростью одной из поверхностей образца. Градиент температуры в об-

разце оценивался выражением, полученным при решении уравнения теплопроводности $\nabla T = \beta A_3$, где β — скорость нагрева, а A_3 — константа, связанная с параметрами установки, массой и материалом образца. Если природа электрических полей в неоднородном температурном поле связана с изменением микроструктуры целлюлозы в древесине, то, в силу особенностей пьезоэффекта в кристаллах, разность потенциалов должна зависеть от градиента температуры внутри образца, который зависит от скорости нагрева.

Данное предположение было проверено экспериментально. Измерения проводились для скоростей нагрева в интервале от 0 до 5 К/мин. Выяснилось, что разность потенциалов линейно возрастает с ростом скорости нагрева, а следовательно, и величины неоднородности температуры в слое.

На основании проведенных экспериментов можно утверждать, что мониторинг разности потенциалов, возникающей в образцах такого сложного полимерного композита, как древесина, в неоднородном температурном поле может использоваться для исследований флуктуаций структуры кристаллической целлюлозы и кристаллических составляющих полимерных композитов биологического происхождения, обладающих пьезоэлектрическими свойствами.

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ ОТВЕРДИТЕЛЯ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛТЕТРАЗОЛА

Р.А. Кастро, Е.Н. Лушин

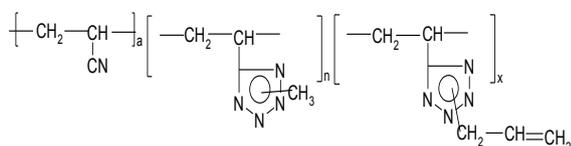
Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия;
lushin.ev@gmail.com

Цель

Выявление особенностей влияния природы отвердителя на диэлектрические свойства тетразолсодержащих полимеров.

Материалы

Образцами для исследования служили полимерные композиционные материалы на основе поли-N-метилаллил-5-винилтетразола (МПВТ-А):



где $a = 10\%$, $n = 87\%$ и $x = 3\%$.

С использованием пластификатора диметилформамид (ДМФА).

Отверждение исследуемых образцов осуществляли низкотемпературными отверждающими агентами: 2,4,6-триэтил-1,3-дицианбензол-ди-N-оксид (ТОН-2) (образец №1), 2,3,5,6-метил-1,4-дицианбензол-ди-N-оксид (Дур-ТОН) (образец №2).

Методика эксперимента

Измерения диэлектрических спектров проводились на установке «Concept 41» компании NOVO-CONTROL Technologies GmbH & Co, которая состоит из частотного анализатора импеданса, измерительной ячейки, системы термостатирования, системы автоматического сбора данных и сосуда дьюара с системой испарения и подачи газообразного азота.

Результаты

В работе исследовались частотные и температурные зависимости составляющие комплексную диэлектрическую проницаемость $\epsilon^* = \epsilon' - i\epsilon''$.

Для образцов двух типов обнаружено существование двух релаксационных процессов: 1) α -процесс, при температуре выше 60°C , который связан с областью перехода из стеклообразного в высокоэластическое состояние. Этот температурный переход обусловлен «размораживанием» сегментальной подвижности микроброуновского типа; 2) β -процесс (максимум на температурной зависимости в области $T < 60^\circ\text{C}$). Как известно β -релаксация главным образом связана с вращением метильной группы CH_3 , либо с подвижностью группы CN (рис. 1, 2). В неотвержденном полимере β -релаксация может осуществляться и за счет сегментальной подвижности аллильного фрагмента в цикле полимера. В отвер-

жденном полимере β -релаксация может быть связана с вращением так называемых «активных» подвесок отвердителя [1]. Использование различных отвердителей не влияет на α -процесс в то время как увеличивает температуру на которой наблюдается максимум диэлектрических потерь, связанный с β -процессом (вставка рис. 1).

Обнаруженные закономерности, по-видимому, обусловлены специфическим химическим строением макромолекул полимера, с различными подвижными сегментами, а также не идеальностью пространственной сетки и различными степенями конверсии реакционноспособных групп как самого полимера, так и отвердителя.

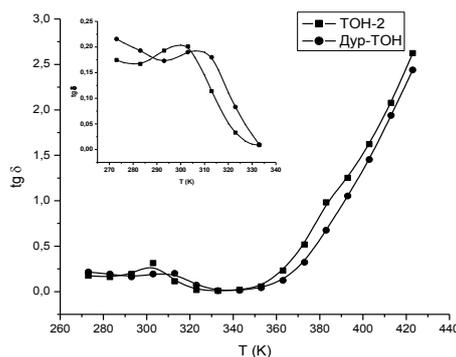


Рис. 1. Температурная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь для образцов №1 и №2

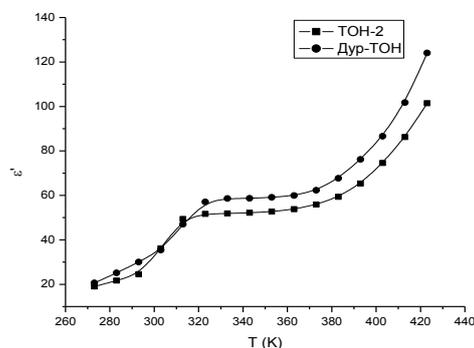


Рис. 2. Температурная зависимость диэлектрической проницаемости для образцов №1 и №2

1. Пазников Е.А., Белоусов А.М., Петреков П.В., Насонов А.Д., Калинин М.А. Исследование акустических свойств пространственно структурированной системы «тетразолсодержащий полимер пластификатор» // «Химия и химическая технология в XXI веке». — Томск. — 2008, 312

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СТЕКЛОВАНИЯ ПОЛИ-N-МЕТИЛАЛЛИЛ-5-ВИНИЛТЕТРАЗОЛА МЕТОДОМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Р.А. Кастро, Е.Н. Лушин

Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия;
lushin.ev@gmail.com

Цель

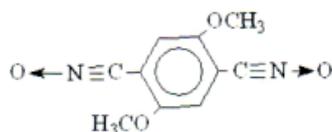
Выявление особенностей процессов диэлектрической релаксации для определения температуры стеклования в полимерных композиционных материалах (ПКМ).

Материалы

Образцами для исследования служили полимерные композиционные материалы на основе поли-N-метилаллил-5-винилтетразола (МПВТ-А).

С использованием пластификатора диметилформамид (ДМФА).

Отверждение исследуемых образцов осуществляли низкотемпературными отверждающим агентом: MeO-ТОН (3,6-метокси-1,4-дицианбензола-ди-N-оксид)



Методика эксперимента

Измерения диэлектрических спектров проводились на установке «Concept 41» компании NOVOCONTROL Technologies GmbH & Co, которая состоит из частотного анализатора импеданса, измерительной ячейки, системы термостатирования, системы автоматического сбора данных и сосуда дьюара с системой испарения и подачи газообразного азота.

Результаты

В работе исследовались частотные и температурные зависимости составляющие комплексную диэлектрической проницаемости $\epsilon^* = \epsilon' - i\epsilon''$.

В ходе исследования на температурной зависимости обратной величины диэлектрической проницаемости $1/\epsilon'$ (при частоте 1 Гц), обнаружено существование двух областей — от 273 К до 330 К и от 330 К до 423 К (рис. 1).

Первая область отмечена резким уменьшением M' , столь существенные изменения температурной зависимости диэлектрических параметров, связано с главным температурным переходом из стеклообразного состояния в высокоэластическое (или наоборот).

Вторая область, соответствует области высокоэластического состояния. Анализ температурной зависимости показывает, что эта область характеризуется плавным снижением диэлектрического модуля и выходом его на устойчивое плато.

Критическая температура, при которой происходит смена характера зависимости диэлектрической проницаемости, равна $T = 330$ К и находится в интервале температур, в котором согласно работе [1] наблюдается переход из стеклообразного в высокоэластическое состояние.

Таким образом, можно заключить, что обнаруженная нами критическая температура, является температурой стеклования.

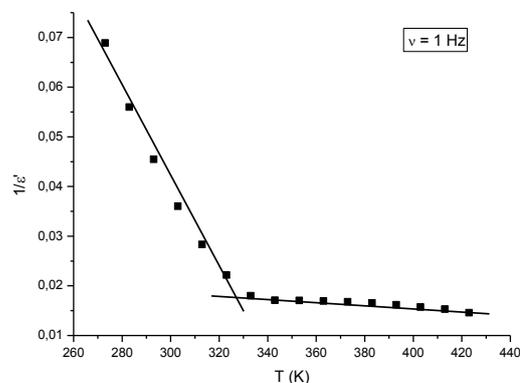


Рис. 1. Температурная зависимость обратной величины диэлектрической проницаемости

- Петреков П.В. Исследование релаксационных свойств тетразолсодержащего полимера и модельных составов на его основе // Дисс. на соискание уч. ст. к.т.н. — Бийск. — 2012

СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛИМЕР-СИЛИКАТНЫХ КОМПОЗИТОВ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Ю.В. Кириллина, С.А. Слепцова

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия; kirillina_yv@mail.ru

Основными задачами разработки композитов «полимер-слоистый силикат» являются улучшение совместимости компонентов композита для обеспечения процесса интеркаляции. Ранее проведенные исследования показали, что значительное повышение износостойкости ПТФЭ достигается при введении 5—10 мас.% механоактивированных слоистых силикатов (СС), однако физико-механические показатели ПТФЭ при этом снижаются. Очевидно, это объясняется недостаточно эффективным взаимодействием наполнителя с полимерной матрицей. При плохой совместимости немодифицированного силиката с полимером или при его избыточном содержании наносиликат агломерируется. Агломераты наносиликатов проявляют свойства обычного дисперсного наполнителя. Для улучшения совместимости полимерной матрицы с СС и достижения более эффективного взаимодействия на границе раздела фаз в данной работе одновременно с СС в ПТФЭ вводили синтетическую nanoшпинель магния (НШ).

В работе приведены результаты исследования триботехнических, физико-механических испытаний ПТФЭ, содержащего минеральный СС серпентинит, а также серпентинит с НШ. Показано существенное повышение износостойкости ПТФЭ. Во всех композициях зафиксировано снижение коэффициента трения. Композиты, содержащие СС и НШ показали наиболее высокие значения деформационно-прочностных характеристик (на уровне исходного ПТФЭ) и износостойкости до (2500 раз по сравнению с износостойкостью ПТФЭ). Уровень характеристик данных композитов, существенно зависит от соотношения модификаторов. Относительно высокое содержание НШ приводит к повышению предела прочности, тогда как увеличение содержания СС в пределах 5 мас.% способствует повышению износостойкости материала.

Для оценки влияния наполнителей на процессы трения и изнашивания композитов проведены исследования поверхностей трения методом ИК-спектроскопии. Известно предположение, что в результате трибохимических реакций под действием некоторых металлов образуются соли карбоновых кислот. В дальнейшем они могут выступать в роли ингибиторов окислительных трибопроцессов в результате сшивки отдельных фрагментов распада макромолекул по механизму образования, например, эфирных группировок. В ИК-спектрах поверхностей трения композитов обнаружены пики, которые могут относиться к фрагментам солей карбоновых кислот и эфирных группировок. Сравнение интенсив-

ностей пиков в зависимости от содержания наполнителей выявило значительное влияние НШ на окислительные процессы в композите, происходящие при трении.

Методом РСА показано (рис. 1), что введение НШ приводит к исчезновению на рентгенограммах композитов межслоевых рефлексов СС, что может свидетельствовать о формировании интеркалированного полимер-силикатного нанокомпозита.

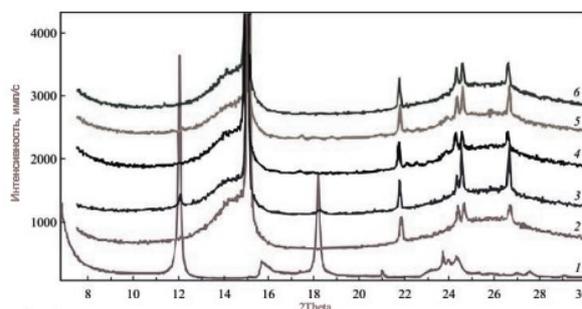


Рис. 1. Рентгенограммы: 1 — серпентинита; 2 — исходного ПТФЭ; 3 — ПТФЭ, содержащего 5 мас.% серпентинита; 4 — ПТФЭ, содержащего 4,8 мас.% серпентинита и 0,2 мас.% НШ; 5 — ПТФЭ, содержащего 4,5 мас.% серпентинита и 0,5 мас.% НШ; 6 — ПТФЭ, содержащего 4 мас.% серпентинита и 1 мас.% НШ

Методом РЭМ изучена надмолекулярная структура композитов в объеме материала в зависимости от содержания наполнителя. Структура композита, содержащего серпентинит с НШ в отличие от структуры ПТФЭ, содержащего только серпентинит, характеризуется формированием однородных структурных элементов. На микрофотографиях композитов, содержащих СС и НШ, на границах раздела полимер-силикатная пластинка просматриваются связывающие «нити» из макромолекул полимера, которые могут быть сформированы вследствие влияния nanoшпинели магния.

Таким образом, результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что одновременное введение НШ с серпентинитом приводит к улучшению взаимодействия СС с полимерной матрицей на межфазной границе; обеспечивает внедрение макромолекул полимера в межслоевые пространства силиката и существенное изменение кристаллизации, способствуя формированию более организованной структуры. Значимый эффект улучшения характеристик композитов достигается при совместном введении НШ и СС до 2 мас.%.

ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ СТАРЕНИЯ ПОЛИМЕРНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

В.В. Киселевич

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

Цель

Развитие вероятностной модели старения и износа полимерной изоляции (ПИ).

Теоретический анализ

Достоверность оценки технического состояния и прогнозирования остаточного ресурса ПИ электроустановок в значительной степени определяется правильностью выбора модельных представлений, адекватно описывающих протекающие в ней процессы старения и износа. В рамках данной работы разовьём предложенную авторами [1, с. 47—50] вероятностную модель старения и износа ПИ.

«Жизненный» цикл ПИ представим в виде совокупности последовательных переходов между соответствующими состояниями её работоспособности Z_k ($k = 0, 1, \dots, m$). Здесь m число периодов эксплуатации, по истечении которых изоляция полностью изнашивается и наступает её отказ. График обсуждаемой модели представлен на рис. 1.

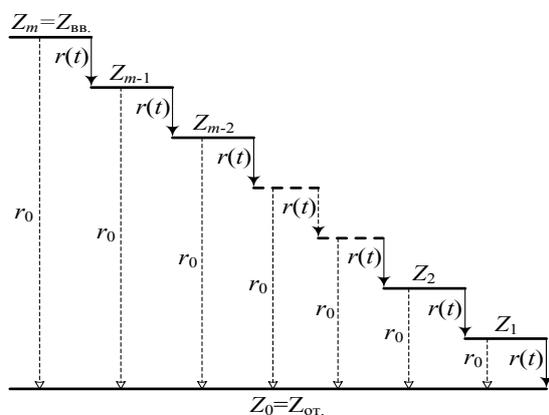


Рис. 1. Модель старения полимерной изоляции

Сделаем предположение о возможности нахождения изоляции в момент времени t в любом из Z_k состояний: от $Z_m = Z_{вв.}$, соответствующего её вводу в эксплуатацию, до $Z_0 = Z_{от.}$, соответствующего её отказу. Постепенное снижение работоспособности ПИ в результате переходов $Z_k \rightarrow Z_{k-1}$ соответствует её постепенному отказу, обусловленному равномерным износом изоляции и протекающим с интенсивностью $r(t)$. Нарушение работоспособности ПИ, вызванное переходом $Z_k \rightarrow Z_0$, соответствует её внезапным отказам с интенсивностью r_0 .

Перейдём к непосредственному изложению вероятностной модели. Для этого определим вероятность нахождения ПИ в состоянии Z_k ($k = 1, 2, \dots, m-1$) в интервале времени (t, t_1) :

$$P_{Z_k}(t, t_1) = P_{вн.от.}(t, t_1) + P_{п.от.}^I(t, t_1) + P_{п.от.}^{II}(t, t_1), \quad (1)$$

где $P_{вн.от.}(t, t_1)$ — составляющая внезапных отказов, характеризующая вероятность того, что в момент времени t ПИ находилась в состоянии Z_k и за время (t_1-t) не было перехода в состояние Z_0 ; $P_{п.от.}^I(t, t_1)$ — составляющая постепенных отказов, характеризующая вероятность того, что в момент времени t ПИ находилась в состоянии Z_k и за время (t_1-t) не было перехода в состояние Z_{k-1} ; $P_{п.от.}^{II}(t, t_1)$ — составляющая постепенных отказов, характеризующая вероятность того, что в момент времени t ПИ находилась в состоянии Z_{k+1} и за время (t_1-t) произошёл переход в состояние Z_k .

Определяя вероятностные составляющие постепенных и внезапных отказов с использованием формулы полной вероятности [2, с. 18] и выражения для вероятности отказов [2, с. 94], преобразуем соотношение (1) к виду

$$P_{Z_k}(t, t_1) = P_{Z_k}(t)[2 - r_0\Delta t - n_2(\Delta t)] + [P_{Z_{k+1}}(t) - P_{Z_k}(t)][r(t)\Delta t + n_2(\Delta t)], \quad (2)$$

где $P_{Z_k}(t)$ — вероятность нахождения ПИ в момент времени t в состоянии Z_k ; $P_{Z_{k+1}}(t)$ — вероятность нахождения ПИ в момент времени t в состоянии Z_{k+1} ; $\Delta t = t_1 - t$ ($\Delta t \rightarrow 0$); $n_2(\Delta t)$ — величина второго порядка малости по Δt .

Выражение (2) является общим и применимо для всех состояний Z_k , кроме граничных: начального состояния $Z_{вв.}$ и состояния отказа Z_0 , характеризующегося невозможностью дальнейших переходов. Вероятность нахождения ПИ в начальном состоянии $Z_{вв.}$ определяется следующим выражением

$$P_{Z_m}(t, t_1) = P_{Z_m}(t)[2(1 - n_2(\Delta t)) - (r_0 + r(t))\Delta t]. \quad (3)$$

Результаты

Развита вероятностная модель старения и износа ПИ. В рамках данной модели получены соотношения (2) и (3), описывающие предельные переходы ПИ между состояниями её работоспособности.

1. Субоч Л., Гольдаде В. А. Высоковольтная изоляция на основе полимерных композитов. — Гомель: ИММС НАНБ. — 1999
2. Гнеденко Б. В., Беляев Ю. К., Соловьев А. Д. Математические методы в теории надёжности. — Москва: Наука. — 1965

АХРОМАТИЧЕСКИЕ ПОЛЯРИЗАТОРЫ НА ОСНОВЕ ЙОДСОДЕРЖАЩИХ ПВС-КОМПОЗИЦИЙ

Т.Г. Космачева, Н.А. Иванова, В.Е. Агабеков, О.А. Дайнеко

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

Цель

Получение светополяризующих ПВС-пленок с высокой степенью поляризации в интервале длин волн от 350 до 750 нм.

Введение

Интенсивное развитие производства ЖКУ отображения информации, электронных приборов промышленного, специального и бытового назначения, работающих в поляризованном свете, требует усовершенствования существующих и создания новых поляризаторов, пригодных для применения и обеспечивающих улучшенное качество изображения.

Материалы и методы

Разработана методика получения поляризационных пленок с расширенным в ближние УФ- и ИК-области спектральным диапазоном путем модификации ПВС — композиций для йодных поляризаторов [1] повышенным содержанием йодида калия (0,3 мас.%), изменением условий химической обработки пленок [2] и добавками УФ-дихроичных красителей [3].

Результаты и их обсуждение

Установлена зависимость светопропускания и поляризующей способности поляризационных пленок от концентрации дихроичного красителя и длины волны (рис. 1).

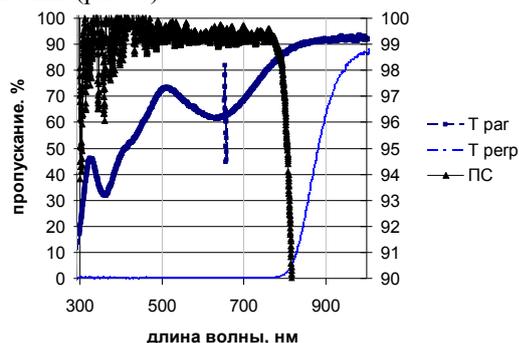


Рис. 1. Спектральная зависимость пропусканий ($T_{\text{пар}}$, $T_{\text{перп}}$) и поляризующей способности (ПС) йодной ПВС-пленки, содержащей 0,05 мас.% хризофинина

Показано, что ПВС-пленки, окрашенные дихроичными красителями: хризофенином (ХФ), бриллиантовым желтым (БЖ) и натриевой солью 5-((4-аминофенил диазенил)-2-гидроксibenзойной кислотой (MP₁), эффективно поляризуют свет в широком спектральном диапазоне 350–750 нм: поляризующая способность более 90% (табл. 1).

Таблица 1. Светопропускание и поляризующая способность йодных поляризационных пленок с добавками 0,1 мас.% красителей

Краситель	λ , нм	$T_{\text{пар}}$, %	$T_{\text{перп}}$, %	ПС, %
БЖ	350	56,0	3,0	89,8
	500	82,0	2,0	95,2
	550	81,0	1,0	97,5
	750	92,0	1,0	97,8
MP ₁	350	60,0	2,0	93,5
	500	76,0	1,0	97,4
	550	71,0	1,0	97,2
	750	80,0	1,0	97,5
ХФ	350	48,0	1,0	95,9
	500	76,0	1,0	97,4
	550	71,0	1,0	97,2
	750	80,0	1,0	97,5

Примечание: $T_{\text{пар}}$ и $T_{\text{перп}}$ — максимальное и минимальное светопропускания пленки; ПС — поляризующая способность; $ПС = (T_{\text{пар}} - T_{\text{перп}}) / (T_{\text{пар}} + T_{\text{перп}})$.

1. Космачёва Т.Г., Глоба И.Ю., Арико Н.Г., Агабеков В.Е. Влияние одноосного ориентирования йодсодержащих поливинилспиртовых плёнок на их оптические характеристики // Вестн НАН Беларуси. — 2002, № 3, 120—123
2. Иванова Н.А., Агабеков В.Е., Дайнеко О.А., Глоба И.Ю., Царюк О.В. Поляризационные пленки для ближней ИК-области спектра // Вестник БГУИР. — 2008, № 5 (35), 77—85
3. Филиппович Л.Н., Арико, Н.Г., Агабеков В.Е. Спектральные свойства и светостойкость поляризационных пленок, окрашенных бриллиантовым желтым // ЖПС. — 2009 (76), № 3, 466—472

БАЗАЛЬТОВЫЕ ПЛАСТИКИ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ (АЛКОКСИ, АМИНОАЛКОКСИ) ПРОИЗВОДНЫМИ ТИТАНА

С.Н. Кузьменко¹, Н.Я. Кузьменко¹, П.И. Баштанчик¹, Н.Н. Ласковенко²

¹Украинский Государственный Химико-технологический университет, Днепрпетровск, Украина

²Институт химии высокомолекулярных соединений НАН Украины, Киев, Украина;
nilla.laskovenko@gmail.com

Цель

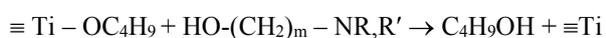
Исследование (бутоксид)-(аминоалкоксид)-титанатов и титанооксидатов различной молекулярной массы и степени замещения бутоксидгрупп у атома титана в качестве апретов базальтового волокна в базальтопластиках на основе полиамида-6

Методы исследования

В качестве методов исследования использованы ИК-спектральный, рентгено-структурный, дериватографический анализы, Структура синтезированных олигомеров подтверждена элементным и функциональным анализами, определением молекулярных масс.

Результаты и их обсуждение

Эфиры ортотитановой кислоты и кубовые остатки, образующиеся при их получении, широко используют: для изготовления термостойких (до 600 °С) красок, для модификации лаков и эмалей; в качестве структурируемых агентов холодного отверждения низкомолекулярных гидроксилсодержащих поли(алкил)-(арил)-силоксановых каучуков; для гидрофобизации тканей, кож и в ряде других случаев. Представляло интерес на основе таких эфиров, в частности, на основе тетрабутоксид-титана (ТБТ) и продуктов его гидролитической конденсации различной молекулярной массы синтезировать соответствующие (амино-алкоксид)производные путем частичной или полной переэтерификации бутоксидгрупп у атома титана на алкоксидаминные по схеме:



$[-\text{O}-(\text{CH}_2)_m-\text{NR}_2\text{R}']_n$, где: — R; R' — одинаковые или разные —H, —CH₃, —C₂H₅; m = 2÷3.

Такие продукты, имея в своей структуре одновременно (бутоксидильные) и (аминоалкоксидильные) — группы у атома титана, могут участвовать в дальнейшем в реакциях по двум направлениям и представляют собой несомненный интерес для исследователей. В зависимости от количества бутоксидильных групп в структуре тетрабутоксидтитана, замещенных на аминоалкоксидильные, от природы аминогруппы в аминоалкоксидильном радикале (первичная аминная или третичная аминная с алкильными заместителями у азота), такие олигомеры представляют собой от жидких (в случае использования в реакции переэтерификации алканолламинов с третичным атомом

азота в аминогруппе) до кристаллических (при первичных концевых аминогруппах) продукты, окрашенные в коричневый оттенок, хорошо растворимые в первичных спиртах ряда C₁ ÷ C₄.

Аналогичные (аминоалкоксид) производные синтезированы реакцией переэтерификации продуктов гидролитической конденсации ТБТ алканолламинами при частичной (до 50% от имеющихся бутоксидгрупп) или полной замене бутоксидгрупп на аминоалкоксидильные.

Выделенные (бутоксид)-(аминоалкоксид)-титанаты и титанооксидаты различной молекулярной массы и степени замещения бутоксидгрупп у атома титана на аминоалкоксидильные, с первичными аминогруппами в них, были исследованы в качестве апретов базальтового волокна в базальтопластиках на основе полиамида-6.

Изучено влияние на прочностные характеристики на разрыв получаемых базальтопластиков количества аминоалкоксидильных групп у атома титана (величины и структуры, сформированного в процессе гидролитической конденсации ТБТ, титанооксиданового блока.

Полученные экспериментальные данные показывают, что при использовании в качестве апретов для базальтового волокнистого наполнителя полимерной композиции на основе полиамида-6 продуктов переэтерификации ТБТ моноэтаноламином наивысшая прочность базальтопластика на разрыв достигается при использовании ди- и тризамещенных (бутоксид)(аминоэтоксид)титанатов и составляет 131 МПа (без использования апретирования — 85 МПа).

С использованием в качестве апретов (бутоксид)(аминоэтоксид)производных на основе продуктов гидролитической конденсации ТБТ, в структуре которых формируются, наряду со связями типа $\equiv \text{Ti} - \text{O} - \text{Ti} \equiv$, внутримолекулярно-циклизованные или лестничные структуры, удается достичь прочности базальтопластиков до 162 МПа. Таким образом можно получать апретированные базальтопластики с прочностью в 1,5—2 раза больше, чем выпускаемые промышленностью базальтопластики под маркой «Гродноамид ПА6-Л-СВ30».

Заключение

Доступность сырьевых ресурсов по наполнителю и апрету, простота реализации данной разработки в условиях любого предприятия машиностроения, полученные более высокие прочностные характеристики базальтопластика делают разработку конкурентноспособной.

ВЛИЯНИЕ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДОБАВОК НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ БИНАРНЫХ СМЕСЕЙ ЭЛАСТОМЕРОВ

Н.И. Курбанова, А.М. Кулиев, Д.С. Гулиева, Ф.С. Гулиева

Институт полимерных материалов НАН Азербайджана, Сумгайыт; ipoma@science.az

Существенные достижения в области теории и практики многокомпонентных систем на основе полимеров показывают практически неограниченные возможности этого направления модификации полимерных материалов [1].

Условия получения и переработки смесей, введение различных добавок также имеют принципиальное значение для формирования их структуры и свойств [2].

В представленной работе исследовано влияние полифункциональных добавок — моно-, трихлоруксусных кислот (ТХУК, МХУК) на структуру и свойства композитов на основе бинарных смесей промышленных синтетических эластомеров — дивинилового (СКД) с изопреновым (СКИ) с применением в качестве наполнителя технического углерода (ТУ).

Проведены исследования физико-механических свойств вулканизатов полученных композиций при квазистатическом и динамическом нагружении.

Показано, что использование только ТУ в бинарных смесях полимеров приводит к улучшению прочностных свойств системы σ_p в 11,5 раз, уменьшению ϵ в 5 раз, $M_{300} = 0$, т.е. система становится жесткой. Введение в систему полифункциональных добавок (ТХУК, МХУК) совместно с ТУ способствует улучшению σ_p в 13÷15 раз, уменьшению ϵ в 3 раза, M_{300} увеличивается от 0,3 до 12,1 и 9,8 МПа соответственно.

Исследование физико-механических свойств вулканизатов полученных композитов при квазистатическом нагружении показало, что совместное использование ТУ с ТХУК (МХУК) в бинарных смесях полимеров приводит к улучшению прочностных свойств системы, что можно объяснить увеличением межмолекулярного взаимодействия смесей за счет образования химических связей и адсорбционного связывания.

Проведены динамические исследования вулканизатов бинарных смесей. Данные динамических исследований полученных композитов в интервале температур от -120 до 70 °С показали наличие двух температур стеклования (T_g): $T_{g(СКД)} = -94$ °С и $T_{g(СКИ)} = -54$ °С, соответствующие каждому отдельному полимеру. Это свидетельствует о том, что система двухфазна. На температурной зависимости модуля упругости (E') исследуемых композиций проявляются две ступени, а не кривой механических потерь ($\text{tg } \delta$) — два максимума.

Показано, что совместное введение наполнителя и полифункциональных добавок в состав бинарных смесей эластомеров способствует максимальному увеличению показателей системы:

$$[E' (\text{СКД/СКИ}) = 1]; [E' (\text{СКД/СКИ/ТУ}) = 11];$$

$$[E' (\text{СКД/СКИ/ТУ/ТХУК}) = 20] \text{ МПа при } t = -10 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

При этом величина $\text{tg } \delta$ уменьшается на порядок от 0,2 до 0,03 (-30 °С). Полученные данные можно объяснить, по-видимому, увеличением степени кристалличности или более высокосетчатой структурой полученных вулканизатов.

Проведены исследования термостойкости вулканизатов полученных композиций при температурах $20 \div 500$ °С. Термостойкость оценивалась по величине периода полураспада ($\tau_{1/2}$), потери массы и энергии активации (E_a) распада термоокислительной деструкции. Показано, что $[\tau_{1/2(СКД/СКИ)} = 68]$; $[\tau_{1/2(СКД/СКИ/ТУ)} = 72]$; $\tau_{1/2(СКД/СКИ/ТУ/ТХУК)} = 74,5$; $[\tau_{1/2(СКД/СКИ/ТУ/МХУК)} = 74]$ мин.

Вулканизаты бинарных смесей эластомеров имеют достаточно высокую термостойкость, потери массы наблюдаются при $t > 200$ °С. Введение ТУ в смесь СКД/СКИ способствует увеличению E_a до 200 кДж/моль, а потери массы происходят при $t > 250$ °С и достигают 16% при $t = 350$ °С. При совместном введении в смесь ТУ и ТХУК $E_a = 230$ кДж/моль и потери массы не очень велики — 10% при $t = 350$ °С.

Показано, что совместное введение наполнителя и полифункциональных добавок в состав бинарных смесей каучуков способствует увеличению термостойкости полученного композита, что очевидно, возможно за счет образования дополнительных сшивающих центров и усиления взаимосвязи с наполнителем.

Образующиеся на полимерной матрице функциональные группы могут участвовать в процессе вулканизации, взаимодействуя с оксидами и гидроксидами металлов и образуя лабильные, так называемые «солевые» связи в структуре вулканизационной сетки. Способность этих связей к перегруппировке обеспечивает возможность рассеивания перенапряжений, возникающих в таких системах, как при формировании вулканизационной сетки, так и при деформации готовых вулканизатов.

Получение композиций с улучшенным комплексом свойств позволяет расширить сферы использования полученных материалов в различных отраслях промышленности — шинной, кабельной, резино-технических изделий.

1. Кулезнев В.Н. Смеси полимеров. — М.: Химия. — 1980
2. Помогайло А.Д. Молекулярные полимер-полимерные композиции. Синтетические аспекты // Успехи химии. — 2002 (71), № 1, 5—38

НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ ПОЛИУРЕТАНОВЫЕ СИСТЕМЫ

Н.Н. Ласковенко, Е.В. Лебедев

Институт химии высокомолекулярных соединений НАН Украины, Киев, Украина;
nilla.laskovenko@gmail.com

Цель исследования. Получение наноструктурированных полиуретанов путем модификации сшитых полиуретанов органо-неорганическими наноструктурированными кремнийорганическими олигомерами, исследование их свойств, применение.

Методы исследования. В качестве методов исследования использованы ИК-спектральный, рентгеноструктурный, дериватографический анализы, гостовские методы определения твердости, адгезии, прочности на разрыв и растяжение полимерных пленок, устойчивости покрытий в агрессивных средах.

Результаты и их обсуждение. Для получения наноструктурированных полиуретанов, в частности, сетчатых полиуретанов (ПУ) на основе простых полиэфиров и ароматического полиизоцианата, был использован, как модификатор, наноструктурированный олигомер, полученный по золь-гель-методу [1] реакции гидролиз-сополиконденсации тетраэтоксисилана (ТЭОС) и фенилтриэтоксисилана (ФТЭОС) в кислой среде. Рентгено-структурным, функциональным, дериватографическим анализами установлено, что олигомеры наноструктурированы, при соотношении ТЭОС:ФТЭОС 1:2 — содержание фенильных групп в олигомере составляет 12%, температура размягчения 130 °С, температура начала разложения (5%) — 300 °С. Такие олигомеры по внешнему виду в отличие от кремнезема — стекловидного вещества, белые либо слегка кремовые порошки, хорошо растворимые в большинстве органических растворителей. За счет хорошей растворимости и технологичной температуры размягчения олигомеры могут практически использоваться в качестве модификаторов полимеров. При введении в полиуретановую матрицу наноструктурированного кремнийсодержащего олигомера (ТЭОС—ФТЭОС) в количестве (0,1—0,5)% изменяются физико-химические и физико-механические свойства полимерной пленки: увеличиваются адгезия к металлу, относительная твердость и прочность пленки при растяжении. Для проведения исследований защитных свойств, химической стойкости полиуретановых лакокрасочных наносистем использован метод определения стойкости образцов покрытий в различных агрессивных средах, гостовские методы определения коэффициентов диффузии и набухания полимеров: дистиллированная, морская вода; щелочные, кислые среды, соли. Исследования показали, что стойкость полиуретанового модифицированного покрытия возрастает в дистиллированной воде в 10 раз, в морской воде — в 2 раза, в щелочных средах и растворах солей (рис. 1) в 1,5—2,0 раза. Процент набухания в агрессивных средах незначителен (0,2—0,8), коэффици-

циенты диффузии низкие.

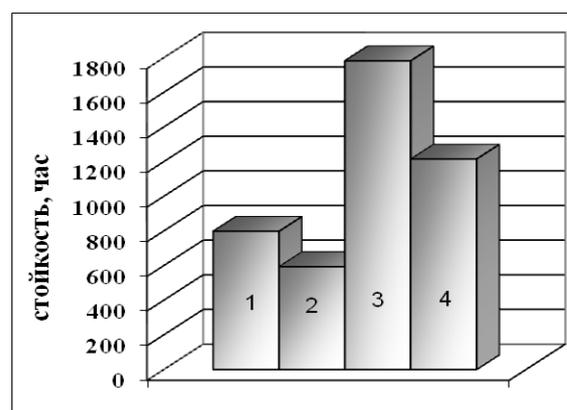


Рис. 1. Стойкость полиуретана в агрессивных средах солей: 1 — ПУ в 3% р-ре NaCl; 2 — ПУ в 20% р-ре (NH₄)₂SO₄; 3 — модиф. ПУ в 3% р-ре NaCl; 4 — модиф. ПУ в 20% р-ре (NH₄)₂SO₄

Теплофизические исследования модифицированных ПУ покрытий показывают, что они достаточно термостойки: процесс разложения начинается с температуры (251—253) °С и протекает в две стадии.

Проведена покраска оборудования (рис. 2) на предприятиях с агрессивными средами: Киевский механический завод «Магістраль», Киевское строительное товарищество «Луком-центр», Животноводческий комплекс «Журавка»



Рис. 2. Теплоцентральный завод. Киевский механический завод «Магістраль»

Заключение. Модификация сетчатого полиуретанового полимера синтезированными органо-неорганическими олигомерами дала возможность получить наноматериалы с улучшенной водо- и химической стойкостью, прочностью при растяжении. Наноструктурированные ПУ могут быть рекомендованы как антикоррозионные покрытия, герметики, материалы специального назначения.

1. Кузнецова В.П., Ласковенко Н.Н., Омельченко С.И. Органо-неорганические полимеры, синтез и свойства // Композиционные, полимерные материалы. — 2000, № 2, 87—91

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЯ

С.А. Леонов

ОАО «АВТОВАЗ», Тольятти, Россия; leha-1t@mail.ru

Полые однослойные детали, изготовленные методом экструзии с раздувом из смесевых композиционных материалов на базе полиамида 6 (при его совмещении с функционализированными полимерами и сополимерами олефинов), имеют низкий вес и низкую проницаемость паров топлива через их стенки [1]. Однако, для обеспечения герметичности и прочности сварного шва в таких деталях, требуется усовершенствование технологии.

Специалистами ГНУ «ИММС», Беларусь, и ОАО «АВТОВАЗ», Россия, проведена серия сравнительных технологических экспериментов с получением деталей с различной прочностью сварного шва в зависимости от выбранных параметров на основных стадиях переработки таких смесей.

Установлено, что на стадии выдавливания и подачи заготовки, экструдер и угловая головка экструзионно-выдувного агрегата (ЭВА) должны обеспечить температуру заготовки в момент ее раздува выше температуры кристаллизации алифатического полиамида 6 (ПА6) в смеси. При раздуве заготовки, в которой уже началась кристаллизация в фазе ПА, прочность сварных швов снижается вследствие резкого ограничения его молекулярной подвижности.

На стадии смыкания полуформ конструкция прессформы и устройство используемое для ее термостатирования должны обеспечивать температуру пресс-кантов из интервала

$$T_{\text{СПА}} \leq T_{\text{ПК}} \leq 0,85T_{\text{пЛОП}}, \quad (1)$$

где $T_{\text{ПК}}$ — температура пресс-кантов формы; $T_{\text{пЛОП}}$ — температура плавления олефинового полимера (наиболее тугоплавкого компонента в смеси функционализированного полиэтилена низкой плотности и этиленпропиленового сополимера); $T_{\text{СПА}}$ — температура стеклования алифатического ПА в смеси. Если температура пресс-кантов ниже температуры стеклования аморфной фазы ПА, то при соприкосновении с ними расплава смеси резко ограничивается сегментальная подвижность макромолекул ПА, затрудняется протекание диффузных процессов в зоне сварного шва и приводит к снижению прочности последнего. Температура, равная $0,85T_{\text{пЛОП}}$ соответствует температуре кристаллизации полиолефинового компонента в смеси. Выше этой температуры последний находится в смесевой композиции в состоянии расплава и поэтому увеличивается время цикла формования (смесевой материал не успевает полностью перейти в твердое агрегатное состояние, что отрицательно сказывается на формоустойчивости детали и герметичности свар-

ных швов).

На стадии раздува заготовки компрессор подающий воздух во внутреннюю полость заготовки должен обеспечить осушение воздуха (газа) и его температуру $T_{\text{сг}}$ из интервала

$$1,2T_{\text{СПА}} \leq T_{\text{сг}} \leq 0,85T_{\text{пЛОП}}, \quad (2)$$

Использование для раздува заготовки нагретого и осушенного сжатого газа приводит к повышению качества готовых изделий по следующим причинам: облегчается протекание диффузионных процессов, ответственных за сварку; удаление влаги из воздуха и, соответственно, из зоны сварного шва, исключает экранирующее влияние воды на формирование аутогезионного контакта при сварке и повышает тем самым прочность сварного шва. Температура сжатого воздуха, равная $1,2T_{\text{СПА}}$, фактически соответствует релаксационному переходу жидкость-жидкость в фазе ПА (T_{\parallel} — переход). Это температура, равная температуре расстекловывания самого высокомолекулярного сегмента в аморфной фазе ПА. При этой температуре достигается повышение молекулярной подвижности в фазе ПА, что облегчает формирование аутогезионного контакта и повышает прочность и герметичность сварных швов.

На стадии размыкания формы система управления ЭВА должна обеспечить сброс давления сжатого воздуха (газа) в отформованной емкости до атмосферного уровня до момента размыкания полуформ. Наличие избыточного давления сжатого газа в момент раскрытия формы может приводить к появлению микротрещин в зоне сварного шва и снижать вследствие этого герметичность изделий [2].

Используя приведенные выше рекомендации, была разработана технология и освоено серийное производство сепараторов паров бензина из композиционного материала Этамид на основе ПА и полиолефинов для автомобилей LADA SAMARA, LADA 4x4, LADA PRIORA.

Полученные изделия соответствуют требованиям по прочности, проницаемости паров топлива в составе автомобилей.

1. Песецкий С.С., Леонов С.А. Выдувные и экструзионные полиамидные материалы для изделий легковых автомобилей // Междунар. науч.-техн. конф. «Полимерные композиты и трибология». Тезисы докладов. — Гомель. — 2011, 172—173
2. Леонов С.А., Бобровский С.М. Обеспечение пониженной бензопроницаемости полимерных однослойных деталей автомобиля изготавливаемых методом раздувного формования // Вектор науки ТГУ. — 2010 (14), № 4, 87—91

ВОДНО-ОРГАНИЧЕСКИЕ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ПРИДАНИЯ ОГНЕБИОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЕ

Н.К. Лунева, Т.И. Езовитова

Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь; luneva@igic.bas-net.by

Анализ пожаров показывает, что достижение предельно допустимых значений опасных факторов пожаров наступает через 5—10 минут. В связи с этим остается актуальной проблема защиты строительных конструкций от пожара.

Снижение горючести древесных материалов путем их модификации является самым надежным способом, поскольку ингибиторы горения вводятся в структуру целлюлозы и связаны химическими связями, что обеспечивает высокую устойчивость материала к действию воды и сохранность огнезащитных свойств до полного разрушения конструкции. Однако модификация целлюлозы [1] требует сквозной пропитки (автоклав) и термической обработки, поэтому является достаточно дорогой обработкой. При этом лучшими являются экологически чистые огнезащитные составы с низким расходом, высокой степенью огне- и биозащитной эффективности, большим сроком службы.

В Республике Беларусь в качестве ингибиторов горения древесных материалов используются составы: огнебиозащитные препараты «БАН» (ТУ 88-03535167-209-93, изм. 7), «БАН-Т» (ТУ РБ 100205847.017-2000, изм. 4), «БОПОД» (ТУ РБ 03535167.257-95, изм. 5), «ОКГФ», «УниTERM-1», «УниTERM-2», «Синатерм» и некоторые другие. Водные составы «ОКГФ», «БАН», «БАН-Т» вымываются при воздействии атмосферной влаги, но при этом «ОКГФ» в 2—2,8 раза дороже, чем «БАН» и «БАН-Т». Препарат «БОПОД» сочетает в себе возможность придания огнезащитных свойств, окрашивания в любой желаемый тон желто-коричневой гаммы, устойчивости покрытия при нанесении на поверхность древесины в условиях действия погодных факторов и прочности покрытия в течение не менее 10 лет, но обеспечивает огневую защиту лишь по II группе эффективности. Его стоимость составляет 5,2—5,8 у.е. за 1 литр. Другие препараты, придающие при нанесении подобный набор защитных свойств и декоративное окрашивание, отсутствуют и в СНГ, и на рынках дальнего зарубежья.

Цель работы — разработка водно-органического композиционного ингибитора горения древесины, который в одну стадию нанесения наряду со снижением горючести древесины до уровня трудногорючих материалов (I группа огнезащитной эффективности) обеспечивал бы комплекс потребительских свойств: декоративность, устойчивость к водным обработкам (дождеванию), к погодным колебаниям температуры, солнечной радиации (УФ-излучению).

В результате выполненного исследования выбраны наполнители и соединения, сочетающиеся между собой и с пленкообразующим материалом, а при воздействии огня обеспечивающие формирование интумесцентной композиции. Оценено участие в составе композиции связующих: натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы, поливинилового спирта, метилцеллюлозы и винил-ацетатной дисперсии. Сделан выбор связующего, изучены особенности протекания процесса термической дегидратации разрабатываемых составов. Показано, что эффективность водно-органического замедлителя горения повышается в присутствии наполнителей. Установлено, что разработанная композиция обеспечивает (расход 300 г на 1 м² деревянной конструкции) высокую огневую эффективность (максимальный % потери массы составляет лишь 4,7% [2]), толщина обуглероженного древесного слоя не более 1 мм.

Изучена устойчивость образованного на древесине покрытия, из разработанной композиции, к воздействию воды и ультрафиолета. Показано, что сорбция воды составляет максимально 8,4%, целостность покрытия краски при этом не повреждается, сохранность огневой защиты не уменьшается, а 180 часовое облучение поверхности окрашенной (красный, желтый, черный цвет) деревянной доски УФ-излучением с длиной волны 230—320 нм не уменьшает величину оптической плотности нанесенного покрытия. Полученные результаты указывают на высокую сохранность цвета окрашивания при испытании разработанной краски.

Установлено, что разработанная краска изменяет механизм термического разложения обработанной древесины — сдвигает основной процесс разложения древесины (разрыв глюкопиранозного цикла и дегидратацию) в низкотемпературную область ~ на 205 °С, образует на поверхности пиломатериала пористый теплоизолирующий экран (с коэффициентом вспучивания до 5 раз), уменьшает температуру поверхности материала за счет испарения летучих соединений, образованных в процессе нагрева, существенно увеличивает выход углеродного остатка.

1. Лунева Н. К. и др. Взаимодействие древесных пиломатериалов с реакционноспособными антипиренами // Весті АН Беларусі. Сер. хім. навук. — 1994, № 1, 15—20
2. ГОСТ 16363-98 Средства огнезащитные для древесины. Методы определения огнезащитных свойств

КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ОГНЕЗАЩИТЫ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ

Н.К. Лулева, Т.И. Езовитова

Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь; luneva@igic.bas-net.by

В современном строительстве и реконструкции зданий широкое применение нашли металлические конструкции. Их использование снижает массивность сооружений и сокращает сроки строительства, что обуславливает значительный экономический эффект. Металлические конструкции обладают высокими прочностными свойствами, значительно легче железобетона, экономичны и долговечны. Однако во время пожара под влиянием высоких температур и действующих нагрузок они склонны деформироваться, терять устойчивость и несущую способность, что может привести к обрушению зданий уже через 5—10 минут от начала пожара. Для осуществления огнезащиты производят нанесение композиций сложного состава, которые, как правило, в условиях нагрева 200—250 °С вспучиваются, увеличивая величину теплоизолирующего слоя в 2—20 раз за счет образования закрытых пор [1—4]. Величины требуемых пределов огнестойкости основных строительных конструкций составляет в основном от 0,25 до 2,5 часов в зависимости от степени огнестойкости и типа конструкций. Для решения проблемы огневой защиты используют защитные композиции, расход которых составляет 0,3—18 кг/м².

Путем принятия защитных мер решается несколько задач: повышается устойчивость зданий и сооружений при пожаре за счет увеличения огнестойкости строительных конструкций; предотвращается развитие и распространение огня, увеличивается время эвакуации людей при пожаре.

На современном рынке огнезащитных материалов существует множество материалов для огнезащиты металлоконструкций, но наиболее широко используемыми на сегодняшний день являются огнезащитные краски и штукатурка, огнезащитные составы: ОГРАКС-НИИ, Эндотерма ХТ-15D, а также Пламкор. Все они производятся в России. В Беларуси рынок ограничивается 3—4 составами: Ньюспрей (Франция), Пирекс (Германия), ОПВ-180, ФАРЗОЛЛ (Россия). Огнезащитные краски и штукатурки достаточно дороги и обеспечивают предел огнестойкости до 45 минут.

Ранее нами для металлоконструкций разработан базовый состав композиции ОПС-2, состоящий из наполнителя (природных термостойких соединений) с низким коэффициентом теплопроводности, и минерального вяжущего (жидкого стекла с силикатным модулем 3,2 и плотностью не менее 1,45 г/см³). Сочетание в составе композиции минерального вяжущего, обеспечивающего вспучивание, и наполнителя приводит к формированию покрытия с низ-

ким коэффициентом теплопроводности. Покрытие, нанесенное на металл, в зависимости от толщины слоя, обеспечивало предел огнестойкости 45—90 минут, однако целостность покрытия при сушке определялась температурой окружающей среды и при температуре ниже 10 °С на покрытии наблюдалось образование трещин.

Цель исследования — оптимизировать состав покрытия, предотвратить образование трещин при сушке и увеличить предел огнестойкости.

В качестве активных добавок в огнезащитную композицию вводили пластификатор С-3 (РБ), оксиды металлов и пенообразователь «Карат» (РФ). Причем первые две добавки вводили в состав наполнителя, пенообразователь — в связующее. Оба состава хорошо перемешивали, после чего связующее вносили в наполнитель и композицию тщательно размешивали. Композицию наносили на поверхность металлической конструкции размером 220×220 мм с толщиной металла 3 мм. После этого металлические пластины для сушки выдерживали в течение 7 суток при комнатной температуре. Твердое покрытие имеет толщину 10 мм. Покрытие, нанесенное на металлическую пластину, испытывали в лабораторной печи, предварительно закрепив конструкцию на дверце печи покрытием внутрь. Нагрев печи осуществляли в интервале температур 20—1100 °С.

Прочностные характеристики покрытия изучали измерением коэффициента адгезии композиции (ГОСТ 28574-90), огнезащитные свойства определяли установлением предела огнестойкости (СТБ 11.03.02-2010). В процессе нагрева образцы покрытия хорошо вспенивались, сохраняли целостность и высокую адгезию к металлической поверхности.

В результате проведенного исследования установлено, что введение в состав композиции оксидов металлов, пластификатора и пенообразователя предотвращает образование трещин на поверхности покрытия при сушке, а также повышает при нагреве предел огнестойкости конструкции с толщиной слоя 10 мм до 110—120 минут.

1. Сергеев А.М. Огнезащитные мастичные материалы // Строительные материалы. — 2002, № 6, 10—11
2. Ащеульников П.Ф. Исследование огнезащитных покрытий на основе вермикулита // Энергосбережение и водоподготовка. — 2003, № 3, 48—50
3. Егоров А.М., Сухоруков Е.И., Плотникова Е.Х., Халиуллин А.К. Огнезащитные покрытия на основе карбамидных смол для металлических конструкций // ЖПХ. — 2002, вып. 1, 152—155
4. Еремина Н.В., Авакумов Е.Г., Зелинский В.Ю. Жидкостеклянная огнезащитная композиция на основе механически активированного глинозема // Стекло и керамика. — 2005, № 2, 28—30

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛЬГИНАТСОДЕРЖАЩЕЙ АНТИРЕФЛЮКСНОЙ КОМПОЗИЦИИ *IN VITRO*

М.В. Макаренко, С.А. Усанов

Институт биоорганической химии НАН Беларуси, Минск; makarenko@iboch.bas-net.by

В последние годы наблюдается повышение интереса к антирефлюксным рафтообразующим препаратам для лечения гастро-эзофагеальной рефлюксной болезни (ГЭРБ). Фармакологическое действие препаратов обусловлено созданием физического барьера в виде плавающего на поверхности содержимого желудка нейтрального гелевого рафта, который оказывает защитное действие при попадании в пищевод при ГЭРБ. В качестве гелеобразующих ингредиентов используют способные к набуханию биополимеры (альгинаты, желатин, пектин, агар). Альгинаты не оказывают существенного влияния на внутрижелудочный pH, механизмы выработки соляной кислоты в желудке и пищеварение. Новый алгоритм лечения ГЭРБ учитывает достижения клинической практики и рекомендует использовать альгинат-антациды в качестве адьювантной терапии на всех уровнях лечения, как самостоятельно, так и в комбинации с антисекреторными препаратами [1].

Целью исследования была сравнительная оценка эффективности разрабатываемых и выпускаемых антирефлюксных антацидов в моделируемых условиях *in vitro*. Альгинаты являются линейными сополимерами (1-4)-β-D-маннурановой кислоты и α-L-гулурановой кислоты, которые растворяются в воде с образованием коллоида, в кислой среде образуют гель. Способность альгинат/бикарбонат/карбонатных составов образовывать плавающую суспензию в значительной степени определяется природой полисахарида, составом и соотношением ингредиентов, в частности, бикарбонат/карбонатных солей, определяющих газогенерирующие свойства препарата, прочность и плавучесть образующегося рафта.

Тестируются смеси субстанции с различным количеством альгината натрия и антацидных ингредиентов (карбонаты и бикарбонаты щелочных и щелочноземельных металлов, окись или гидроокись магния). Исследуемый образец измельчали до порошка и прибавляли к 30 мл дистиллированной воды при интенсивном перемешивании. Полученную суспензию прибавляли к 100 мл водного раствора 0,1 М HCl, находящегося в водяной бане при температуре 37±1,0 °С, при слабом перемешивании. Образующийся рафт выдерживали в растворе в течение 15 мин. Полученный гелевый осадок переносили на фильтровальную бумагу, выдерживали 15 минут при комнатной температуре и взвешивали. Изменение соотношения различных ингредиентов смеси приводит к следующим характеристикам образующегося рафта: вес изменяется в интервале

15,5—26,9 г, объем 25,3—60,5 мл, индекс плавучести 0,41—0,76. Плавучесть альгинатного рафта усиливается при увеличении содержания бикарбонат/карбонатных солей — за счет захвата пузырьков CO₂, образующихся при взаимодействии с HCl, при этом катионы кальция и магния «сшивают» линейные цепи альгината, образуя надмолекулярную матричную структуру.

Оценку кислотонейтрализующей активности (КНА) проводили в стандартных условиях статическим (USPXXXII) [2] и динамическим методами [3]. В статическом методе использовали избыток 1,0 М HCl, которую титровали 0,5 М NaOH до получения устойчивого значения pH, равного 3,5. В модифицированном динамическом методе фиксировали изменение значения pH раствора при подаче в раствор с помощью перистальтического насоса 0,1 М HCl со скоростью 2 мл/мин до достижения pH 2,5. Метод тестирования моделирует поведение образующегося антацид-альгинатного рафта в растворе искусственного желудочного сока и позволяет оценить КНА и продолжительность действия. При тестировании в более жестких условиях с использованием водных растворов 1,0 М HCl и 0,5 М NaOH образуется антацид-альгинатный осадок, затрудняющий определение КНА препарата в течение времени анализа. КНА разовой дозы исследованных композиций составляла 7,0—12,1 мэкв.

Полученные результаты тестирования исследуемых композиций подтверждают их выраженные антирефлюксные и антацидные свойства, позволяют корректировать создание безопасного и эффективного лекарственного средства, не уступающего известным зарубежным аналогам Gaviscon (Великобритания), Toralkan (Франция). Преимущества таких лекарственных средств по сравнению с используемыми препаратами заключается во внесистемном действии, незамедлительном действии после приема препарата, отсутствии побочных эффектов, пролонгированности действия.

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственной программы «Импортозамещающая фармпродукция», подпрограмма «Фарм субстанции и готовые лекарственные средства» (задание Ф13).

1. Tytgat G.N. et al. New algorithm for the treatment of gastroesophageal reflux disease // Aliment. Pharmacol. Ther. — 2008 (27), 249—256
2. USP 32 NF 27. Rockville, MD: US Pharmacopeia. 2009, 1088.
3. Rossett N.E., Rice N.L. An *in vitro* evaluation of the efficacy of the more frequently used antacids with particular attention to tablets // Gastroenterology. — 1954 (26), 490—495

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЗО-ФЕНИЛЗАМЕЩЕННОГО BODIPY КАК МОЛЕКУЛЯРНОГО РОТОРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВЯЗКОСТИ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ СИСТЕМ

Ю.С. Марфин¹, Д.А. Меркушев¹, Г.А. Левшанов¹, Е.В. Румянцев¹, Е.В. Антина²

¹Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново, Россия; marfin@isuct.ru

²Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, Иваново, Россия

Создание материалов с заданными свойствами — важнейшая задача современной химии и материаловедения. Одним из приемов получения мультифункциональных материалов является «наносборка» с использованием «золь-гель» прекурсоров. Путем ковалентной или нековалентной иммобилизации функциональных молекул в полимерные матрицы создаются материалы с улучшенными эксплуатационными характеристиками. В частности, в оптике и молекулярной сенсорике они рассматриваются как эффективные заменители традиционно используемых жидкофазных систем. В этой связи контроль за процессами гидролиза и поликонденсации в золь-гель системах в целях увеличения эффективности синтеза гибридных материалов и их практически значимых характеристик, приобретает особое значение.

В качестве объектов иммобилизации могут выступать органические люминофоры, среди которых выделяются борфторидные комплексы дипирролиметенов (bodipy) благодаря интенсивным хромофорным и флуоресцентным свойствам, а также высоким квантовым выходам. Особенностью bodipy, имеющих фенильный заместитель в *мезо*-положении дипиррольной системы является проявление свойств молекулярного ротора (рис. 1).

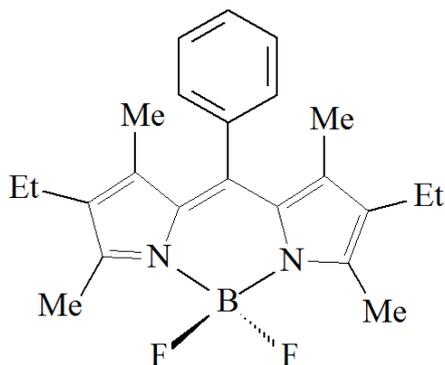


Рис. 1. Структура *мезо*-фенил замещенного bodipy

К молекулярным роторам относят флуорофорные молекулы, части которых способны вращаться друг относительно друга, приводя к безизлучательному рассеянию энергии возбужденного состояния

молекулы, и, следовательно, уменьшению излучательной способности соединения. Характеристики флуоресценции таких соединений в значительной степени определяются свойствами, и, в первую очередь, вязкостью среды. Наличие свойств молекулярных роторов делает подобные bodipy перспективными соединениями для иммобилизации в полимерные матрицы, как с целью придания им определенных свойств, так и с целью изучения и контроля процессов образования золь и гелей в подобных системах.

В работе изучены спектральные и флуоресцентные свойства *мезо*-фенилзамещенного bodipy в модельной системе этанол-этиленгликоль при различном соотношении компонентов и разных температурах. В результате зафиксированы изменения в спектральных характеристиках флуорофора при вариации динамической вязкости системы.

Установлено, что интенсивность флуоресценции, а также величины относительного квантового выхода для *мезо*-замещенного bodipy значительно зависят от вязкости раствора. Зависимость флуоресценции от состава растворителя имеет экстремальный характер, что обусловлено изменениями межмолекулярных взаимодействий (пересольватация). С изменением температуры интенсивность флуоресценции изменяется прямолинейно. Аналогичные изменения наблюдаются для значений квантовых выходов. Более детальное исследование таких систем было проведено с использованием квантово-химических расчетов и молекулярно-динамического моделирования. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о принципиальной возможности использования *мезо*-замещенного Bodipy для определения локальной вязкости в растворах и гибридных функциональных материалах, что и было использовано в дальнейшем. Более подробные результаты представлены в докладе.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009—2013 годы», соглашение № 14.132.21.1448.

ГИБРИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТРИЦ С ВКЛЮЧЕНИЕМ КОМПЛЕКСОВ ДИПИРРОЛИЛМЕТЕНОВ

Ю.С. Марфин¹, Е.В. Румянцев¹, Е.В. Антина²

¹Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново, Россия; marfin@isuct.ru

²Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, Иваново, Россия

Наличие протяженной лабильной π -электронной системы обуславливает выраженные хромофорные и флуоресцентные свойства у дипирролилметенов и их металлокомплексов. Как индивидуальные соединения, комплексы дипирролилметенов представляют значительный интерес в качестве хромофорных и флуоресцентных меток и сенсоров, оптических преобразователей, а также маркеров в биохимических исследованиях. Границы применения комплексов дипирролилметенов расширяются благодаря развитию способов их иммобилизации в полимерные матрицы различной природы. Такие гибридные материалы обладают улучшенными физико-химическими свойствами и эксплуатационными характеристиками.

В ходе наших исследований показано, что полимерная матрица оказывает весьма существенное влияние на спектральные и фотофизические свойства допируемых соединений. В работе представлены результаты исследований по получению гибридных материалов алкилзамещенного 2,2'-дипирролилметена и его цинкового и борфторидного комплексов. Используемые полимеры — носители: полиметилметакрилат и поливиниловый спирт. Также были получены композиции на основе мезопористого оксида кремния. Гибридные материалы получали совместным осаждением полимера и хромофора из органического растворителя на стеклянные подложки. При синтезе гибридных материалов с оксидом кремния была использована золь-гель технология: SiO_2 получали гидролизом и последующей поликонденсацией кремний-органического соединения — тетраэтоксисилана. В последнем случае гибридные материалы представляли собой мелкодисперсные порошки, тонкие пленки или объемные матрицы в зависимости от выбранного метода синтеза.

Полученные материалы были исследованы рядом физико-химических методов анализа: определены спектральные и фотофизические свойства, фотохимическая, а также термическая устойчивость гибридных материалов. Полученные результаты обсуждаются в сравнении с характеристиками раство-

ров координационных соединений дипирролилметенов в органических растворителях.

В результате выполнения исследования определены условия получения гибридных материалов: оптимальные концентрации, соотношения реагентов, а также условия синтеза, приводящие к наиболее однородным гибридам с ярко выраженными спектральными свойствами. Показано, что в составе полимерных матриц комплексы дипирролилметенов присутствуют в мономолекулярной форме. Таким образом, спектральные и фотофизические свойства комплексов дипирролилметенов сохраняются в полимерном материале, а эффекты снижения оптического поглощения и флуоресценции вследствие агрегации отсутствуют. Проведен анализ влияния природы сольватирующей среды в жидком растворе и полимерной матрице на характеристики спектров поглощения и флуоресценции соединений. Показано, что иммобилизация в полимерные матрицы приводит к гипсохромным смещениям в спектрах поглощения и флуоресценции комплексов.

Установлено, что иммобилизация приводит к стабилизации координационных соединений дипирролилметенов к действию ультрафиолетового излучения и высоких температур. Так, наблюдаемые константы фотохимической деструкции уменьшаются в более чем 1,5 раза по сравнению с аналогичными реакциями в органических растворителях. Температуры начала термической деструкции для гибридных материалов превосходят таковые для индивидуальных компонентов на 30—60 град.

Таким образом, включение комплексов дипирролилметенов в полимерную матрицу позволяет значительно увеличить фото- и термическую устойчивость, а также механическую прочность материала с сохранением спектральных характеристик, присущих индивидуальному соединению.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009—2013 годы», соглашение № 14.132.21.1448.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЕСТРУКТИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА МАТЕРИАЛЫ ИЗ ОТХОДОВ

А.К. Матвеев

Научно-технологический парк Витебского государственного технологического университета, Витебск, Беларусь; info@technopark-vitebsk.by

Цель

Цель выполненной работы заключалась в исследовании температурных воздействий, как деструктурирующих факторов, на прочностные характеристики материалов, полученных из отходов.

Введение

При хранении и переработке полимерных материалов, а также при эксплуатации изделий из них, полимеры подвергаются воздействию различных факторов — тепла, света, проникающей радиации, кислорода, влаги, агрессивных химических агентов, механических нагрузок, которые, действуя раздельно или в совокупности, вызывают в полимерах развитие необратимых химических реакций, таких как старение и деструкция [1]. Известно, что термомеханическая переработка существенно снижает качество получаемых материалов [2]. Особенно существенное влияние многократная переработка оказывает на обувные термопластичные материалы [3].

В результате, появляется необходимость не только в разработках методов прогнозирования поведения переработанных материалов в течение эксплуатационного цикла изделия.

Материалы и методы

Для проведения исследований использовались материалы, получаемые в результате переработки отходов пенополиуретанов, которые образуются при изготовлении обувных подошв методом «жидкого» формования [4]. Материал получают в виде гранулята, который затем используется для изготовления ремонтных пластин методом литья в закрытые литьевые формы.

Для определения прочностных свойств пластин, в зависимости от температурных воздействий, был поставлен установочный эксперимент, целью которого было определение предельной температуры и времени нагрева, которые не оказывают существенного влияния на прочностные свойства материалов. Для проведения эксперимента пластины материала подвергались нагреву и выдержке при различных температурах в течение 10 мин. Далее образцы исследовались на прочность и твердость по Шору А.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 показаны результаты изменения прочности на разрыв, на рис. 2 показаны результаты изменения твердости.

Анализ полученных экспериментальных дан-

ных показывает, что при воздействии температуры более 100 °С происходит резкое падение всех прочностных характеристик материала, что указывает на разрушение структуры материала в результате деструктурирующих воздействий.

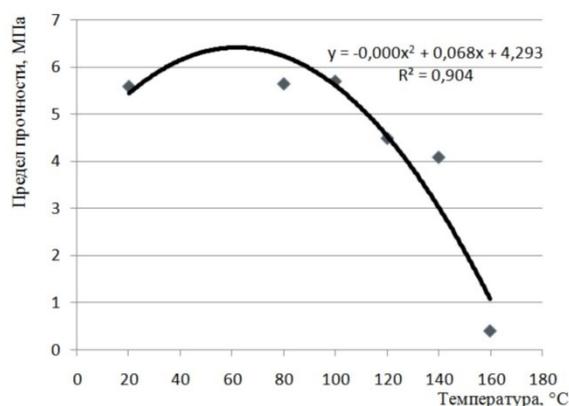


Рис. 1. Зависимость предела прочности от воздействия температуры

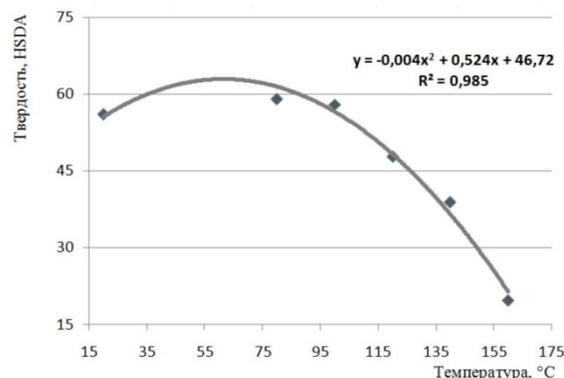


Рис. 2. Зависимость твердости от воздействия температуры

Исследования проведены в плане выполнения студенческого гранта Министерства образования Республики Беларусь (№ г/р 20121174).

1. Brovko S., Matveev A., Pyatov V., Golubev A. Experience of light industry's wastes processing on a screw extruder / Problemy inżynierii środowiska: XXVIII Międzynarodowe sympozjum AQUA 2008 — Plock: Politechnica Warszawska instytut budownictwa. — 2008, 102—105
2. Aguado, J. European trends in the feedstock recycling of plastic wastes // Global NEST Journal. — 2007 (9), No 1,
3. Карабанов П.С. Полимерные материалы для деталей низа обуви: учеб. пособие — М.: КолоС. — 2008
4. Ренно, Д. Формование деталей и изделий в обувной и кожанлантерейной промышленности / пер. с нем.; под ред. Э.В. Ципенюк. — М.: Легкая индустрия. — 1979

ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРА, МОДИФИЦИРОВАННОГО АКРИЛОВОЙ КИСЛОТОЙ

Ю.И. Матусевич, Л.П. Круль

Учреждение Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», Минск, Беларусь; polymer@bsu.by

Композиционные полимерные материалы на основе полиметилметакрилата (ПММА), включающие 9,10-фенантренхинон (ФАХ) в качестве фоточувствительной добавки, широко применяются в системах, предназначенных для оптической записи информации в виде голографических изображений. Однако в некоторых технологических процессах в результате воздействия высоких температур голографическое изображение может искажаться. В связи с этим, актуальной становится задача улучшения термических свойств ПММА при одновременном сохранении его оптических характеристик. Ранее нами было показано, что сополимеризация метилметакрилата (ММА) с акриловой кислотой (АК) позволяет получить термически более стойкий сополимер (СП), чем гомополимер ММА, но с близкими оптическими свойствами.

Целью настоящей работы являлась оценка возможности оптической записи информации в регистрирующей среде на основе СП ММА с АК.

Материалы и методы. Для записи голографических изображений использовали пленочные образцы ПММА и СП ММА с АК размером 10×15 мм, содержащие ФАХ. ФАХ в количестве 6 мол.% вводили в раствор полимера в процессе получения пленок. Мольная доля полярного сомономера АК в смеси с ММА равнялась 0,5. В качестве источника монохроматического света при записи решеток использовался аргоновый лазер (514 нм). Интенсивности двух интерферирующих лучей на входе были одинаковыми и составляли по 30 мВт/см^2 каждая. Угол между лучами варьировался. Соответственно менялся период записываемой решетки. Изменение решетки во времени при ее записи контролировалось детектором. Дифракционная эффективность (DE) записанной в среде голографической решетки рассчитывалась как отношение интенсивности луча после дифракционной решетки, фиксируемой на детекторе, к интенсивности входящего луча, попадающего на решетку.

Результаты и их обсуждение. Данные по эффективности дифракции в изученных нами системах, включающих фоточувствительную добавку ФАХ, свидетельствуют о том, что введение в макромолекулу ПММА чужеродных звеньев АК не препятствует записи и воспроизведению голографических изображений. Экспериментально фиксируемая дифракционная решетка появляется в фоточувствительном ПММА с момента начала ее записи, и

ее максимум достигается через 90 с. Далее DE экспоненциально снижается практически до нуля — решетка, фиксируемая экспериментально, полностью разрушается. При записи в фоточувствительном СП дифракция возникает через 60 с с начала записи и в течение последующих 600 с его интенсивность возрастает до максимального значения. В течение последующих 1000 с DE снижается практически в два раза до стабильного уровня, примерно в 15 раз более высокого, чем в случае ПММА.

Динамика формирования голографической решетки при ее записи в фоточувствительной полимерной среде на основе ПММА и его СП определяется, главным образом, двумя диффузионными процессами. Первый из них связан с диффузией свободных молекул фоточувствительной добавки, второй — с диффузией сегментов макромолекул полимера, химически связанных с ней. Оба процесса напрямую зависят от межмолекулярного взаимодействия в полимерной среде. Изменяя, даже незначительно, межмолекулярное взаимодействие в исходном полимере, можно изменять качество и скорость формирования голографического изображения. Так, процесс образования экспериментально фиксируемой дифракционной решетки в фоточувствительном СП ММА с АК, обладающем более сильным межмолекулярным взаимодействием по сравнению с фоточувствительным ПММА, длится значительно дольше. Но при этом может быть достигнута более высокая дифракционная эффективность записанной голографической решетки.

Наряду с природой диффузионных процессов, происходящих при записи голографического изображения, на формирование дифракционной решетки существенное влияние оказывает ее период. Уменьшение этого параметра до определенного критического значения ускоряет процесс формирования голографического изображения, а дальнейшее уменьшение — замедляет. При этом максимум дифракционной эффективности достигается при одном и том же значении периода решетки и за одно и то же время, независимо от присутствия в полимере полярных звеньев АК. Доминирующими диффузионными процессами при величинах периода дифракционной решетки, больших критического, являются процессы, связанные с диффузией свободных молекул ФАХ, а при меньших — молекул ФАХ, химически связанных с полимером.

ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИЕ СОПОЛИМЕРЫ МАЛЕИНОВОГО АНГИДРИДА И ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ИХ ОСНОВЕ

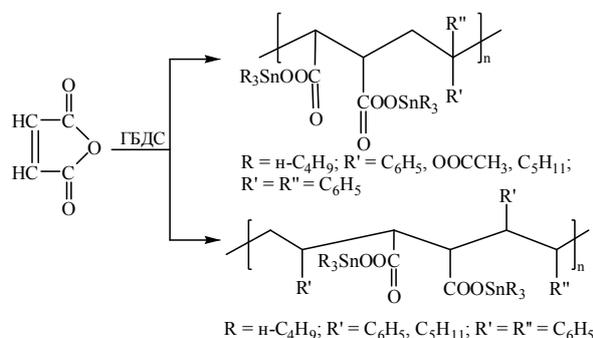
Л.В. Медякова, А.Ч. Аббасова, С.М. Мамедова, С.С. Гасанова, М.Ш. Султанова

Институт Полимерных Материалов НАН Азербайджана, Сумгайыт, Азербайджан; ipoma@science.az

Проблема борьбы с коррозией металла существует до настоящего времени, т.к. повреждение металлического оборудования и конструкций при эксплуатации в различных условиях, особенно, подводных морских приводит к существенным экономическим потерям. В этой связи разработка надежных и эффективных материалов для защиты металлических поверхностей от коррозии и биообрастания является актуальной задачей и решается, в основном, использованием защитных лаков и красок, содержащих в своем составе различные биоциды. Среди многочисленных органических, неорганических и металлоорганических биоцидов наиболее эффективными антиобрастающими агентами являются оловоорганические карбоксилаты и окиси, используемые в зарубежной лакокрасочной и судостроительной промышленности в составе противообрастающих и антикоррозионных покрытий для гидротехнических сооружений. Однако существенным недостатком низкомолекулярных биоцидов при их высокой активности является незначительный срок их эффективного действия в связи с неуправляемой высокой скоростью вымывания из покрытий.

В этой связи целесообразным является переход от низкомолекулярных соединений к полимерам на их основе, т.к. при наличии химической связи токсичных групп с полимерной цепью скорость вымывания снижается на порядок по сравнению с покрытиями, содержащими низкомолекулярные токсины. Поэтому поиски эффективных синтетических биоцидов с длительным сроком службы в морских условиях проводились в направлении создания полимерных антиобрастающих агентов, выполняющих одновременно две функции: пленкообразующего компонента и биоцида в составе защитных покрытий.

В качестве базовых объектов для этих цепей были выбраны чередующиеся двойные и тройные сополимеры малеинового ангидрида с электронодонорными мономерами. Реакциями полимераналогичного превращения при взаимодействии с низкомолекулярным оловоорганическим реагентом — гекса-*n*-бутилдиоксидом (ГЕДС) в среде бензола, толуола или ксилола при 60 °С были получены пленкообразующие оловосодержащие сополимеры с полным или частичным превращением ангидридных звеньев в сложноэфирные оловоорганические группировки и их упорядоченным распределением:



Защитные покрытия, сформированные из эмалей, включающих синтезированные сополимеры, пигменты и растворители, по своим физико-механическим и эксплуатационным характеристикам превосходят известную необрастающую эмаль («Эмаль-519»), содержащую в качестве токсина ГЕДС. Эти эмали в виде тонкого слоя (100—150 мкм) обеспечивают почти полную защиту от обрастания в течение 36—56 месяцев. При содержании олова в покрытиях 5—6% адгезия по методу решетчатого надреза составляет 1 балл, прочность при ударе по прибору У-1 — 50—70 кгс·см, твердость покрытий 0,30—0,35 усл.ед., изгиб покрытий 1,0—1,5 мм, условная вязкость по вискозиметру ВЗ-4 — до 120 с., водопоглощение — 0,20—0,35%.

При радикальной сополимеризации малеинового ангидрида с оловоорганическими метакрилатами [три-*n*-бутилстаннилметакрилат (ТБСМ) и ди-*n*-бутилстаннилдиметакрилат (ДБСДМ)] синтезируются сополимеры с регулярным распределением COOSnR_3 групп в макромолекулах.

При изготовлении защитных покрытий на основе этих сополимеров использована двухслойная методика: основа — эпоксидная смола ЭД-5, на которую нанесен тонкий слой раствора сополимера. Такие покрытия обладают высокой антиобрастающей активностью по сравнению с покрытием из отвержденной эпоксидной смолы.

В результате проведенных исследований разработаны полимерные покрытия на основе оловосодержащих сополимеров, выполняющих функции пленкообразователей и биоцидов, для защиты металлических поверхностей от обрастания и биокоррозии. Предложены возможные варианты формирования защитных покрытий: из лаков, эмульсий, из необрастающих красок, а также в виде двухслойных покрытий на эпоксидной основе.

СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ ПЛЕНКИ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРОВ АЛЛИЛЦИННАМАТА

Л.В. Медякова, Э.А. Ибадов

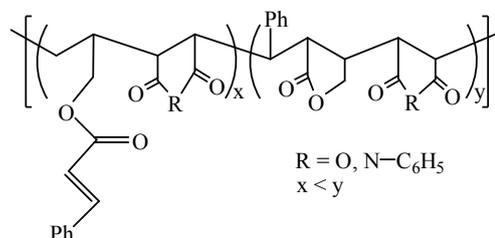
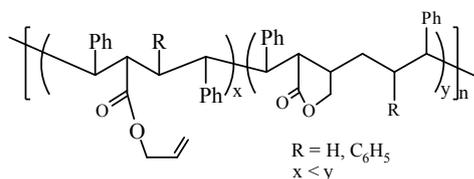
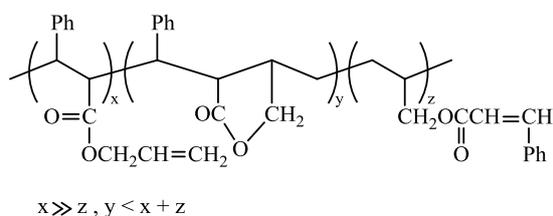
Институт Полимерных Материалов НАН Азербайджана, Сумгайыт; ipoma@science.az

Современные прогрессивные технологии микроэлектроники, литографии и электротехнической промышленности нуждаются в постоянном расширении ассортимента и улучшении литографических и физико-химических свойств универсальных полимерных резистов, чувствительных к УФ-, электронному и рентгеновскому излучениям.

Известно, что полимерные резисты негативного и позитивного характера представляют собой композиции, включающие помимо основного компонента — светочувствительного (со)полимера — пленкообразующие, связующие, сенсibiliзирующие и другие агенты.

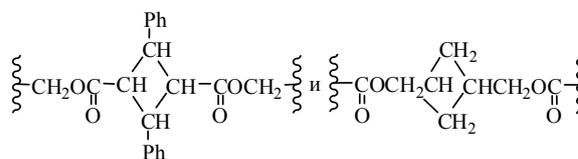
В результате проведенных исследований разработаны жидкостные резисты негативного характера, представляющие собой растворы светочувствительных пленкообразующих сополимеров в МЭК или диглиме. В качестве полимерной основы использованы чередующиеся реакционноспособные сополимеры аллилового эфира транс-коричной кислоты (аллилциннамата) с виниловыми мономерами различных классов: малеиновым ангидридом (МА), N-фенилмалеимидом (N-ФМИ), стиролом (Ст) и транс-стильбеном (Стб).

Чередование звеньев сомономеров в макроцепи подтверждено значениями констант сополимеризации ($r_1 r_2 \ll 1$) и кинетическими исследованиями. Ненасыщенность синтезированных сополимеров меньше теоретического значения для гипотетического ненасыщенного чередующегося сополимера (50 мол.%). Это связано с образованием циклических структурных звеньев, т.к. реакции сшивки в выбранных условиях синтеза не протекали. По данным ИК-спектров циклические звенья представляют собой, в основном, γ -лактоны ($\nu_{C=O}$ 1770 cm^{-1}) и формируются атакой коричневого радикала на аллильную $C=C$ связь.



Установлено, что эти сополимеры, содержащие в макромолекулах ненасыщенные звенья линейного строения и циклические (γ - и δ -лактоны) фрагменты, легко сшиваются под действием энергетических излучений.

Содержащиеся в макромолекулах сополимеров функциональные группы обеспечивают осуществление реакций фотоструктурирования, которые осуществляются, в основном, по механизму образования межцепных циклобутановых фрагментов с участием аллильных и коричных $C=C$ связей:



Присутствие циклических звеньев ограничивает набухание при проявлении после экспонирования УФ- или электронным излучением, не требуется введение сенсibiliзатора (поглощение 300—400 нм), обладают хорошими пленкообразующими свойствами. Тонкие пленки (0,47—0,53 мкм) были сформированы на подложках центрифугированием из 15—25%-ных растворах сополимеров при скорости 2500—3000 об/мин и высушены в слабом вакууме при комнатной температуре. Определены основные литографические характеристики: чувствительность к УФ-облучению (35—68 $\text{см}^2/\text{Дж}$), разрешающая способность (0,8—0,9 мкм), электроночувствительность ($(0,8—2,1) \cdot 10^{-7}$ Кл/ см^2), разрешающая способность (1,2—1,5 мкм), средняя скорость травления в плазме — 500—530 $\text{Å}/\text{мин}$.

По полученным результатам разработанные жидкостные негативные резисты превосходят известные на основе поливинилциннамата и могут быть использованы в технологии создания интегральных микросхем с субмикронными размерами элементов.

ВЛИЯНИЯ СВОЙСТВ И ВЫБОР КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТРУБОПРОВОДОВ НА ОСНОВЕ ИХ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

В.В. Можаровский, С.А. Марьин

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь

Введение. В настоящее время достаточно актуальной является разработка современных методов оценки ресурса оборудования (сосудов, трубопроводов) из новых материалов, в том числе композиционных, на основе имеющейся диагностической информации. Опыт создания таких комплексных программ и методик уже имеется [1, 2]. Следовательно, разработка программного комплекса на ПЭВМ, позволяющего автоматизировать данный процесс, является довольно актуальной. При расчете напряженно-деформированного состояния трубопроводов и систем трубопроводов из-за сложной геометрии и особенностей конструкционного строения стенок труб, а также в связи с необходимостью моделирования различных слоистых тел применяется конечно-элементный анализ в двухмерных постановках. Ниже представлена реализация решений расчета слоистых труб согласно алгоритма [1, 2].

Постановка задачи. Пусть имеется слоистая цилиндрическая толстостенная труба (внутренний радиус — r_a , внешний — r_b , n — число слоев трубы). Труба находится под действием равномерно распределенной термосиловой нагрузки: p — интенсивность внутреннего нагружения и на упругой опоре. Рассматривается осесимметричная термоупругая задача.

Реализация по МКЭ. Исследуем напряженно-деформированное состояние слоистой цилиндрической трубы на упругом основании, находящейся под действием внутреннего давления. При исследовании напряженно-деформированного состояния сделаем следующие допущения: 1) труба лишена дна и имеет длину, значительно превышающую наружный диаметр; 2) давление в трубе равномерно распределено по всей длине; 3) геометрия слоистости и неоднородности неизменна по всей длине трубы; 4) упругая опора лежит на жестком основании. Расчет проведем с использованием аппарата конечно-элементного моделирования. Разбиение расчетной области, производим нерегулярной сеткой, треугольными конечными элементами. Увеличение количества конечных элементов в местах концентрации напряжений позволяет достичь наибольшей точности при расчетах.

На рис. 1 представлена картина распределения напряжений σ_x . Максимальные значения напряже-

ний σ_x сосредоточены на внутренней поверхности трубы непосредственно над опорой и в противоположной стороне (сверху) и достигают значения 3,6р, что в три раза больше чем минимальные напряжения, которые также расположены внутренней поверхности по обе стороны от оси Ox трубы. Аналогичные графики были построены и для σ_y , τ_{xy} .

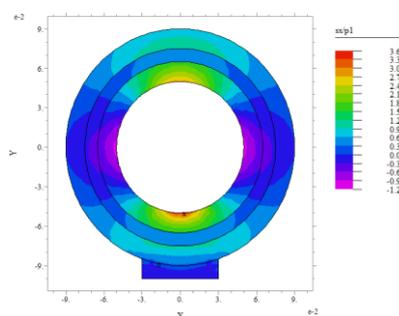


Рис. 1. Распределение напряжений σ_x

Выводы. Разработана автоматизированная методика и создан программный комплекс для нахождения напряжений и деформаций слоистых цилиндрических конструкций из анизотропных материалов, что дает возможность выбор композиционных материалов на основе напряженного состояния цилиндрических труб. Исходя их полученных результатов в примерах можно сделать вывод, что при уменьшении угла наклона волокон ϕ с той стороны, где угол уменьшается, $\sigma_\theta^{(k)}$ увеличивается, а с противоположной — уменьшается. Описанную методику и программный комплекс можно легко применить на другие трубопроводные системы, использующие новые материалы, в том числе и композиционные.

1. Можаровский В.В., Марьин С.А., Казак В.А., Орлов В.В. Программный комплекс контроля и диагностики сосудов и трубопроводов // Техническая диагностика и неразрушающий контроль — 2002, № 1, 28—31
2. Xia M., Kemmochi K., Takayanagi H. Analysis of filament-wound fiber-reinforced sandwich pipe under combined internal pressure and thermomechanical loading // Comp. Structures. — 2001, no. 51, 273—283

ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫЕ ЖИДКИЕ КАУЧУКИ, КАК МОДИФИКАТОРЫ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

В.Д. Мышак, В.В. Семиног, В.П. Бойко, Е.В. Лебедев

Институт химии высокомолекулярных соединений НАН Украины, Киев, Украина; seminogv@ukr.net

В последние годы увеличивается число исследований, посвящённых утилизации и рециклингу полимерных материалов. Использование отходов термопластичных полимеров и их смесей позволяет решить несколько важных вопросов: во-первых, получить новые материалы с ценными эксплуатационными свойствами, во-вторых, экономить ресурсы первичного сырья, в-третьих, путём использования в производстве полимерных отходов, понизить загрязнение окружающей среды.

Целью нашей работы являлось: получить резинопласты из вторичного полиэтилена низкой плотности, дисперсной резиновой крошки и модификаторов на основе жидких каучуков с функциональными группами. Провести эпексидирование жидких каучуков перкислотами *in situ*. Изучить структурные особенности и физико-механических характеристики полученных композиций.

Одним из перспективных направлений использования вторичных термопластичных полимеров это их модификация. Диеновые олигомеры или жидкие каучуки (ЖК) являются весьма перспективными модификаторами для приготовления полимерных композиций благодаря их углеводородной природе. Широко известны композиции жидких каучуков, наполненные резиновой крошкой. Их хорошие свойства определяются в первую очередь совместимостью обоих компонентов, которые имеют одинаковое или близкое химическое строение. Таким образом, добавки ЖК обеспечивают адгезию к крошке. Для хорошего взаимодействия со второй фазой — термопластом — нужна модификация жидких каучуков.

С целью получения резинопластов с удовлетворительными физико-механическими свойствами на основе вторичного сырья, нами были проведены синтез и модификация ряда жидких каучуков. В работе использовался полибутадиен с концевыми

гидроксильными группами и молекулярной массой 3000 (Krasol LBH, содержание гидроксильных групп — 1,13%), а также промышленные нефункциональные жидкие каучуки СКДН-Н и ПБН российского производства (с молекулярной массой около 2000), и проводили их модификацию муравьиной кислотой с целью получения ЖК с эпексидными функциональными группами. Наличие этих групп подтверждено химическими методами анализа и ИК-спектроскопией. Содержание эпексидных групп в полученных эпексидированных каучуках ПБН — 3,4%, в СКДН-Н — 16,3%. Для модификации была выбрана смесь ВПЭ и РК при массовом соотношении 50:50. Термомеханохимическую модификацию проводили путём формирования композиций в одношнековом экструдере. Полученный экструдат измельчали и формировали из него, методом прессования, образцы для физико-механических исследований в виде двусторонних лопаток (ГОСТ 16336-78). За оценочные критерии физико-механических свойств были приняты разрушающее напряжение при растяжении и относительное удлинение ($\Delta\epsilon$).

Проведенные исследования показали, что добавки модификаторов позволяют улучшить свойства резинопластов по сравнению с контрольным образцом без добавок. При использовании этих модификаторов удалось одновременно повысить прочность и удлинение резинопластов. Если повышение прочности (σ_p) составляло не более 15%, то удлинение ($\Delta\epsilon$) удалось повысить в отдельных случаях в 4,8 раза. Полученные физико-механические результаты свидетельствуют о перспективности использования жидких каучуков, в качестве модификаторов полимерных композиций при создании новых технологий по утилизации и рециклингу вторичного полиэтилена и резиновой крошки

ПРИВИТОЙ БЛОКСОПОЛИМЕР НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОналиЗИРОВАННОГО СОПОЛИМЕРА ЭТИЛЕНА С ВИНИЛАЦЕТАТОМ И ЖИДКОГО КАУЧУКА КАК КОМПАТИБИЛИЗАТОР РЕЗИНОПЛАСТОВ

В.Д. Мышак, Е.Н. Сирык, В.К. Грищенко, Е.В. Лебедев

Институт химии высокомолекулярных соединений НАН Украины, Киев, Украина; elena_siryk@ukr.net

В настоящее время проблема переработки отходов полимерных материалов имеет актуальное значение как с точки зрения охраны окружающей среды, так и в связи с тем, что в условиях дефицита полимерного сырья пластмассовые отходы становятся мощным сырьевым и энергетическим ресурсом. Первое место по масштабам использования и по количеству отходов занимают термопласты, в частности полиолефины (полиэтилен и полипропилен и др.). Второй после полиолефинов по объемам полимерных отходов является резина, в основном из отработанных автомобильных шин. Хотя и разработаны эффективные способы переработки резиновых отходов в крошку, их использование в промышленности еще недостаточно. Одним из методов решения данной экологической проблемы является создание резинопластов на основе вторичного сырья. Однако в большинстве случаев композиционные материалы на основе термопласта и резиновой крошки характеризуются низкими физико-механическими показателями. Известно, что в качестве эффективных модифицирующих добавок широко используют компатибилизаторы — статистические, блок-, привитые сополимеры или полимеры, содержащие функциональные группы, близкие по химической природе одному или обоим полимерным компонентам смеси и есть возможность влиять на свойства таких полимерных систем за счет родства компонентов, улучшения адгезии в межфазной области, снижению поверхностного натяжения.

Цель работы — синтез привитого блоксополимера (ПБС) на основе функционализованного сополимера этилена с винилацетатом (СЭВА) и макродиизоцианата (МДИ) на основе жидкого каучука Krasol 3000 LBH и использование его как компатибилизатора при создании композиционных полимерных материалов на основе вторичного полипропилена (ВПП) и дисперсной резиновой крошки (РК).

Экспериментальная часть

В работе был использован СЭВА марки «Эватан» 4055, содержание винилацетатных групп в котором 40 мас.%. Функционализацию термопласта проводили реакцией аминотерапии. Как функционализирующий агент использовали моноэтаноламин. Содержание гидроксильных групп в функционализованном СЭВА составляет 1,48 мас.%. МДИ получали путем взаимодействия олигодифенилового каучука с концевыми гидроксильными группами «KRASOL LBH-3000» и 2,4-толуиленидиизоцианата (ТДИ). Кинетику синтеза МДИ изучали методом ИК-спектроскопии. Количество NCO-групп по результатам титрования составляет 2 мас.%. Синтез ПБС проводили по реакции уретанообразования между OH-группами функционализованного Эватана 4055 и NCO-группами МДИ на жидком каучуке, при мольном соотношении OH:NCO = 1:1. Прохождение реакции контролировали методом ИК-спектроскопии по исчезновению интенсивного максимума 2270 см⁻¹, характерного для NCO-группы, и появлению максимумов, подтверждающих образование уретановых групп (рис. 1).

МДИ получали путем взаимодействия олигодифенилового каучука с концевыми гидроксильными группами «KRASOL LBH-3000» и 2,4-толуиленидиизоцианата (ТДИ). Кинетику синтеза МДИ изучали методом ИК-спектроскопии. Количество NCO-групп по результатам титрования составляет 2 мас.%. Синтез ПБС проводили по реакции уретанообразования между OH-группами функционализованного Эватана 4055 и NCO-группами МДИ на жидком каучуке, при мольном соотношении OH:NCO = 1:1. Прохождение реакции контролировали методом ИК-спектроскопии по исчезновению интенсивного максимума 2270 см⁻¹, характерного для NCO-группы, и появлению максимумов, подтверждающих образование уретановых групп (рис. 1).

Синтез ПБС проводили по реакции уретанообразования между OH-группами функционализованного Эватана 4055 и NCO-группами МДИ на жидком каучуке, при мольном соотношении OH:NCO = 1:1. Прохождение реакции контролировали методом ИК-спектроскопии по исчезновению интенсивного максимума 2270 см⁻¹, характерного для NCO-группы, и появлению максимумов, подтверждающих образование уретановых групп (рис. 1).

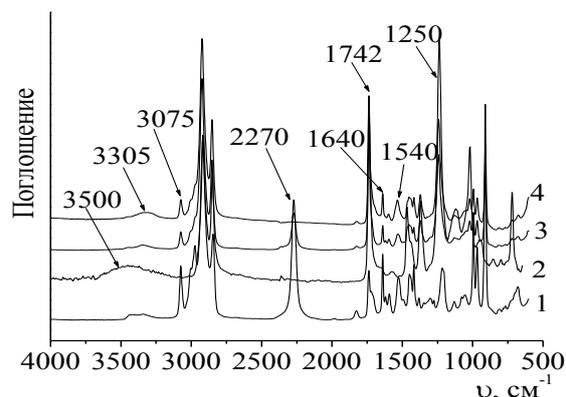


Рис. 1. ИК-спектры: 1 — МДИ на Krasol 3000, 2 — функционализированного Эватана 4055, 3 — исходной реакционной смеси (Эватан 4055 функц.+МДИ на Krasol 3000) и 4 — ПБС

Методом геляпроникающей хроматографии установлено повышение среднечисловой, среднемассовой молекулярных масс и полидисперсности полученного ПБС по сравнению с исходным компонентом — функционализированным СЭВА.

Полученный ПБС был использован как компатибилизатор композиционных полимерных материалов. При исследовании физико-механических характеристик полученных композитов, установлено, что прочность при разрыве в результате компатибилизации возрастает на 20,3%.

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЧ ЭНЕРГИИ

А.В. Павленок, Е.Н. Подденежный, А.А. Бойко

Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Гомель, Беларусь;
alexander.pawlenock@yandex.ru

Разработка высокоэффективных теплоизолирующих материалов на основе силикатных систем в настоящее время уделяется большое внимание. Основные требования к новым материалам данного класса: себестоимость их производства, экологическая чистота изделий, возможность использования материала внутри жилых помещений.

Классическая технология производства пеностекла в промышленных масштабах весьма длительная и энергоемкая. Продолжительность производственного цикла доходит до 25 часов, а применение углеродных пенообразователей, в частности антрацита, содержащего в своем составе до 1,5 мас.% элементарной серы, снижают экологическую безопасность материала и исключают возможность его применения для внутренней отделки жилых помещений.

Авторами разработан упрощенный и удешевленный способ производства пористой керамики из отходов (стеклобоя) при одновременном повышении его экологической безопасности. Поставленная задача решается тем, что для получения пеностекла из отходов вначале готовят порошкообразную смесь стеклобоя и метасиликата натрия, при следующем соотношении компонентов, мас.%: стеклобой 60—70, метасиликат натрия 30—40. Смесь стекло-

боя и сухого метасиликата натрия (ТУ 6-09-5337-87) размалывают в шаровой мельнице, просеивают через сито с диаметром ячейки не более 100 мкм. Смесь засыпают в механическую мешалку и увлажняют из распылителя дистиллированной водой до придания влажности смеси от 5 до 12%. Затем полученную шихту укладывают в форму из радиопрозрачного материала — в данном случае был использован контейнер из фторопластовых пластин. В отличие от классических методов термической обработки в данной работе был использован нагрев в СВЧ-поле. Контейнер с шихтой был помещен в камеру СВЧ печи. В микроволновой печи при мощности магнетрона 800 Вт с частотой излучения 2,45 ГГц в течение 30—70 секунд были получены прочные вспененные материалы в виде блоков. Варьирование долевого содержания метасиликата натрия в сухой шихте от 30 до 40 мас.% позволяет варьировать диаметр пор пеностекла от 0,5 мм до 3,5 мм, тем самым изменяя коэффициент теплопроводности материала от 86 до 34 мВт/(м·К). Стоит отметить, что у образцов, имеющих диаметр поры более 4 мм наблюдается резкое снижение прочностных характеристик, что в свою очередь затрудняет использование крупнопористой керамики в качестве надежного теплоизоляционного материала.

ГИБРИДНЫЕ ОРГАНО-НЕОРГАНИЧЕСКИЕ КОМПОЗИТЫ, ОБЛАДАЮЩИЕ ХОЛИНЭСТЕРАЗНОЙ АКТИВНОСТЬЮ: ПОЛУЧЕНИЕ И ЭЛЕКТРОЛИТНАЯ АКТИВАЦИЯ

В.В. Паентко¹, Ю.В. Матрунчик², А.К. Матковский¹

¹Институт химии поверхности, Киев, Украина; payentko@mail.ru

²Институт общей и неорганической химии, Минск, Беларусь; yulia.m@tut.by

Цель

Органо-неорганические композиты нашли широкое применение при создании материалов целевого назначения. К таковым относятся также системы, обладающие ферментативной активностью. При получении этих объектов используют подходы, которые создают условия для взаимодействия ферментативного препарата (в данном случае — холинэстеразы) с субстратом (ацетилхолинхлоридом), а с другой стороны, обеспечивают защиту от влияния вредных воздействий окружающей среды, приводящих к дезактивации биокатализатора.

Материалы и методы

Материалы и реактивы: силикат натрия (хч), аэросил А300, раствор АХЭ электрического органа электрического угря (*АСНЕ from electric eel*) (Sigma Aldrich), полимерный комплекс на основе поливинилового спирта и полиакриловой кислоты, 0,067M раствор Na, К-фосфатного буфера (рН = 6), 1n раствор хлористоводородной кислоты (хч), хлорид натрия (фарм), ацетилхолинхлорид (фарм) (Sigma Aldrich), Реосорбилакт (Юрия-фарм), натрий гидроксид (хч), хлорид магния (чда).

Методы: потенциметрическое титрование. Исследование ферментативного расщепления ацетилхолинхлорида проводилось потенциметрически кислотнo-основным титрованием [1].

Результаты и обсуждение

В настоящей работе рассмотрена система кремнезем-гидроаккумулирующий комплекс (сополимер полиакриловой кислоты и поливинилового спирта) — *АСНЕ from electric eel* и исследовано влияние способа получения композита и электролитной активации на его каталитические свойства. Использовали два метода синтеза. Первый (1, табл.) заключался в том, что ферментативный препарат вводился в водную дисперсию гидроаккумулирующего комплекса, который, в дальнейшем, при перемешивании, совмещался с золей SiO₂, полученном исходя из метасиликата натрия. Система подвергается зольгель превращению при рН = 6, отвечающему наибольшей активности фермента. В полученном таким образом композите ферментативный препарат, заключенный в гидроаккумулирующий комплекс, приобретает микроокружение, близкое к *in vivo*, а связь полимерной оболочки с решеткой кремнезема после сушки осуществляется за счет силлэфирных и водородных связей. Неорганическая составляю-

щая композита является дополнительной защитой от бактерицидного воздействия как на фермент, так и на полимерный гидроаккумулирующий комплекс. Во втором методе (2, табл. 1) источником кремнезема является аэросил А300. Высокодисперсный оксид вводится, как и в предыдущем случае, в систему гидроаккумулирующий комплекс- ферментативный препарат. При этом создаются условия, при которых величина рН среды и содержание SiO₂ также аналогичны. Применение разных методов получения, давало основание надеяться на появление отличительных признаков, которые могут оказать значительное влияние на каталитическую активность таких биокатализаторов.

Таблица. Ферментативная активность нативной и иммобилизованной холинэстеразы

№ п/п	Состояние холинэстеразы	Метод получения	Электролитный активатор	Активность (ед/мг)
1	нативная	—	—	1,84±0,01
2	иммобилизованная	1	фосфатный буфер	2,15±0,01
3	иммобилизованная	1	фосфатный буфер + Реосорбилакт	2,42±0,02
4	иммобилизованная	2	фосфатный буфер	2,25±0,03
5	иммобилизованная	2	фосфатный буфер + Реосорбилакт	измерение затруднительно*

* введение Реосорбилакта чрезмерно повышает активность иммобилизованной АХЭ

Как видно из результатов, приведенных в табл., оба предложенных способа получения композитов способствуют повышению ферментативной активности (по сравнению с нативной формой). Структура неорганических оболочек влияет на каталитические свойства, по-видимому, за счет неодинаковой проницаемости субстрата к активному центру АХЭ. Природа и состав электролитной добавки оказывает большое влияние на активность иммобилизованного фермента, чем способ формирования неорганической оболочки.

Выводы

Показана возможность регулирования их каталитическими свойствами как за счет формирования структуры неорганической составляющей, так и электролитной добавки.

1. Enzymatic Assay of CHOLINESTERASE, ACETYL (EC 3.1.1.7) // Reagent Chemicals ACS Specifications — 1993, 85

РАЗРАБОТКА НОВЫХ АНТИФРИКЦИОННЫХ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ ПОЛИМЕРНО-МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Е.А. Памфилов¹, Е.В. Алексеева²

¹Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия; pamfilov@bgita.ru

²Брянская государственная инженерно-технологическая академия, Брянск, Россия

Долговечность подшипников скольжения определяется рядом факторов, таких как удельная нагрузка, скорость скольжения, характер движения, условия смазки, рабочая температура, отвод тепла через вал и подшипник и другие. Эти факторы необходимо учитывать при выборе материалов для опор скольжения.

В последние годы все большую роль в качестве подшипниковых материалов начинают играть металлокерамические и полимерно-металлические композиционные материалы с высоким уровнем свойств, а также другие композиционные материалы, способные реагировать на изменение условий эксплуатации. Это связано с тем, что традиционные конструкционные материалы — металлы, полимеры, керамики — не обладают набором свойств, необходимых для экстремальных условий эксплуатации современной техники.

Армирование полимерных материалов металлами позволяет создать материалы, в которых суммируются положительные свойства пластмасс (самосмазываемость, задиростойкость, отсутствие шаржирования контртела, коррозионная стойкость) и металлов (механическая прочность, жесткость, теплостойкость) [1].

Образовавшееся в паре трения подшипник скольжения — вал тепло должно быть удалено — часть со смазочным материалом, часть через вал и часть через стенку вкладыша в тело подшипника и дальше — в окружающую среду. Однако при подаче смазочного материала без давления основная часть тепла будет передаваться через тело подшипника и вал в окружающую среду; что же касается тепла, уносимого смазочным материалом, то его в данном случае будет самое незначительное количество. При этом теплоотвод через вал составляет не более 50% теплоотвода через корпус подшипника. Таким образом, в узле трения вал — подшипник, работающем без подачи смазочного материала, именно подшипник должен обеспечивать отвод большей части всего генерируемого в подшипнике тепла.

При повышении температуры выше допустимой в подшипниках скольжения, выполненных из полимерно-металлических материалов, происходят физические, химические и механические изменения полимерной составляющей; проявляются виды изнашивания, которых могло бы не быть при допустимых значениях температуры трения. В этом случае повысить работоспособность подшипников

скольжения возможно путем применения в них материалов, обладающих повышенной теплопроводящей способностью. В качестве такого подшипникового материала может быть использован новый древесно-металлический материал.

В этом материале содержатся равномерно распределенные в объеме древесной матрицы металлические элементы, не взаимодействующие с матрицей и не растворяющиеся в ней. Металлические теплоотводящие элементы выполнены в виде капсул, представляющих собой оболочку, заполненную легкоплавким эвтектическим сплавом. Основным достоинством таких элементов является то, что при достижении определенной температуры происходит процесс плавления сплава без дальнейшего увеличения температуры, сопровождающийся поглощением выделяющегося в зоне трения тепла.

При формировании древесно-металлического материала матрицу и армирующие элементы выбирают готовыми, а окончательная структура формируется искусственно при изготовлении. Так, еще до насыщения древесной основы металлическими элементами выбирают породу древесины, направление ее волокон и характер модификации. Материал оболочки капсулы для увеличения отвода тепла целесообразно изготавливать из материалов высокой теплопроводности, например меди, алюминия, бронзы, антифрикционного чугуна. В качестве легкоплавкого сплава могут быть использованы сплавы на основе висмута или олова. Количество металлических теплоотводящих элементов определяется исходя из количества тепла, выделяемого при трении в подшипнике.

Триботехнические свойства древесно-металлического материала в значительной степени будут определяться входящими составляющими, их соотношением, структурой, расположением на трущейся поверхности и необходимым теплоотводом.

Таким образом, введение металлических элементов во вкладыш из модифицированной древесины уменьшает активную (нагрузочную) площадь втулки и, следовательно, увеличивает удельное давление на втулку, а выполнение теплоотводящих элементов в виде капсул с эвтектическим легкоплавким сплавом внутри повышает эффективность отвода тепла и понижает температуру работы подшипника.

1. Машков Ю.К. и др. Полимерные композиционные материалы в триботехнике: учеб. пособие. — М.: Недра, 2004

МЕХАНОКОМПОЗИТЫ — ЭФФЕКТИВНЫЕ НАПОЛНИТЕЛИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

П.Н. Петрова¹, А.А. Охлопкова², Т.А. Исакова¹

¹Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия; pravlina@yandex.ru

²Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия

В данной работе для создания полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) использованы комплексы наполнители на основе фторполимеров и природных цеолитов, полученные совместной механоактивацией в планетарной мельнице «Pulverizette 5» фирмы FRITSCHE. В качестве полимерного модификатора поверхности минерального наполнителя использованы фторполимеры марки Ф-4МБ и УПТФЭ (ультрадисперсный политетрафторэтилен). Использование в составе комбинированного наполнителя фторполимерных соединений должно привести к улучшению процесса совместимости наполнителя с ПТФЭ. Выбор цеолитов в качестве модифицируемого наполнителя обусловлено их каркасно-пористой структурой, благодаря чему они могут являться объемными носителями полимерных макромолекул.

Использование технологии совместной активации частиц наполнителя совместно с полимерной добавкой приводит к тому, что под действием ударных и сдвиговых нагрузок происходит не только разрушение частиц и их диспергирование, но и понижение энергии взаимодействия между частицами, тем самым улучшается распределение наполнителя в полимерной среде. Кроме того, при совместной активации частиц минерального наполнителя совместно с полимерной добавкой получают так называемые механокомпозиты, которые можно рассматривать как морфологически метастабильные структуры с высокой плотностью межфазных границ между исходными компонентами, обеспечивающей необычайно высокую контактную поверхность и очень большую концентрацию дефектов вследствие большого числа атомов на поверхностях и в приповерхностных слоях. В таких механокомпозитах за очень короткое время создается система с чрезвычайно большой поверхностью контакта между исходными компонентами. Такая система вследствие этого обладает большой запасенной энергией. Все эти факторы создают идеальные стартовые условия для получения композитов с улучшенным комплексом свойств.

Технология получения механокомпозитов на основе минерального и полимерного наполнителей с последующим введением такого комбинированного модификатора в полимерную матрицу позволяет снизить скорость массового изнашивания в 900 раз при улучшении деформационно-прочностных характеристик ПКМ на 20—30%.

По критерию повышения деформационно-прочностных и триботехнических характеристик ПКМ выявлена оптимальная концентрация модифицированного фторполимерами цеолита, соответствующая 1—5 мас.%. При этом показано, что оптимальными свойствами обладают ПКМ с содержанием комбинированного наполнителя, полученного совместной активацией компонентов при массовом соотношении цеолит: полимерный наполнитель = 2:1 не зависимо от марки используемого фторполимера. Установлено, что оптимальное время совместной активации компонентов комбинированного наполнителя составляет 2 мин.

Установлено, что наибольшее повышение износостойкости ПКМ происходит при модифицировании цеолита УПТФЭ. Скорость массового изнашивания снижается в 900 раз по сравнению с исходным полимером. Это обусловлено, по-видимому, тем, что УПТФЭ по химической природе идентичен ПТФЭ, что повышает совместимость комбинированного наполнителя с полимерной матрицей.

Термодинамическими исследованиями установлено повышение энтальпии плавления ПТФЭ при введении модифицированных цеолитов, что свидетельствует о формировании плотноупакованной структуры композита, чему способствует наличие в этой многокомпонентной системе легкоплавких компонентов (Ф-4МБ и УПТФЭ).

Таким образом, совместная активация и использование при этом разных по природе наполнителей, обладающих различным механизмом модифицирующего действия, позволяет реализовать синергетический эффект повышения показателей служебных характеристик ПКМ (прочности, износостойкости, эластичности и модуля упругости).

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БИНАРНОЛЕГИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ

Д.Г. Пилипцов, А.В. Рогачёв, Н.Н. Федосенко, А.С. Руденков

Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины, Гомель, Беларусь

Углеродные алмазоподобные покрытия наряду с высокой твердостью, износостойкостью характеризуются высокими внутренними механическими напряжениями и низкой термостойкостью. Эффективным технологическим приемом улучшения свойств таких покрытий является их легирование различными элементами. Достижимый эффект определяется природой легирующих элементов и их концентрацией.

В работе бинарнoleгированные углеродные покрытия (УП) были синтезированы вакуумным ионно-плазменным методом. В качестве легирующих элементов выбраны металлы (титан и медь) и азот. Данные наполнители характеризуются различной химической активностью по отношению к углероду. Изучение фазового состава, морфологии и структуры покрытий осуществлялось методами спектроскопии комбинационного рассеивания (КРС), рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС), растровой электронной микроскопии (РЭМ), просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) и атомно-силовой микроскопии (АСМ). Триботехнические испытания проводились по схеме сфера-плоскость.

Установлены морфологические особенности и

механические свойства УП, легированных азотом и титаном или азотом и медью, их зависимость от концентрации введенных элементов. С помощью анализа спектров РФЭС, установлено, что данные особенности объясняются протеканием процессов химического взаимодействия азота с титаном, образованием нитридов и карбидов в объеме осаждаемых покрытий. При легировании УП медью и азотом формируется дисперсная структура, и введение азота сопровождается дополнительным снижением внутренних напряжений.

Определены фазовый состав, структура, микротвердость, внутренние механические напряжения и триботехнические свойства бинарнoleгированных медью и титаном УП. Установлены особенности влияния отжига покрытий типа С:Ti:N, С:Ti:Cu на их морфологию, структуру и механические свойства. Показано, что в процессе отжига протекают два основных процесса, оказывающих влияние на механические свойства: графитизация, которая определяет снижение механических свойств и образование химических соединений (карбидов, нитридов, карбонитридов), приводящее к внедрению в объем покрытия соответствующих твердых фаз.

ВЛИЯНИЕ ИЗНОСА ТОРЦОВЫХ ФРЕЗ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Д.Ю. Пименов

Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет),
Челябинск, Россия; danil_u@rambler.ru

Введение

Обработка торцовым фрезерованием широко распространена, описана в работах [1—3]. В процессе торцового фрезерования могут быть назначены различные режимы резания. Режимы резания назначаются либо технологом из нормативов [4] и справочников режимов резания, либо станочником методом проб и ошибок.

В первом случае режимы резания в нормативах [4] режимы резания должны гарантировать обеспечение качества выполняемого размера и требуемой шероховатости. Например, в работах Пименова–Гузеева имеются математические модели управления силами, точностью обработки от износа торцовых фрез [3]. Однако вышеперечисленные работы не учитывают важной составляющей — изменения шероховатости обработанных плоских поверхностей в связи с ростом величины площадки износа по задней поверхности зубьев торцовых фрез. Поэтому важно установить каким образом износ торцовых фрез влияет на шероховатость обработанной поверхности.

Цель: исследовать влияние величины площадки износа по задней поверхности зубьев торцовых фрез и режимов торцового фрезерования на шероховатость обработанной поверхности.

Описание эксперимента

Для оценки шероховатости обработанной поверхности при торцовом фрезеровании для разных величин износа зубьев фрезы по задней поверхности проведены экспериментальные исследования. Для этого осуществлена обработка детали из стали 45 с размерами « $L = 200$ мм \times $B = 75$ мм \times $H = 100$ мм» на вертикально-фрезерном станке СФ15 (6С12) без использования охлаждения торцовой фрезой с одной твердосплавной сменной многогранной пластины.

Режимы резания подбирались для разных режимов обработки (табл. 1).

Измерение шероховатости R_z проводилось по показаниям профилометра. Снимались показания

прибора для базовой длины $L = 0,8$ мм в начале, середине и в конце рабочего хода фрезы. Таким образом, в каждом опыте проведено 3×5 повторов ($k = 15$).

Таблица 1. Режимы торцового фрезерования

№ п/п	Глубина резания t , мм	Подача на зуб S_z , мм/зуб	Скорость резания V , м/мин	Частота вращения шпинделя n , мин ⁻¹
1	1	0,125	392,6	1000
2	1	0,16	392,6	1000
3	1	0,25	392,6	1000
4	1	0,25	247,3	630
5	1	0,32	196,3	500

В результате получены экспериментальные точки шероховатости обработанной поверхности для разных величин площадок износа и разных режимов торцового фрезерования. Затем проведена статистическая обработка экспериментальных данных.

Однородность выборочных дисперсий проверялась по критерию Кохрена.

Результаты и выводы

Обработка экспериментальных данных показала, что шероховатость R_z с ростом величины площадки износа от 0 до 3,1—4 мм увеличивается от 15 до 30%. При этом с увеличением подачи шероховатость ухудшается. А вот увеличение скорости резания, напротив, приводит к улучшению шероховатости.

1. Mamalis A.G., Kundrak J., Horvath M. Wear and tool life of CBN cutting tools // Int. J. Adv. Manufact. Technol. — 2002 (20), 475—479
2. Cui X. and Zhao J. Cutting force and tool wear in face milling of hardened steel // Mater. Science Forum 723. — 2012, 77—81
3. Pimenov D.Yu., Guzeev V.I., and Koshin A.A., Elastic displacement of a technological system in face milling with tool wear // Russ. Eng. Res. — 2011 (31), 1105—1109
4. Гузеев В.И., Батуев В.А., Сурков И.В. Режимы резания для токарных и фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением: Справочник / Под ред. В.И. Гузеева. — М.: Машиностроение. — 2005

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНОГО КАУЧУКА, СОДЕРЖАЩИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ПОРОШКООБРАЗНЫЕ ДОБАВКИ

И.Н. Пугачева, С.С. Никулин, В.А. Седых

Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия; eco-inna@yandex.ru

Цель. Непрерывное возрастание производственных мощностей, расширение ассортимента выпускаемой продукции неизбежно сопровождается ростом и накоплением разноплановых отходов и побочных продуктов, многие из которых и до настоящего времени не находят своего применения. Большое количество волокон и волокнистых материалов в качестве отходов образуются на текстильных предприятиях, швейных мастерских и других. Поэтому поиск наиболее перспективных направлений по их использованию является важной и актуальной задачей [1]. Целью исследования является создание композиций на основе эмульсионных каучуков, наполненных порошкообразной целлюлозной добавкой на стадии их производства, изготовленной из текстильных отходов легкой промышленности, с оценкой ее влияния на процесс коагуляции и свойства получаемых композитов.

Материалы и методы. Для получения порошкообразной добавки на основе целлюлозосодержащего волокна использовали измельченные отходы, содержащие хлопковое волокно, которые при нагревании и перемешивании обрабатывали раствором концентрированной серной кислоты. Образовавшуюся кашеобразную массу (волокна в растворе серной кислоты) фильтровали, и досушивали. После завершения сушки порошкообразную массу дополнительно измельчали до более мелкодисперсного состояния. Получаемая таким образом кислая порошкообразная целлюлозная добавка (КПЦ) содержала остатки серной кислоты. Однако этот недостаток превращается в преимущество в случае использования данного наполнителя в производстве эмульсионных каучуков, где осуществляется подкисление системы на стадии выделения каучука из латекса. Для получения нейтральной порошкообразной целлюлозной добавки (НПЦ) КПЦ обрабатывали раствором (1—2 мас.%) гидроксида натрия, промывали и сушили. Исходя из фракционного состава целлюлозных добавок, установлен средневзвешенный размер частиц: КПЦ $\approx 0,57$ мм и НПЦ $\approx 0,14$ мм.

Важным фактором с технологической точки зрения является подбор способа ввода полученных порошкообразных целлюлозных добавок в латекс бутадиен-стирольного каучука СКС-30 АРК. Во всех рассматриваемых способах порошкообразные добавки вводили в образующуюся крошку каучука на стадии выделения из латекса, с использованием в качестве коагулянта водного раствора хлорида натрия, магния, алюминия и подкисляющего агента — водного раствора серной кислоты. Анализируя по-

лученные данные можно сделать вывод, что ввод КПЦ и НПЦ целесообразно осуществлять с коагулянтном. Далее проводили коагуляцию латекса бутадиен-стирольного каучука СКС-30 АРК с использованием в качестве добавок КПЦ и НПЦ с содержанием 10—150 кг/т каучука.

Результаты и их обсуждение. Анализ полученных данных показал, что ввод порошкообразных целлюлозных добавок позволяет уменьшить расход коагулянта и подкисляющего агента, необходимых для полноты выделения каучука из латекса. Так, при выделении каучука из латекса в присутствии хлорида натрия его расход необходимый для достижения полной коагуляции снижается с 150—170 кг/т каучука до 110—130 кг/т каучука, в присутствии хлорида магния — с 18—20 кг/т каучука до 12—15 кг/т каучука, а в присутствии хлорида алюминия — с 4—5 кг/т каучука до 2—3 кг/т каучука. В случае применения КПЦ с дозировкой более 70 кг/т каучука полнота коагуляции латекса достигается без дополнительного введения в процесс подкисляющего агента — раствора серной кислоты. Важной особенностью применения КПЦ и НПЦ является интенсификация процесса сушки наполненных каучуков, за счет уменьшения ее продолжительности в 1,5—2 раза.

Для оценки свойств вулканизатов на основе полученных образцов каучука, содержащего порошкообразные целлюлозные добавки, были приготовлены резиновые смеси по общепринятым методикам [2]. Установлено, что введение порошкообразных целлюлозных добавок не ухудшает физико-механические показатели получаемых вулканизатов, однако для их существенного улучшения необходимо провести подбор агентов сочетания целлюлозы с каучуковой матрицей.

Таким образом, проведенные исследования показали, что текстильные отходы легкой промышленности могут служить ценным сырьем для получения порошкообразных целлюлозных добавок. Разработанный перспективный способ введения КПЦ и НПЦ в латекс бутадиен-стирольного каучука совместно с коагулянтном, позволяет уменьшить его расход, что приводит к снижению экологической нагрузки на окружающую среду.

1. Никулин С.С., Пугачева И.Н., Черных О.Н. Композиционные материалы на основе бутадиен-стирольных каучуков. — М.: Академия Естествознания. — 2008
2. Корнев А.Е., Буканов А.М., Шевердяев О.Н. Технология эластомерных материалов. — М.: НППА «Истек». — 2009

СИНТЕЗ НАНОКОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ: МОЛЕКУЛЯРНАЯ СТРУКТУРА И СВОЙСТВАА.А. Рогачёв¹, М.А. Ярмоленко², Д.Л. Горбачев², А.В. Рогачёв², Д.В. Тапальский³¹Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь²Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины, Гомель, Беларусь³Гомельский государственный медицинский университет, Гомель, Беларусь

Тонкие полимерные и нанокomпозиционные слои на основе полимеров обладают уникальными свойствами, которые, как правило, не могут быть достижимы отдельными их составляющими компонентами. Особенно интересны системы на основе полимеров с уникальными физико-химическими, электрофизическими, оптическими и биологическими свойствами.

Методом осаждения из активной газовой фазы синтезированы нанокomпозиционные покрытия на основе полимеров и компонентов различной природы: металлов, полупроводников, полимеров и органических соединений. В качестве основанного полимера использовали политетрафторэтилен (ПТФЭ), полиэтилен (ПЭ), полиуретан (ПУ), полиметилметакрилат (ПММА), а в качестве дополнительных компонентов выступали нитраты, хлориды металлов, антибиотики.

Установлены структурные и морфологические закономерности процессов осаждения нанокomпозиционных покрытий, формируемых путем элек-

тронно-лучевого диспергирования в вакууме составных мишеней.

Показано влияние вводимых компонентов на молекулярную структуру, морфологию и оптические свойства формируемых тонкопленочных систем. Установлено избирательное поглощение в видимой области спектра связанное с явлением поверхностного плазмонного поглощения наночастиц металлов, смещения края поглощения в синтезируемых нанокomпозиционных системах полимер-полупроводник.

Изучены антибактериальные свойства нанокomпозиционных систем на основе полимеров и содержащих биоцидный компонент антибиотика и (или) наночастицы металлов (серебра, меди). Исследована кинетика вымывания биоцидного компонента и особенности деструкции полимерной матрицы. С целью создания систем с программируемым высвобождением биоцидных компонентов разработаны тонкопленочные системы, содержащие биосовместимый и биodeградируемый и полилактид.

ФТОРПОЛИМЕРНЫЕ ПЛЕНКИ С ХИМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ: ЭЛЕКТРЕТНЫЕ СВОЙСТВА

А.А. Рычков, А.Е. Кузнецов, Д.А. Рычков, В.А. Иванов, О.В. Кужельная

НИИ Физики, Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия; richkov_andrey@mail.ru

При высокой стабильности отрицательного гомозаряда стабильность положительного гомозаряда в неполярных фторполимерах довольно низкая [1]. Поэтому до недавнего времени они не рассматривались в качестве материала для изготовления новейших технических устройств с биполярно-заряженными электретами [1]. Однако ситуация изменилась в связи с разработкой способов стабилизации положительного гомозаряда, основанных на физико-химических методах модификации поверхности полимерных пленок [2, 3].

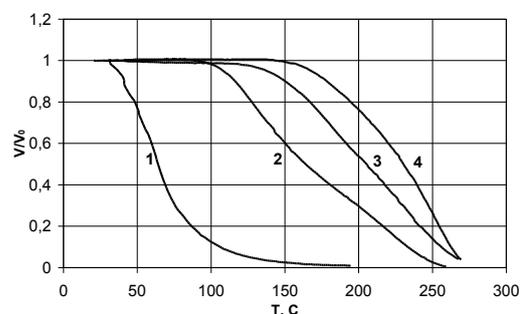
Цель данной работы состоит в изучении электретных свойств фторполимерных пленок, подвергавшихся химической модификации парами тетрахлорида титана.

Исследовались пленки сополимера тетрафторэтилена с гексафторпропиленом марки Ф4МБ (ОАО «Пластполимер», С.-Петербург) номинальной толщиной 10 мкм, с напыленным с одной стороны алюминиевым электродом. Модификация их поверхности осуществлялась при помощи химической нанотехнологии, основанной на принципах метода молекулярного наслаивания [4]. Образцы обрабатывались парами $TiCl_4$ при температуре 100 °С в течение 10 мин с последующей гидратацией парами воды. Процесс производился в реакторе проточного типа (ООО «Химическая сборка наноматериалов», С.-Петербург).

Электретное состояние в исходных и модифицированных пленках Ф4МБ было сформировано методом зарядки образцов в коронном разряде [1]. Использовалось зарядное устройство с управляющим сетчатым электродом, что позволяло получать электреты с заданной величиной начального поверхностного потенциала V_0 . В наших экспериментах образцы заряжались, как в отрицательном, так и положительном коронном разряде до потенциала $V_0 = -1000$ В и $V_0 = +1000$ В, соответственно. Полученные электреты исследовали методом [1, 3] термостимулированной релаксации поверхностного потенциала (ТСРПП) в режиме линейного нагрева со скоростью 5 К/мин.

На рис представлены кривые ТСРПП, характеризующие термостабильность заряда в электретах из исследуемых фторполимерных пленок. Видно, что стабильность положительного заряда в исходных образцах (кривая 1) действительно низкая. Температура полуспада потенциала составляет всего 64 °С, в то время как в исходных образцах, заряженных отрицательно (кривая 2) эта температура равна 164 °С. Из рис. так же хорошо видно, что за счет химиче-

ской модификации поверхности пленок Ф4МБ парами $TiCl_4$ удается получить электретный материал, заметно превосходящий по стабильности заряда исходные полимерные пленки. Так у модифицированных образцов температура полуспада потенциала увеличивается и составляет 206 °С при зарядке в положительной короне (кривая 3) и 230 °С при зарядке в отрицательной короне (кривая 4).



ТСРПП электретов из исходных (1, 2) и модифицированных парами $TiCl_4$ (3, 4) пленок Ф4МБ, заряженных в положительной (1, 3) и отрицательной (2, 4) короне

Феноменологически, эффект стабилизации заряда объясняется формированием на модифицированной поверхности энергетически глубоких ловушек, способных длительно удерживать электретный гомозаряд [2, 3]. По данным СЭМ и РФЭС химический состав и строение модифицированной поверхности фторполимерных пленок претерпевают существенные изменения. На фоне дефторирования и окисления поверхности на ней происходит формирование дискретных, наноразмерных (20—30 нм высотой и 100—500 нм в плане), титансодержащих новообразований. Возникающие при этом специфические граничные слои, согласно [5], вполне могут быть областями локализации энергетически глубоких поверхностных ловушек.

1. Sessler G. Electrets. — 3rd Edition, Vol. 1. — California: Laplacian Press. — 1998
2. Rychkov D., Kuznetsov A., Rychkov A. Electret properties of polyethylene and polytetrafluoroethylene films with chemically modified surface // IEEE Transactions on DEI. — 2011 (18), no. 1, 8—14
3. Rychkov D., Yablokov M., Rychkov A. Chemical and physical surface modification of PTFE films-an approach to produce stable electrets // Applied Physics A. — 2012 (107), 589-596
4. Malygin A. The Molecular Layering Nanotechnology: Basis and Application // J. Ind. Eng. Chem. — 2006 (12), no. 1, 1—11
5. Lewis T. Interfaces: nanometric dielectrics // J. Phys. D: Appl. Phys. — 2005 (38), 202—212

НОВЫЕ ХИМИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ РАЗБАВИТЕЛИ ДЛЯ ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ

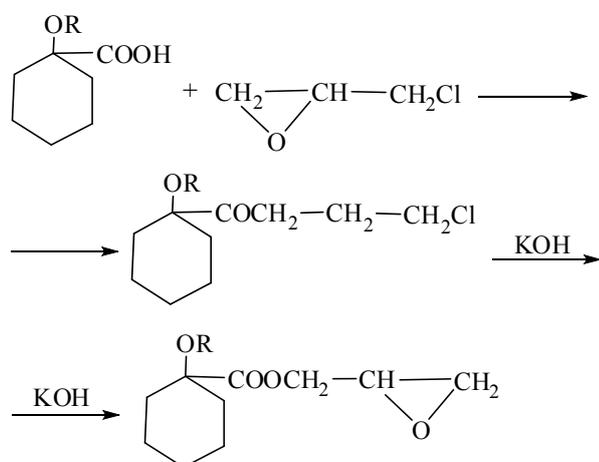
Ш.Ф. Садыгов, Н.Д. Ищенко, С.С. Гасанова, Х.Г. Назаралиев

Институт полимерных материалов НАН Азербайджана, Сумгайыт, Азербайджан; abasgulu@yandex.ru

Эпоксидные смолы находят широкое применение в промышленности, они характеризуются высокой адгезией в различных материалах, их используют в качестве основы в клеевых герметизирующих и композиционных материалах. Среди многочисленных эпоксидных олигомеров наибольшее распространение (90%) получены эпоксидиановые смолы [1]. Однако следует отметить, что общим недостатком диановых смол является их высокая вязкости, снижение вязкости, в основном достигается введением в состав композиции пластификатора или растворителя, что приводит соответственно к разрушению структуры и а образованию большого количества пор [2, 3].

Целью настоящей работы является синтез химических активных разбавителей для эпоксидной смолы ЭД-20, разработка эпоксидных композиций с из участием и апробирование в качестве пропиточных и герметизирующих материалов.

Активные разбавители получены по следующей схеме:



где R = -CH₃ (I), -C₂H₅ (II).

Реакция протекает при 40° в течении 5—6 часов. Полученные активные разбавители имеют молекулярную массу 214—228, эпоксидное число 19,5—20%.

Синтезированные соединения апробированы в качестве разбавителей эпоксидной смолы ЭД-20. Количество активного разбавителя варьировалось от

10 до 30 мас.ч. на 100 мас.ч. смолы.

Оптимальное количество модификатора и режим отверждения находили методом дифференциально-термического анализа.

Установлено, что оптимальным количеством разбавителя в составе композиции является 20 мас.ч. на 100 мас.ч. смолы ЭД-20. При этом соотношении достигается наилучшие физико-механические характеристики эпоксидной композиции.

Следует отметить, что синтезированные химически активные разбавители хорошо совмещаются с компонентами эпоксидной композиции. В качестве отвердителя использован широко применяемый в химии эпоксидных смол полиэтиленполиамин (ПЭПА).

Физико-механические и тепловые характеристики эпоксидных компаундов приведены в табл.

Таблица. Некоторые физико-механические и тепловые характеристики эпоксидных композиций

Соединение	Теплостойкость по Вика	Относительное удлинение, %	Предел прочности при растяжении, МПа	Термостойкость, °С	Степень отверждения, %
I	172	7	74,5	170	96
II	170	6,5	74	172	96
Без разбавл.	120	9	80	175	92,3

Как следует из таблицы влияние химически активного разбавителя в основном повышает степень отверждения композиции и теплостойкость по Вика, очевидно за счет активных эпоксидных групп разбавителя, которые также участвуют в процессе сшивки при температуре, а наличие циклических фрагментов в составе синтезируемых соединений способствуют повышению термостойкости отвержденной эпоксидной композиции.

1. Бабылов В.А. Специальные эпоксидные смолы для клеев и герметиков // Клеи, герметики, технологии. — 2005, № 5, 8—11
2. Петрова А.П. Клеящие материалы: Справочник. — М. — 2002

НЕКОТОРЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И СЕГРЕГАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО КОЛЕСА

А.В. Сидашов¹, А.Т. Козаков²

¹Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону, Россия; sidashvandreij@rambler.ru

²Научно-исследовательский институт физики Южного Федерального университета, Ростов-на-Дону, Россия; kozakov_a@mail.ru

Цель. Экспериментально исследовать распределение механических характеристик металла железнодорожных колес по глубине после длительной эксплуатации. Оценить роль примесных химических элементов в усталостном изнашивании материала колеса в условиях циклического нагружения.

Материалы и методы. С привлечением металлографического, электронно-микроскопического, оже-электронного методов анализа исследовать распределение временного сопротивления разрыву и модуля упругости по глубине колеса, взаимодействующего с полимерной тормозной колодкой.

Результаты и их обсуждение. Впервые для реальной металлополимерной трибосистемы экспериментально показано наличие в ней обменно-диффузионных процессов химическими элементами между металлом колеса и композиционной полимерной тормозной колодкой. Установлено, что поверхности разрушения (дефектные участки) вблизи рабочей поверхности конкретного колеса, отслужившего свой эксплуатационный срок, обогащены целым рядом химических элементов, большая часть которых отрицательно влияет на прочностные характеристики поверхностного слоя. Часть химических элементов принадлежит материалу колеса. Экспериментально установлено превышение содержания некоторых элементов на поверхности по сравнению с объемом составляет, например, меди от 24 до 50 раз, хрома — до 20 раз, фосфора — от 10 до 20 раз, серы — от 12 до 55 раз. Однако на поверхностях разрушения (выщербины и т.д.) это превышение существенно больше (например, для серы до 120 раз) [1, 2]. Большинство перечисленных элементов, особенно сера, фосфор, барий, являются охрупчивающими межзеренные границы, что может приводить к разупрочнению металла в поверхностных слоях колеса. На различие механических характеристик рабочего (первого) слоя бандажа и колеса влияют примесные и легрующие элементы. Экспериментальные исследования механических характеристик металла колеса (временное сопротивление разрыву и модуль Юнга) после эксплуатации представлены на рис. 1 и 2.

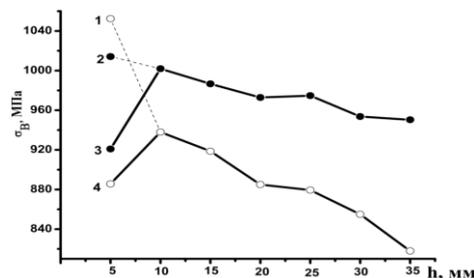


Рис. 1. Распределение временного сопротивления разрыву σ_B по глубине h обода железнодорожного колеса: \circ — колесо; \bullet — бандаж

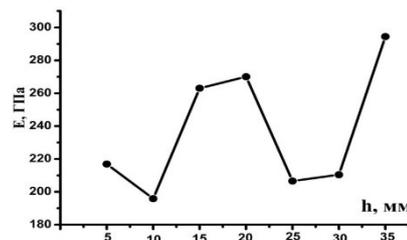


Рис. 2. Распределение модуля упругости по глубине h бандажа

Таким образом, распределение σ_B по глубине колес обоих типов с не удаленной поверхностью катания являются нелинейным, имеющим максимум, соответствующий второму слою (т.е. на глубине ~ 10 мм). Удаление тонкого миллиметрового слоя, содержащего поверхность катания, у первых образцов изменяет форму зависимостей: для первого исследованного слоя получены максимальные значения, которые монотонно уменьшаются от слоя к слою.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (код проекта 12-08-00972).

1. Колесников В.И., Козаков А.Т., Сидашов А.В., Кравченко В.Н., Сычев А.П. Диффузионные и сегрегационные процессы в металлополимерной трибосистеме // Трение и износ. — 2006 (27), № 4, 361—365
2. Колесников В.И., Козаков А.Т., Сидашов А.В., Кравченко В.Н., Сычев А.П. Роль диффузионных и сегрегационных процессов в контактно-усталостном разрушении рабочей поверхности железнодорожного колеса в металлополимерном сопряжении // Трение и смазка в машинах и механизмах. — 2006, № 8, 22—32

МОДИФИКАЦИЯ РЕЗИНЫ УПЛОТНИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НАНОДИСПЕРСНЫМИ ГРАФИТАМИ

М.Д. Соколова, М.Л. Давыдова

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия; mlar80@mail.ru

Одной из немаловажных проблем надежной работы различной техники и технологического оборудования является работоспособность резино-технических изделий (РТИ), обеспечивающих герметизацию узлов и агрегатов. Поэтому проблема повышения качества и работоспособности РТИ уплотнительного назначения всегда актуальна.

В представляемой работе резина марки В-14 на основе бутадиен-нитрильного каучука СКН-18 подвергалась модификации перспективными углеродсодержащими нанодисперсными наполнителями — ультрадисперсным алмазграфитом (УДАГ) и терморасширенным графитом (ТРГ). УДАГ является промежуточным продуктом технологии получения ультрадисперсного алмаза (УДА), имеет слоистое строение, размеры частиц от 4 до 6 нм. ТРГ — высокотехнологичный материал нового поколения, имеет развитую пористую структуру, представленную порами с размерами меньше 1,0 нм [1]. Содержание в указанных веществах графита, одного из традиционных наполнителей антифрикционного назначения, но совершенно в новом нанодисперсном состоянии позволяет надеяться на получение уплотнительных материалов нового поколения.

Комплекс исследований модифицированных резин включал исследование упругопрочностных свойств при растяжении по ГОСТ 270-75, относительного гистерезиса при растяжении по ГОСТ 252-75, коэффициента морозостойкости по эластическому восстановлению после сжатия на 20% по ГОСТ 13808-79, объемного износа по ГОСТ 23509-79 и коэффициента трения на машине трения СМЦ-2 по схеме «вал — втулка»: нагрузка — 67Н, скорость скольжения — 0,39 м/с, путь трения — 7 км, режим трения — сухой.

УДАГ вводили в резиновую смесь марки В-14 на основе бутадиен-нитрильного каучука (СКН-18) в количестве до 1 мас.%. Дальнейшее увеличение количества УДАГ приводит к агломерации ультрадисперсных частиц, которая визуально наблюдалась на срезе резиновой смеси.

В табл. 1 приведены основные эксплуатационные свойства резин, модифицированных УДАГ.

Комплекс проведенных испытаний показал, что модификация резины В-14 УДАГ приводит к улучшению эластичности на 68%, коэффициента трения в 2 раза, износостойкости на 13%, морозостойкости в 1,5 раза и усталостной выносливости резин при многократных деформациях на 19% по сравнению с исходной резиной.

В отличие от УДАГ терморасширенный графит (ТРГ) вводили в больших количествах в резиновые смеси без ухудшения гомогенности смеси. Поэтому при модификации резин ТРГ появилась возможность

уменьшения количества наполнителя резин — технического углерода (ТУ). Содержание ТУ марки П803 в базовой рецептуре В-14 составляет 130 мас.ч. В данной работе изготовлена резиновая смесь на базе В-14 содержащая в качестве активного наполнителя смесь ТУ П803 и ТРГ в количестве 50 и 10 мас.ч. на 100 мас.ч каучука соответственно. Выше указанное соотношение ТУ и ТРГ взято после проведенных исследований на модельных резиновых смесях.

Таблица 1. Свойства модифицированных УДАГ резин

Рецептура	f_p , МПа	ε_p , %	ΔV , см ³	$K_{м, -50}$, °С	μ	$\Gamma_{кз}$, %
В-14	14,0	170	0,230	0,267	0,26	22,8
В-14+0,1% УДАГ	12,5	235	0,205	0,361	0,22	19,9
В-14+0,5% УДАГ	12,9	286	0,201	0,402	0,13	16,7
В-14+1,0% УДАГ	12,2	245	0,220	0,337	0,18	18,4

f_p , МПа — условная прочность при растяжении, ε_p , % — относительное удлинение при разрыве, ΔV , см³ — объемный износ при абразивном истирании $K_{м, -50}$, °С — коэффициент морозостойкости по эластическому восстановлению, μ — коэффициент трения, $\Gamma_{кз}$, % — относительный гистерезис.

Результаты исследования эксплуатационных свойств показали, что модификация резины ТРГ позволила при значительном уменьшении содержания ТУ повысить эластичность в 1,3 раза, износостойкость в 3,5 раза и усталостную выносливость при многократных деформациях на 33% по сравнению с исходной резиной В-14. Проведенные структурные исследования модифицированных резин показали образование слоистых структур и повышение плотности сетки вулканизата, что объясняет повышение свойств резин. УДАГ и ТРГ играют роль сухой твердой смазки в эластомерной матрице.

Таким образом, модификация резины В-14 ультрадисперсным алмазграфитом и терморасширенным графитом позволила получить эластомерные материалы с повышенным комплексом эксплуатационных свойств. На основании проведенных исследований разработаны рецептуры модифицированных УДАГ и ТРГ резиновых смесей, защищенные патентами РФ [2, 3].

1. Savchenko D.V., Lonov S.G., Avdeev V.V. Electrical and thermo-physical properties of composite materials based on nanocarbon sheets with low percolation threshold // Rusnanotech-08. Nanotechnology international forum 3—5.12. Moscow. — 2008 (1), 278—279
2. Резиновая смесь на основе бутадиен-нитрильного каучука: Патент РФ №2129132, С08L 9/02. Бюл. изобр. — 1999, № 11 / Соколова М.Д., Попов С.Н., Адрианова О.А., Охлопкова А.А., Шиц Е.Ю.
3. Морозостойкая резиновая смесь с терморасширенным графитом: Патент РФ № 2356918, С08L 9/02. Бюл. изобр. — 2009, № 15 / Соколова М.Д., Ларионова М.Л., Биклибаева Р.Ф., Барнаков Ч.Н., Морова Л.Я.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА В ПОЛИМЕРЭЛАСТОМЕРНОМ КОМПОЗИТЕ

М.Д. Соколова¹, Н.В. Шадрин¹, А.А. Дьяконов²

¹Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия; Nshadrinoff@yandex.ru

²Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия

На основе смесей полимеров, в частности бутадиен-нитрильного каучука и композиций сверхвысокомолекулярного полиэтилена разработаны перспективные материалы, из которых изготавливаются морозостойкие уплотнения для техники, эксплуатируемой в суровых климатических условиях [1]. Успешное внедрение разработок осуществлено на ведущих промышленных предприятиях Республики Саха (Якутия). При разработке полимерэластомерных композитов выявлено комплексное улучшение свойств смесевых композитов за счет совместного проявления поверхностного и структурного эффектов модификации [2].

Структурный эффект модификации заключается в образовании развитого переходного слоя на границе раздела фаз каучук — СВМПЭ [3—4], что обеспечивает повышенную гибкость макромолекул в этой зоне и за счет этого более быстрое протекание релаксационных процессов при нагрузке и деформации материала, а также улучшение свойств, при пониженных температурах. Поверхностный эффект модификации заключается в образовании защитной пленки СВМПЭ на поверхности композита. Предполагается, что именно за счет того, что СВМПЭ обладает более высокими триботехническими и агрессивностойкими характеристиками, наличие поверхностной пленки, приводит к улучшению износостойкости в различных рабочих средах.

В работе представлено исследование распределения СВМПЭ в эластомерной матрице. Особое внимание уделено исследованию поверхностного слоя на образцах полимерэластомерных композитов.

Исследование показало, что введение кристаллического полимера в каучуковую матрицу привело к обогащению поверхности образцов кристаллическим полимером СВМПЭ и появлению полиэтиленовой пленки толщиной порядка 70 мкм. Поскольку СВМПЭ обладает более высокими триботехническими и агрессивностойкими характеристиками, такая пленка выполняет защитную функцию.

По всей вероятности на поверхность мигрируют частицы СВМПЭ с большим размером (разброс размеров частиц по данным гранулометрического анализа составляет от 10 до 300 мкм), обла-

дающие низким по сравнению с более мелкими частицами поверхностным натяжением, и частицы СВМПЭ, находящиеся в приповерхностном слое.

Возможна миграция низкомолекулярных линейных макромолекул, которые обладают повышенной подвижностью по сравнению с высокомолекулярными молекулами и макромолекулами с разветвленной структурой. В представляемой работе использован СВМПЭ, который синтезируется координационно-ионной полимеризацией с применением высокоэффективных магниево-титановых катализаторов, обеспечивающих строгую линейность. Кроме того, за счет большой длины макромолекул снижается способность к кристаллообразованию и появляется большое количество проходных макромолекул, которые соединяют кристаллы СВМПЭ и образуют сетчатую структуру в материале. Именно это является причиной того, что СВМПЭ не переходит в вязко-текучее состояние при повышении температуры. При вулканизации частицы СВМПЭ не плавятся, а сохраняют свою конфигурацию, вследствие чего на поверхность мигрируют частицы СВМПЭ, т.к. активная миграция на поверхность отдельных макромолекул маловероятна.

Исследование фазовой структуры полимерэластомерных материалов проведенное на рентгеновском дифрактометре, также подтверждает факт повышения содержания СВМПЭ на поверхности и сохранения его кристаллической структуры. При этом полиэтилен сохраняет свою кристаллическую структуру в эластомерной матрице, о чем свидетельствует отсутствие сдвигов характерных для его пиков кристалличности.

1. Соколова М.Д., Давыдова М.Д., Шадрин Н.В. Морозостойкие композиты на основе бутадиен-нитрильного каучука, сверхвысокомолекулярного полиэтилена и природного цеолита // *Материаловедение*. — 2010, № 5, 40—45
2. Соколова М.Д., Давыдова М.Д., Шадрин Н.В., Мороз Л.Я. Разработка эластомерных нанокомпозитов уплотнительного назначения для техники Севера // *Известия Самарского научного центра РАН*. — 2011 (13), № 1(2), 397—401
3. Савельев А.В., Внукова В.Г. // *Каучук и резина*. — 1986, № 9, 31
4. Заикин А.Е., Галиханов М.Ф., Архиреев В.П. // *Высокомолекулярные соединения*. — 1997 (39). № 6, 1060

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ВТОРИЧНЫХ ВУЛКАНИЗАТОВ НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКА

Е.С. Суздальцева, В.И. Ключков, Н.В. Андреева, А.Д. Беглецова, С.К. Курлянд

ФГУП «НИИСК», Санкт-Петербург, Россия

Целью данной работы являлась исследование способности к деструкции вулканизатов СКН-18 и возможность получения вторичных вулканизатов на их основе.

Объектами исследования были стандартные наполненные и ненаполненные вулканизаты СКН-18. Деструкция проводилась при комнатной температуре на тонком зазоре вальцев в течение времени от 1 до 40 минут. После деструкции образцы подвергались повторной термообработке при температуре 143 в течение 40 минут. Режим термообработки совпадает с параметрами вулканизации первичных вулканизатов.

Были получены пласта-эластические, физические, механические свойства вторичных вулканизатов, а также структурно-молекулярные параметры репластикатов.

Установлено, что при выбранном режиме деструкции, в течение первых 4 минут, наблюдается

наиболее значимые изменения структуры: содержание геля падает с 94% до 90%, молекулярная масса M_w золя вырастает с 24000 до 36000, M_n с 11000 до 14000, индекс полидисперсности с 2,1 до 2,76, характеристическая вязкость вырастает с 0,44 до 0,53. Прочностные свойства падают почти в два раза, а для наполненных вулканизатов более, чем в 5 раз, деформация уменьшается в два раза, твердость на 20%, напряжение при 100% удлинении для ненаполненных почти не изменяется, а для наполненных падает в два раза.

Увеличение времени вальцевания мало влияет на молекулярные параметры, что касается деформационно-прочностных, то они в значительной степени приближаются к уровню исходного первичного вулканизата. Причина такого влияния деструкции на свойства вторичных вулканизатов, вероятно, лежит в области протекания реакции рекомбинации возникающих радикалов.

АДГЕЗИОННЫЕ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ТОНКОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ АРОМАТИЧЕСКОГО ПОЛИАМИДА ФЕНИЛОН

В.И. Сытар, А.В. Клименко, М.В. Бурмистр, А.Н. Дудка

Украинский государственный химико-технологический университет, Днепрпетровск, Украина;
antonio03021990@mail.ru

Использование полимеров в узлах трения в виде тонкослойных покрытий, позволяет без больших экономических затрат повысить долговечность трущихся деталей. Однако это возможно только при обеспечении надежного соединения покрытия с металлической подложкой. Практический опыт показывает, что именно низкий уровень адгезии антифрикционного слоя к подложке ограничивает широкое применение тонкослойных полимерных покрытий в узлах трения, так как в результате воздействия неблагоприятных факторов в процессе эксплуатации происходит постепенное снижение прочности адгезионного соединения [1].

Цель

Разработка теплостойких антифрикционных покрытий с повышенными адгезионными показателями к субстратам различной природы.

Материалы и методы

Учитывая выше отмеченные требования в качестве полимерной матрицы, для изготовления покрытий, избран ароматический полиамид фенилон С2, комплекс свойств которого позволяет использовать его как конструкционный материал в широком интервале температур [2—4]. С целью улучшения адгезионных свойств фенилона С2 в его состав вводили кремнийорганический модификатор КО-075, а для улучшения антифрикционных свойств — углеграфитовое волокно и некоторые мелкодисперсные порошки, такие как графит, дисульфид молибдена, фталоцианин меди, нитрит бора. Полимерные покрытия получены путем нанесения слоя раствора полимерной матрицы с соответствующим наполнителем на поверхность субстрата. В качестве подложки применяли металлические пластины марок Ст3, 40Х, СЧ20, 12Х18Н10Т и некоторые цветные металлы.

Проведено исследование полученных покрытий с определением таких показателей как микротвердость и адгезионная способность. Уровень адгезии покрытия к подложке определяли двумя методами: методом равномерного отслаивания и методом сдвига (ГОСТ 14759-69). Полученные металлополимерные образцы испытаны также, на трение и износ по схеме «диск—колодка» на машине трения СМТ-1. Коэффициент трения и износостойкость поверхности трения определяли в режиме трения без

смазки. Испытания проводили при удельной нагрузке 0,5 МПа и скорости скольжения 0,5 м/с.

Результаты и их обсуждение

Исследовано влияние состава на адгезионную способность, механические и триботехнические свойства полимерных покрытий на основе фенилона С2. Установлено, что на адгезионные свойства влияет природа наполнителя и его количество в полимерной матрице.

Определено влияние материала субстрата и качества его поверхности на прочность адгезионного соединения.

В результате исследований выявлены оптимальные концентрации примесей, на основании чего разработаны трехкомпонентные покрытия, которые объединяют в себе улучшенные адгезионные и триботехнические свойства (табл.).

Таблица. Свойства трехкомпонентных покрытий

Состав покрытия, %	Адгезионная прочность		Износ I , %	коэф. трения f
	отслаивание G , Н/м	сдвиг τ , МПа		
ФС2 (100%)	267	0,40	0,59	0,4
ФС2 (80%) + КО-075 (15%) + углеграф. волокно (5%)	615	0,49	0,07	0,24
ФС2 (80%) + КО-075 (15%) + фталоцианин меди (5%)	600	0,43	0,45	0,46

Разработанные полимерные покрытия могут быть рекомендованы для применения в качестве антифрикционных материалов в узлах трения машин и механизмов, заменяя при этом дорогостоящие антифрикционные композиционные материалы, металлы и их сплавы.

1. Шестаков В.М. Работоспособность тонкослойных полимерных покрытий. — М.: Машиностроение. — 1973.
2. Машков Ю. К. и др. Полимерные композиционные материалы в триботехнике. — М.: Недра. — 2004
3. Сытар В. И. Конструкционные триботехнические материалы на основе термостойких ароматических полиамидов // Вопросы химии и химической технологии. — 2000, №1, 325—327
4. Сытар В. И., Стовпник А.В. Разработка методики получения и исследования свойств покрытий на основе фенилона // Вопросы химии и химической технологии. — 2008, № 4, 84—89

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ФЕНИЛОНА

В.И. Сытар, И.М. Кузьяев, А.В. Лободенко, М.Н. Кудынецв

Украинский государственный химико-технологический университет, Днепропетровск, Украина;
antonina.lobodenko@yandex.ru

Интенсивное развитие современной техники способствует расширению сфер применения тепло — и термостойких полимеров, обладающих высокими деформационно-прочностными характеристиками, длительной работоспособностью в широком интервале температур, стойкостью к воздействию агрессивных сред [1—3]. Одним из перспективных термостойких полимеров конструкционного назначения является ароматический полиамид фенилон, имеющий высокую теплостойкость и температуру длительной эксплуатации. Однако, применение его в качестве конструкционного материала для деталей тяжело-нагруженных узлов ограничено вследствие высоких значений коэффициента трения. Введения в его состав в качестве наполнителя твердых смазочных материалов улучшает триботехнические свойства, но при этом значительно ухудшается прочность и увеличивается хрупкость материала [4, 5]. Все это выдвигает задачу для исследований по поиску рациональных методов обработки фенилона с целью устранения этих недостатков

Цель

Целью данной работы является исследование влияния термической обработки композиционных материалов на основе фенилона на триботехнические свойства изделий.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования выбран ароматический полиамид фенилон С2 и композиты на его основе: 80% фенилон С2 + 20% графит (ГК-1); 98% фенилон С2 + 2% олигодиметилсилоксан (ПМС) 78% фенилон С2 + 20% ГК-1 + 2% ПМС.

Композиционные материалы на основе фенилона имеют относительно высокую теплостойкость, поэтому для их обработки необходимо применять термостойкие среды [6, 7]. Этому требованию отвечают силиконовые жидкости. Для обработки полимерных материалов на основе фенилона применен метод термической обработки, заключающийся в нагреве полимера до температуры близкой к температуре размягчения полимера с последующим медленным охлаждением. Термическую обработку образцов проводили в среде полидиметилсилоксана.

Исследование влияния термообработки на триботехнические свойства композиционных материалов на основе фенилона проводили на машине тре-

ния СМЦ-2 при различных удельных нагрузках и скорости скольжения 0,75 м/с.

Результаты и их обсуждение

Анализ проведенных исследований триботехнических свойств показывает, что термическая обработка образцов способствует улучшению антифрикционных свойств (коэффициента трения — f , интенсивности износа — I , температуры фрикционного разогрева — T) материалов на основе фенилона (табл.). Это связано с изменением структуры материалов, а также с появлением на поверхности образца диффузионного слоя, насыщенного органосилоксаном, который попадает в зону контакта трущихся тел и служит дополнительной смазкой.

Таблица. Триботехнические свойства фенилона и композитов на его основе в режиме трения без смазки

Состав композиций	До термообработки			После термообработки		
	$I \times 10^9$, м/м	f	T , К	$I \times 10^9$, м/м	f	T , К
ФФС2	70,0	0,40	403	62,0	0,35	394
ФФС2 + 2% ПМС	63,0	0,33	381	60,0	0,29	372
ФФС2 + 10% ГК-1	10,0	0,23	350	7,7	0,20	342
ФФС2 + 10% ГК-1 + 2% ПМС	6,5	0,21	345	5,7	0,18	338

В результате исследований разработана методика проведения термической обработки деталей на основе композиционного фенилона, которая может быть применена с целью улучшения антифрикционных свойств данных материалов.

1. Михайлин Ю.А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы. — СПб.: Профессия. — 2006
2. Болтон У. Конструкционные материалы металлы, сплавы, полимеры, керамика, композиты. — М.: Додэка-XXI. — 2004
3. Фридляндер И.Н. Современные тенденции в развитии композиционных материалов // Журн. Всесоюзного хим. общества. — 1991 (36), № 6, 652—656
4. Сытар В.И., Бура А.И., Фомичев И.А. Износостойкие графитопласты на основе фенилона // Технология и организация производства. — К.: УкрНИИИТИ. — 1976, № 10, 59—60
5. Сытар В.И., Плошенко И.Г., Герасимов В.Д. Антифрикционные материалы на основе графитонаполненного фенилона // Пластические массы. — 1980, № 8, 14-
6. Кестельман Н.Я. Термическая обработка полимерных материалов в машиностроении. — М.: Машиностроение. — 1968
7. Москатов К.А. Термическая обработка пластмассовых и резиновых деталей машин. — М.: Машиностроение. — 1976

АНТИФРИКЦИОННЫЕ ФТОРОПЛАСТОВЫЕ КОМПОЗИТЫ ДЛЯ РАБОТЫ ВО ВЛАЖНЫХ СРЕДАХ

А.А. Томас¹, А.Ф. Будник¹, К.В. Берладир², В.А. Сви́дерский²

¹Сумский государственный университет, Сумы, Украина

²Киевский политехнический институт, Киев, Украина; berladirkristina@yandex.ua

Компрессоры поршневого типа всесторонне применяются во многих областях техники и транспорта. Они незаменимы в химической, нефтехимической, газовой и нефтяной промышленности, энергетике, металлургии и целом ряде других областей.

При этом широко востребованы специально разработанные (или модернизированные) компрессоры, которые осуществляют компрессию без масляной смазки и невосприимчивы к растворителям, что обеспечивает требуемое качество конечного продукта и безопасность при сжатии многих агрессивных и взрывоопасных газов. Уплотнение поршня и поршневых штоков таких компрессоров осуществляется при помощи износостойких элементов из композитов на основе фторопласта-4 (Ф-4, ПТФЭ) и углеродных волокон (УВ), как основного наполнителя [1, 2].

Обладая уникальными триботехническими и физико-механическими характеристиками при работе компрессоров без смазки, углефторопластовые композиты беспощадно и катастрофически разрушаются при эксплуатации во влажных средах. Низкая работоспособность уплотнений компрессоров в условиях повышенной влажности становится причиной до 40% их отказов [2, 3]. Производительность компрессорного парка в таких условиях снижается в 2—3 раза, а фактический срок службы уменьшается в 2,5—3,5 раза.

Цель работы — разработать триботехнический полимерный композиционный материал (ПКМ) на основе политетрафторэтилена для узлов трения компрессорных установок, сжимающих влажные газы.

Для получения и оптимизации состава ПКМ с заданными свойствами использовали бинарный наполнитель, содержащий УВ и высокодисперсные компоненты неорганической природы, оказывающие различное влияние на структуру и механические свойства ПКМ.

Использован технологический прием повышения адгезионного взаимодействия между компонентами ПКМ введением в систему бинарного наполнителя (УВ + порошок твердой смазки). Дополнительное введение модификатора надмолекулярной структуры (НМС) основывалось на представлении о существенной и принудительной трансформации

НМС ПТФЭ путем увеличения количества центров кристаллизации в системе и влиянием формирующихся структурных образований на конформацию УВ в матрице и свойства композита.

Доказано, что введение дисперсного наполнителя в состав композита усиливает влияние волокон на свойства ПКМ. При этом порошкообразные наполнители при введении в полимерную матрицу становятся центрами кристаллизации структурных элементов. Полученная структура дополнительно армируется волокнами с образованием каркасного скелета. Дисперсный наполнитель снижает энергетический порог образования трещины, а волокнистый — дальное действие распространяющейся трещины. Это приводит к повышению эксплуатационных характеристик ПКМ.

В ходе проведенных исследований изучено модифицирующее влияние графита, кокса, бронзы, карбида титана и дисульфида молибдена на структуру ПТФЭ.

Определено оптимальное соотношение компонентов в композиции (ПТФЭ, УВ и дисперсного наполнителя). Такое соотношение позволило сохранить комплекс прочностных свойств исходного углепластика (Ф4УВ20, ТУ 301-05-16-89) и существенно повысить его эксплуатационные свойства.

Повышенная влагостойкость композита, обеспеченная таким образом, увеличивает в 2,5—3,0 раза долговечность работы узлов трения компрессоров из разработанного фторопластового материала (CFFC). Эксплуатационные характеристики композита при этом возрастают в 1,5—2,0 раза по сравнению с однофазным наполнением матрицы ПТФЭ.

1. Шелестова В.А., Гракович П.Н., Данченко С.Г. Новые антифрикционные материалы группы Флувис на основе модифицированных углеродных волокон // Химическое и нефтегазовое машиностроение. — 2006, № 11, 39—41
2. Будник А.Ф., Томас А.А., Руденко П.В. и др. Высокоэффективный композитный материал на основе фторопласта с минимальным износом и влагопоглощением // VI Междунар. конф. «Стратегия качества в промышленности и образовании», — Варна, Болгария. — 2010 (I), 128—130
3. Томас А.А., Будник А.Ф., Зозуля В.И., Будник О.А. Модификационные технологии совершенствования получения углепластиков триботехнического назначения и аспекты внедрения «сухого трения» в поршневых компрессорах // XIII Междунар. науч.-техн. конф. «Гервикон-2011», Сумы, Украина. — 2011, 140—149

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ИЗНОСА МАСЛОМОДИФИЦИРОВАННЫХ КОМПОЗИТОВ ИЗ ПТФЭ МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

А.Л. Федоров, П.Н. Петрова

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия; E-mail: gelvirb@mail.ru
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия

Ранее в [1] были представлены результаты триботехнических испытаний полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ), полученных пропиткой пористых полимерных заготовок моторными маслами различной природы. В качестве модификаторов ПТФЭ были использованы моторные масла марки М-8В (SAE 20), Motul 5W30 (SAE 30) и Ravenol 5W40 (SAE 40), различающиеся по природе и вязкости. Было установлено, что более эффективным модификатором ПТФЭ является синтетическое моторное масло марки Motul 5W30 и минеральное масло М-8В. При этом одной из причин повышения износостойкости масломодифицированных композитов указывалось повышение их адгезионного взаимодействия с поверхностью контртела за счет образования полярных кислородсодержащих соединений в процессе переработки и изнашивания ПКМ, что способствует образованию прочно прилегающего на контртеле полимерного слоя, который препятствует непосредственному контакту трущихся поверхностей, предохраняя материал от изнашивания.

Методы и предмет исследования. Для более детального понимания процессов, происходящих во время трения между ПКМ и стальным контртелом, проведены исследования продуктов износа методами оптической микроскопии и инфракрасной спектроскопии.

Испытания на износостойкость проводили на универсальном трибометре UMT-2 фирмы CETR (США) с реализацией схемы трения палец-диск. Частицы износа, оставшиеся на контртеле изучали с помощью оптического микроскопа Olympus BX41 и инфракрасного (ИК) спектрометра Varian FTS 7000. Для получения ИК-спектров продуктов износа использовали метод прессования таблеток из порошка KBr, которым предварительно притирали поверхность контртела с частицами износа.

Результаты и их обсуждение. Изнашивание исходного ПТФЭ сопровождается образованием крупных, хлопьевидных частиц износа. Перенос полимера на стальную поверхность происходит дискретно в виде «островков» преимущественно округлой формы размерами примерно до 5 мкм. Анализ частиц износа полимера методом ИК-спектроскопии показал, что при изнашивании ПТФЭ происходит сильная деструкция по связям С–С с образованием полимера с относи-

тельно более низкой молекулярной массой, чем исходный полимер.

Исследование поверхностей контртела, контактировавшего с композитами ПТФЭ, модифицированными моторными маслами, говорит о том, что при трении они переносятся на поверхность контртела тоже дискретно, но формы этих образований на поверхности контртела характеризуются как более вытянутые по направлению трения. В случае композита, полученного с применением моторного масла М-8В, размеры частиц являются наибольшими — около 10 мкм по длине. В случае композитов, полученных с применением двух других видов масел, размеры частиц находятся на уровне до 5 мкм. Согласно ИК-спектрам частиц износа модифицированных маслами композитов при их трении происходят процессы, подобные таковым для исходного ПТФЭ. Однако деструкция композитов приводит к менее значительному сокращению полимерной цепи. Об этом свидетельствует тот факт, что интенсивность пиков в области 1250 см^{-1} (по которым можно судить о молекулярной массе) у масломодифицированных композитов выше, чем у исходного полимера. При этом композиты, модифицированные разными маслами, по степени деструкции основной макромолекулярной цепи по С–С связям можно расположить в следующем возрастающем порядке: Ravenol, Motul, М-8В. Установлено, что чем глубже происходит деструкция полимерной цепи, тем выше содержание полярных групп в композите.

Заключение. Таким образом, повышенную износостойкость композитов, полученных модифицированием минеральным маслом М-8В, можно объяснить наличием большого количества полярных групп в объеме и поверхностных слоях полимера, что способствует увеличению адгезионного взаимодействия полимера и контртела. Это приводит к образованию стабильной и прочной пленки переноса на поверхности контртела. Кроме того, полярные соединения, характеризующиеся наличием подвижного атома водорода и кислотными свойствами, выполняют роль ингибиторов изнашивания ПКМ.

1. Петрова П.Н., Охлопкова А.А., Федоров А.Л. Исследование модифицирующего влияния различных видов моторных масел на триботехнические свойства ПТФЭ и композитов на его основе / Сб. тезисов междунар. науч.-техн. конф. «Поликомтриб-2011», Гомель: ИММС НАНБ. — 2011, 175

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА СТРУКТУРУ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛМАЗОПОДОБНЫХ ПОКРЫТИЙ

М.М. Хрущов, Е.А. Марченко

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия; michel_x@mail.ru

Цель. Покрытия аморфного углерода (а-С и а-С:Н), обладают уникальным сочетанием трибологических свойств — высокой износостойкостью и низким коэффициентом трения при работе в средах различных типов, — и представляют значительный интерес в плане их использования в качестве перспективного триботехнического материала. Они могут оказаться полезны, например, для пар трения, работающих при высоких контактных давлениях. Одним из способов повысить их износостойкость, не снижая антифрикционных свойств, является легирование и создание нанокompозитов на основе фаз, образующих ультрадисперсные включения.

В работе изучали легированные алмазоподобные пленки, полученные путем плазмохимического осаждения из паровой фазы (РА CVD) и магнетронного напыления в углеводородсодержащей активной атмосфере. Отличием данной работы было использование смесей ацетилен-азот.

Материалы и методы. Покрытия наносились на плоские образцы из ряда конструкционных сталей и сплавов. В первом случае, изучали тонкие (толщиной ~ 1 мкм) пленки, легированные кремнием и кремнием-молибденом, во втором, для легирования использовали хром и покрытия имели толщину ~ 3 мкм. При их комплексном исследовании использовали рентгеновскую дифрактометрию, оптическую и электронную микроскопию, рентгеновский микроанализ, рамановскую спектроскопию, методы микро- и наноиндентирования. Трибологические испытания проводили на шариковом трибометре (контртелом служил шарик нитрида кремния диаметром 6 мм).

Результаты и их обсуждение. Покрытия, легированные кремнием и кремнием-молибденом. Результаты трибологических испытаний показали, что при трении в паре с Si₃N₄ данные покрытия, как правило, обладают низкой работоспособностью и высоким коэффициентом трения. Исключением были покрытия а-С:Н:Si на стали 95X18, долговечность которых, несмотря на коэффициент трения $\geq 0,5$ при сухом трении составила более 6000 циклов, и которые были работоспособны при давлениях на контакте до ~ 400 МПа [1].

Эти факты, по нашему мнению, можно объяснить существенным различием микроструктуры конденсатов, поскольку дополнительное легирование молибденом приводило к значительному, на треть, уменьшению содержания углерода и к более, чем двукратному, увеличению содержания кремния (рост ~ 20 ат.%). В силу этого высока вероятность того, что вместо карбидов в покрытиях а-С:Н:Si:Mo

могли образовываться силициды молибдена, а доля алмазоподобной углеродной фазы могла резко понизиться по сравнению со случаем легирования одним кремнием.

Покрытия, легированные хромом. Анализ дифрактограмм покрытий, полученных при напылении в чистом C₂H₂, указывает на наличие рентгеноаморфной карбидной фазы (диффузное гало в области углов $22^\circ \leq 2\theta \leq 50^\circ$) и металлического хрома. По мере увеличения доли азота в атмосфере происходит уменьшение количества аморфной компоненты (уменьшение интенсивности диффузного гало), наблюдается увеличение степени кристалличности структуры покрытий. Размеры связанных с хромом ОКР постепенно увеличиваются и происходит некоторое сужение дифракционных линий, что сопровождается ростом количества металлического хрома, образованием и постепенным увеличением доли нитридных фаз хрома. Качественно эти данные согласуются с данными по изменению химического состава покрытий при варьировании содержания азота в активной атмосфере.

По данным раман-спектроскопии углерод в покрытиях, легированных хромом, имел неупорядоченную алмазоподобную структуру с преимущественно sp³-типом связей, т.е. покрытия потенциально должны обладать высокими механическими и трибологическими свойствами. Данный факт подтверждается результатами измерений нанотвердости, коэффициента трения и контактной усталости. Оказалось также, что образование при напылении в смеси C₂H₂ + N₂ помимо карбидной фазы включений нитрида хрома дает возможность дополнительно повысить механические и трибологические характеристики покрытий.

Таким образом, трибологические характеристики и несущая способность легированных хромом магнетронных покрытий с алмазоподобной структурой существенно выше, чем у CVD покрытий с кремнием и/или кремнием-молибденом. При этом магнетронная технология, использующая в качестве активной атмосферы углеводороды и газовые смеси на их основе, представляется более интересной в плане её практического использования.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 11-08-00802-а).

1. Хрущов М.М., Марченко Е.А., Семнов А.П. Трибологические характеристики алмазоподобных покрытий, легированных молибденом и кремнием // Изв. СамНЦ РАН. — 2011 (13), № 4, 1248—1251

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДВОЙНОЙ МОДИФИКАЦИИ СВЕРХМОДУЛЬНЫХ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ВОЛОКОН

М.Ф. Шаехов, И.А. Гришанова, О.С. Мигачева

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия;
shaechov@kstu.ru

Российский рынок композиционных материалов за истекший год составил всего 0,3—0,5% от объема мирового рынка композитов. В то же время во всех сферах промышленности наблюдается тенденция замены металлических конструкций и деталей на полимерные композиционные материалы, благодаря чему удается значительно снизить вес изделия и повысить коррозионную стойкость. Данное сообщение является продолжением исследования влияния плазменной обработки на физико-механические свойства СВМПЭ [1].

Цель

Получение и увеличение адгезионной прочности композиционного материала на основе наноплазмированного и подвергнутого обработке сверхкритическим диоксидом углерода СВМПЭ и термоактивной матрицы.

Материалы и методы

В качестве материалов использовались непрерывные сверхмодульные многофиламентные волокна полиэтилена марки D 800 (производство Китая) и эпоксидная смола ЭД-20, наночастицы SiO₂, флюиды CO₂.

Плазменная обработка осуществлялась на ВЧЕ-установке, плазмообразующий газ — аргон. Для проведения обработки образцов в среде сверхкритического диоксида углерода была использована модернизированная установка RESS 100 [2]. Микроскопические исследования осуществлялись на конфокальном лазерном сканирующем микроскопе (ЛСМ) марки LEXT OLS 4000 (производство фирмы Olympus), Механические свойства определялись на разрывной машине марки РМ 50.

Результаты и их обсуждение

Анализ изображений (рис. 1, а, б) исходных и модифицированных поверхностей филаментов волокон свидетельствует об увеличении диаметра последних (происходит увеличение их степени набухания на 4—5 мас.%),

Полученные кривые зависимостей усилий выдергивания свидетельствуют об увеличении прочности композита с двойной модификацией и наночастицами многофиламентного волокна ~ 27—30%. Повышение прочности композита обуславливается как увеличением суммарной поверхности контакта волокон с матрицей, так и увеличением концентрации реакционных групп на поверхности полимера после плазменной обработки и сшивкой с реакционными группами наночастиц.

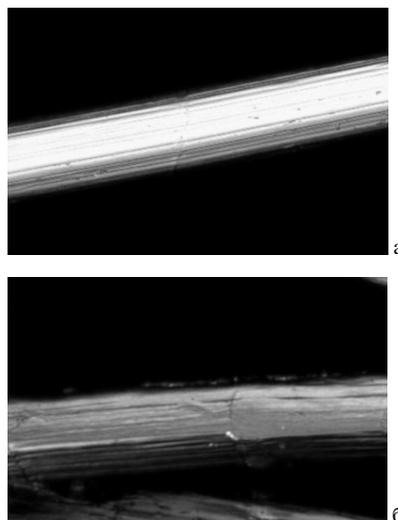


Рис. 1. ЛСМ-изображения исходного (а) и модифицированного (б) филамента ($\times 2138$)

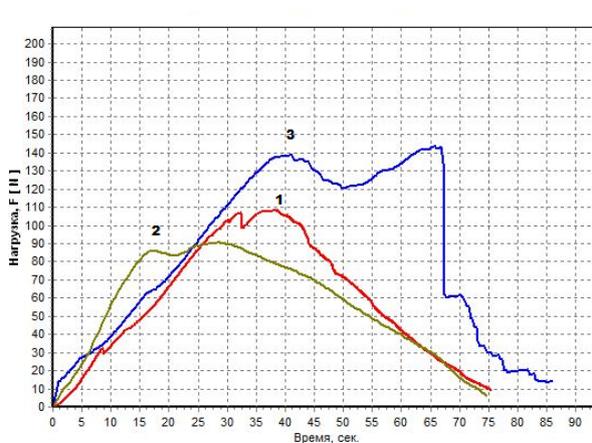


Рис. 2. Усилие выдергивания волокна из матрицы: 1 — из КМ с модифицированным ВЧЕ плазмой волокном; 2 — из КМ с модифицированным флюидами с наночастицами SiO₂ волокном; 3 — из КМ с модифицированным флюидами с наночастицами SiO₂ и последующей плазменной модификацией

1. Абдуллин И.Ш., Шаехов М.Ф., Гришанова И.А., Мигачева О.С. Физико-механические свойства плазмированного высокомолекулярного многофиламентного полиэтилена // Тезисы докладов междунар. науч.-техн. конф. «ПОЛИКОМТРИБ-2011». — Гомель: ИММС НАНБ. — 2011, 25
2. Абдуллин И.Ш., Сунгатуллин И.А., Гришанова И.А., Гильмутдинов И.М., Сабирзянов А.Н., Мигачева О.С. Исследование пористости сверхвысокомолекулярного полиэтилена, модифицированного в среде сверхкритического диоксида углерода // Вестник Казанского технологического университета. — 2013 (16), № 3, 98—101

НАПОЛНЕННЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ПРИВИТОЙ ВИНИЛЦИКЛОПРОПАНКАРБОНОВОЙ КИСЛОТЫ К ПОЛИПРОПИЛЕНУ

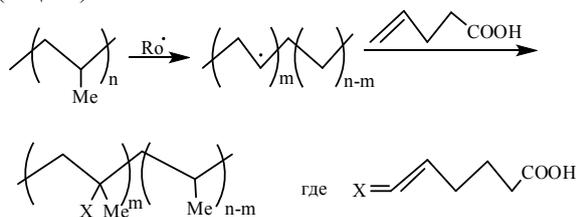
Р.З. Шахназарли, Н.Я. Ищенко, А.М. Гулиев

Институт Полимерных Материалов НАНА, Сумгайыт, Азербайджан; abasgulu@yandex.ru

Модифицирование структуры и свойств карбоцепных полимеров было и остается одним из основных направлений исследований по разработке материалов с улучшенными эксплуатационными показателями [1, 2].

Функционализация же полиолефинов — один из важных методов целенаправленного изменения свойств материалов. Этот метод введения в полимерную матрицу ионогенных групп широко используется при получении различных сорбентов [3, 4]. В частности, полученные таким методом катионообменные сорбенты, содержат карбоксильные группы, способные прочно удерживать ионы металлов, что дает возможность применять их при извлечении из водных растворов ионов переходных металлов.

В представленной работе рассматриваются результаты, полученные при функционализации полипропилена (ПП) винилциклопропанкарбоневой (ВЦПК) кислотой.



Модификация ПП ВЦПК-кислотой была осуществлена в экструдере при температуре 180 °С в присутствии перекисного инициатора. Исследование исходного и модифицированного ПП методом ИК-спектроскопии показало протекание прививки ВЦПК к ПП.

С целью оптимизации процесса модификации была изучена зависимость степени функционализации от концентрации винилового мономера, инициатора и температуры. Найдено, что степень функционализации зависит от содержания мономера, и с повышением концентрации последнего степень

функционализации сначала увеличивается, а затем уменьшается. Оптимальная концентрация мономера соответствует 6—8 мас.%. Аналогичная зависимость наблюдается и при изменении концентрации инициатора.

Содержание гель-фракции в полученных образцах ПП определяли методом исчерпывающей экстракции толуолом в аппарате Сокслета. Степень прививки определяли гравиметрически как отношение привитой полициклопропанкарбоневой кислоты к массе исходного ПП.

Было показано, что композиции ПП с использованием 20—40% бентонита по ряду физико-механических свойств сопоставимы с соответствующими показателями полистирола. Однако, по сравнению с полистиролом, в данном случае достигается экономия материала на 20—50%.

Хорошая ударная вязкость и пластичность, а также отличная стойкость к растрескиванию (высокая теплостойкость и низкая усадка) отличают наполненный ПП-ВЦПК от известных полимеров и, благодаря этим достоинствам, эти композиты привлекают особое внимание как материал, пригодный для термоформования различных изделий.

Установлено, что повышение количества наполнителя от 20 до 40% приводит к тому, что не только увеличивается жесткость и теплостойкость, а также уменьшается усадка и время термоформования. В то же время увеличение количества наполнителя несколько затрудняет термоформование (особенно при малой толщине листа).

1. Мешкова И.Н., Ушакова Т.М., Гульцева Н.М. и др. // Высокомолек. соед. — 2008 (50), № 11, 1985
2. Gaylord N.G., Mehtu R., Mohan D.R., Kumar V. // J. Appl. Polym. Sci. — 1992, (44), no. 11, 1941
3. Ильичева Н.С., Катаева Н.К., Дуфлот В.Р. // Ж. Прикл. Химии — 2009 (82) № 8, 1356
4. Shellekens M.A.J., Klumperman B. // Rev. Macromol. Chem. Phys. — 2000, (40), nos. № 2—3, 167

ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКА ТРИБОСОПРЯЖЕНИЙ В ДВС АВТОТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ

Д.А. Шмельков¹, Р.Г. Нигматуллин¹, Л.Ш. Шустер¹, И.Р. Нигматуллин²

¹Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия;
shmelkov.denis@gmail.com

²ГУП «ИНХП» РБ, Уфа, Россия

Цель

Работа посвящена экспресс-анализу работающих смазочных материалов автомобилей и выявлению возможных дефектов в системах охлаждения, питания, смазки, зажигания, а также в подсистеме очистки воздуха от пыли.

Материалы и методы

В качестве диагностического устройства использовались несколько вариантов разработанного в ООО Химмотолог устройств, получивших название — маслотестер [1], одно из которых позволяет за короткий промежуток времени определить такие показатели качества масла, как: вязкость, плотность, прокачиваемость, наличие намагничиваемых частиц износа, коррозионную активность на медной проволоке и капельная проба. Второй вид устройства способен определить содержание воды в масле (результат выводится в % через 5 минут) и наличие сажи (используется специальный фильтр) по показаниям диэлектрической проницаемости.

Экспресс-исследования проводились на автомобилях (пробег автомобиля, км/пробег масла, км): Honda CRV (146000/1000), Ford Mondeo (120000/20000), Chevrolet Lacetti (92000/4000) Hyundai Sonata (72500/2500).

Лабораторный анализ качества масла проводился для автомобиля Ford по ГОСТ 6370-83 [2].

Результаты и их обсуждение

Результаты диагностики автомобилей приведены в табл. 1.

Таблица 1. Показатели качества работающих смазочных материалов

Показатели	Honda CRV	Chevrolet Lacetti	Ford Mondeo	Hyundai Sonata
Вязкость чистого масла, с	61	53	65	65
Вязкость работающего масла, с	47	59	69	62
Коррозия	нет	нет	нет	нет
Частицы износа, мкм	>10	нет	нет	нет
Сажа	нет	нет	нет	нет
Вода, %	0	0	0	0
Капельная проба	Бензин, мех. примеси	В норме	В норме	В норме
Мех. примеси, %	—	—	0,034	—

В результате проведенных экспериментов, вы-

яснили, что показатели качества моторных масел у автомобилей Chevrolet и Hyundai в норме, рекомендовано провести повторную диагностику через 3000 км пробега.

У автомобиля Ford по показаниям вязкости ресурс масла еще не исчерпан, но существенная разница в показаниях диэлектрической проницаемости у чистого (2,42) и отработанного масла (2,60) говорит о возможном наличии механических примесей, что подтвердили лабораторные исследования (0,034 при норме в 0,015%) [3], а также об окислении масляной основы. Поэтому масло было рекомендовано заменить.

Показатели качества моторного масла автомобиля Honda сильно ухудшились, вязкость уменьшилась на 23%, что говорит о возможном попадании топлива в картер. Капельная проба тоже показала наличие бензина и механических примесей в масле, а также ухудшение моюще-диспергирующих свойств. На магните обнаружены частицы износа размером более 10 мкм, которые были снова выявлены при повторном анализе, что говорит о наличии узла трения который изнашивается и постоянно разрушается.

Рекомендовано устранить причину попадания в масло продуктов неполного сгорания топлива, а также факторы приведшие к появлению механических примесей и частиц износа. После ремонтных мероприятий необходимо произвести замену смазочного материала.

Причинами попадания в картер автомобиля топлива могут служить плохая работа впрыска или карбюратора, неправильная установка зажигания, неточная регулировка клапанов, изношенные поршневые кольца и т.д. Механические примеси могли появиться в результате неполного сгорания топлива, неисправности системы зажигания, загрязнения магистралей фильтров, дефектов выхлопной системы. Все эти причины приводят к повышенному износу и перегреву двигателя [3].

1. Нигматуллин Р. Г. и др. Способ и устройство для определения работоспособности смазочных материалов / Патент РФ на изобретение №2392607. — 2010
2. Нефть, нефтепродукты и присадки // ГОСТ6370-83. Метод определения механических примесей. — М.: Стандартинформ. — 2007
3. Нигматуллин Р. Г. и др. Диагностика ДВС по анализу моторного масла. — Уфа.: ГУП РБ Уфимский полиграфкомбинат. — 2011

ПРИМЕНЕНИЕ ВТОРИЧНОГО ПОЛИПРОПИЛЕНА В ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЯХ В КАЧЕСТВЕ МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ

Е.И. Щербина, Р.М. Долинская, Т.Д. Свидерская

Белорусский государственный технологический университет (БГТУ), Минск, Беларусь

Введение. Технический прогресс стимулирует развитие работ в области совершенствования резинотехнических изделий, используемых в качестве деталей машин или отдельных инженерных объектов. Путем совершенствования составов и модификации резиновых технических изделий можно улучшить их эксплуатационные характеристики, расширить области применения изделий из серийных резин, получить резиновые изделия с новыми более ценными свойствами. Среди новых материалов, имеющих промышленное значение, все более широкое применение находят наполненные полимеры. Однако из перспективных видов наполненных полимеров являются каучуки, усиленные различными органическими наполнителями.

В качестве органического наполнителя в работе использовали вторичный полипропилен (ВПП). Основная масса вторичного полипропилена происходит из автозапчастей, таких, как аккумуляторные ящики, бамперы и передние панели автомобилей. Другим источником ПП являются отходы производства полимерных мешков и отходы двухосново-ориентированной пленки.

Основную массу вторичного ПП получают из свинцово-кислотных батарей, которую затем используют для производства брызговиков, бамперов и других изделий. Значительное количество вторичного ПП (10000 тонн в год) получают при производстве ПП-пленки и ПП-тканей. Вторичный материал

стоит на 80% меньше, чем первичный ПП и несмотря на это соответствует строгим требованиям прочности и стандартам.

Цель работы — исследование эластомерных композиций, модифицированных вторичным полипропиленом.

Объекты исследования — модифицированные эластомерные композиции.

Результаты и их обсуждение. Нами разработаны эластомерные композиции на основе каучуков общего назначения, модифицированные вторичным полипропиленом. Вторичный полипропилен — это отходы СПО «Химволокно», г. Светлогорск, РБ.

Смешение проводили в резиносмесителе при температуре 170—180 °С, а введение пластификаторов, вулканизирующего вещества и ускорителей осуществляли на вальцах при температуре 50—60 °С.

Как показали результаты исследований, использование отходов вторичного полипропилена приводит к увеличению модуля упругости и сопротивления раздиру.

Выводы. Применение в качестве модифицирующей добавки вторичного полипропилена в эластомерных композициях улучшает свойства композиции, что позволяет изготавливать на их основе уплотнительные изделия с заданным комплексом эксплуатационных свойств.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИТА ПОЛИМЕР — МНОГОСТЕННЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ

М.В. Якемсева¹, Н.В. Усольцева²

¹Ивановский институт ГПС МЧС России, Иваново, Россия; m_yakemseva@yahoo.com

²Ивановский государственный университет, Иваново, Россия

Цель

Создание новых высокоэффективных композиций с улучшенными эксплуатационными свойствами и внедрение технологий их получения — залог успешного развития полимерной промышленности в настоящее время. Многофункциональность углеродных нанотрубок (УНТ) и композитов на их основе создала преимущества перед традиционными композиционными материалами [1] и предопределила цель настоящей работы — изучение влияния различной концентрации диспергированных многостенных УНТ (МУНТ, «Таунит-М», Нанотехцентр), на физические свойства полиэтилена высокого давления марки 10803-020 (Казаньоргсинтез).

Материалы и методы

Исходные и состаренные полимерные пленки были испытаны на такие физические показатели, как прочность и относительное удлинение при разрыве (ГОСТ 14236-81), истираемость (ГОСТ 8975-75), электрическое поверхностное сопротивление (ГОСТ 19616-74) и кислородный индекс (ГОСТ 12.1.044-89).

Результаты и их обсуждение

Данные по физико-механическим характеристикам исходных и состаренных полимерных пленок с МУНТ (рис. 1) показали, что введение нанотрубок в количестве 0,005 вес.% является оптимальным концентрационным значением, обеспечивающим как повышение прочности при разрыве, так и увеличение ~ в 2 раза относительного удлинения нанокompозитов после старения. Увеличение концентрации наполнителя приводит лишь к ухудшению показателей.

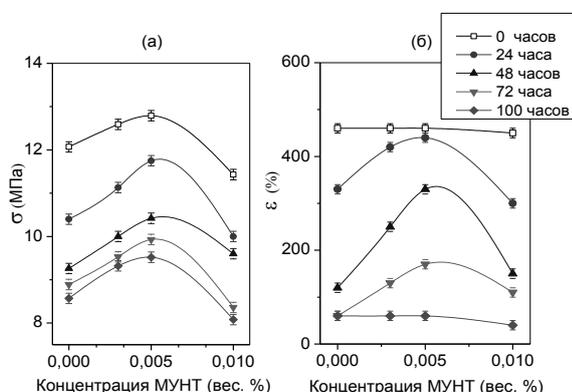


Рис. 1. Концентрационная зависимость разрушающего напряжения (а) и относительного удлинения (б) исходных и состаренных образцов при различных временах воздействия искусственного УФ-излучения

По результатам исследования механической стойкости материала к истиранию (рис. 2, а) было установлено, что введение уже 0,01 вес.% МУНТ приводит к снижению истирания в 2 раза, а значит к увеличению износостойкости материала. При этом снижается коэффициент трения покрытия, что немаловажно, когда речь идет о внутреннем покрытии, к примеру, для трубопроводов.

Изучение электропроводящих свойств образцов (рис. 2, б) показало, что с введением уже 0,003 вес.% нанотрубок удельное поверхностное электрическое сопротивление пленок снижается в 4 раза, тем самым увеличивая проводимость нанокомпозита. Как известно, материалы, обладающие антистатическими свойствами, используются там, где недопустимо накапливание статического электричества, повышающего опасность выхода из строя оборудования.

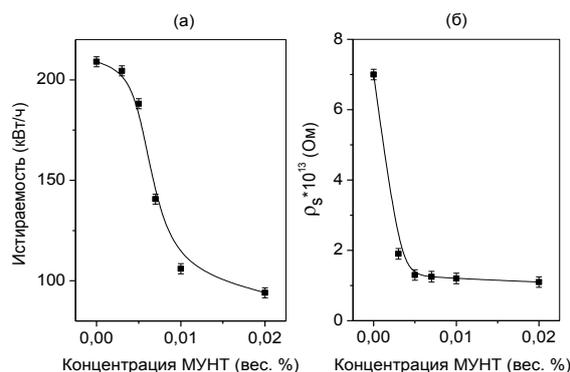


Рис. 2. Концентрационная зависимость истираемости (а) и удельного поверхностного электрического сопротивления (б) композитов на основе полиэтилена с МУНТ

Согласно исследованиям горючести образцов, кислородный индекс всех изученных пленок равен 21, что соответствует процентному содержанию кислорода в атмосфере воздуха. Вероятно, при таких невысоких концентрациях наполнителя при термодеструкции не происходит коксообразования полимера, снижающего горючесть материала.

Таким образом, полученные композиционные материалы способны удовлетворить самые высокие требования, связанные с условиями эксплуатации изделий и обеспечить себе широкое применение [2].

1. Усольцева Н.В. Аконова О.Б. Трибология и мезоморфизм // Физика, химия и механика трибосистем: межвузовский сб. науч. тр. — 2011, № 10, 14—23
2. Заявка на патент №2012107004/05(010674) от 27.02.12. Способ получения композита полимер/углеродные нанотрубки / Якемсева М.В., Усольцева Н.В. и др. — 6 с.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Adamovic Dragan.....	41	Ажаронок В.В.....	77
Akter M.R.....	109	Акопова О.Б.....	214
Alam M.R.....	109	Александров В.М.....	136
Andriušis A.....	75	Алексеева Е.В.....	263
Antonov Maksim.....	133	Алиновская В.А.....	105, 182
Babic Miroslav.....	41	Алыев А.Т.....	229
Bansevičius R.....	75	Андреева Н.В.....	274
Choe H.....	121	Анисимов В.Н.....	76
Gao S.-L.....	6	Анисович А.Г.....	77
Gorbov I.....	134	Антина Е.В.....	252, 253
Grytsenko K.....	134, 135	Аргунова А.Г.....	115
Hossain M.M.....	109	Аскеров О.В.....	222
Hussainova Irina.....	133	Асланзаде Ф.Э.....	42
Ivanov L.....	134	Афанасьева Е.С.....	215
Jankauskas V.....	75	Афоничева О.В.....	11, 15, 142
Kolomzarov Yu.....	134, 135	Бабаева Г.Р.....	233
Kryuchin A.....	134	Бабахин В.Ф.....	175
Ksianzou V.....	134	Багрец Д.А.....	216
Lytvyn P.....	134, 135	Бакаев А.Г.....	150
Mäder E.....	6, 122	Банний В.А.....	181
Metrikaitė D.....	75	Барай С.Г.....	163
Mitrovic Slobodan.....	41	Баранова Ю.В.....	143
Navozenko O.....	135	Бардушкин В.В.....	125
Padgurskas J.....	75	Басинюк В.Л.....	176
Rukuiža R.....	75	Баскин З.Л.....	55, 110
Ryabchenko T.V.....	121	Бахшалиев В.И.....	42
Sakhno O.....	135	Башлакова А.Л.....	99
Schrader S.....	134, 135	Баштанчик П.И.....	245
Slominsky Yu.....	134, 135	Беглецова А.Д.....	274
Tolmachev O.....	134, 135	Бей М.П.....	137
Tolstopyatov E.....	135	Белошенко В.А.....	56
Wiegand N.....	6	Березина Е.В.....	30, 78, 79
Zahan N.K.....	109	Берладир К.В.....	277
Zhandarov S.F.....	122	Бессонов П.А.....	213
Zhang J.....	6	Бильдюкевич А.В.....	66, 67
Zhao Gai.....	133	Билякович О.Н.....	234
Zivic F.....	169	Бисерова Н.В.....	60
Zivic Fatima.....	41	Бобарикин Ю.Л.....	178
Žunda A.....	75	Бобкова Н.М.....	200
Аббасова А.Ч.....	256	Бобрышева С.Н.....	198
Абрамова Т.М.....	19	Богданов А.Л.....	138
Авдейчик С.В.....	111	Богданова В.В.....	29, 68, 217, 218
Авилов В.В.....	170	Богданович С.П.....	186
Агабеков В.Е.....	102, 147, 165, 172, 195, 205, 244	Бойко А.А.....	261
Адаменко Н.А.....	213	Бойко В.П.....	259
Адериха В.Н.....	11, 15	Бойко В.С.....	140
		Бойко М.В.....	43, 80

Бойцова Н.Ю.	101	Глазырин Н.П.	99
Большаков А.Н.	82	Глиевая Г.Е.	180
Борисова Р.В.	27	Глоба А.И.	18, 148
Борозна В.Д.	219	Глоба И.И.	148
Бражникова Л.Б.	201	Гоголева О.В.	224
Браницкий Г.А.	139	Годлевский В.А.	78, 79
Бринкевич Д.И.	202	Гологан В.Ф.	77
Будкуте И.А.	193	Голод Е.В.	164
Будник А.Ф.	277	Голуб Н.В.	105, 182
Бузник В.М.	116, 226	Голубь А.С.	11
Булгаревич С.Б.	43, 80	Гольдаде В.А.	149, 206
Бурда В.В.	197	Гончаренко В.В.	225
Буркин А.Н.	219	Гончаренко М.В.	225
Бурмистр М.В.	140, 275	Горбацевич Г.Н.	111
Буря А.И.	16, 81, 123	Горбачев Д.Л.	268
Бутовская Г.В.	35, 101	Горбенко О.М.	226
Бухаров С.Н.	95, 128, 141	Гордиенко А.И.	150
Буяев Д.И.	142	Горелый К.А.	58, 59
Буяновский И.А.	82	Горохов В.М.	127
Бычковский П.М.	105, 182	Гороховатский Ю.А.	197
Валенков А.М.	83, 207	Горячева И.Г.	5
Валенчиц Т.П.	32	Господарев Д.А.	210
Валько Н.Г.	17, 57	Гракович П.Н.	112, 151
Василевич Ю.В.	58, 59	Грачева Е.А.	205
Василевский Д.А.	72	Грачек В.И.	227
Васильев П.В.	32, 186	Григорьев А.Я.	8, 152
Васильев С.В.	220	Гринюк Е.В.	34, 35, 231
Васильева В.С.	174	Гришанова И.А.	280
Васильева Ф.Д.	221	Грищенко В.К.	260
Велиев М.Г.	222	Губанова Н.В.	228
Вечер Е.И.	227	Губская М.И.	16
Винглинская Е.И.	223	Гулиев А.М.	281
Виолентий С.Б.	163	Гулиев К.Г.	229
Вишневский К.В.	143, 186	Гулиева А.Ф.	222
Вишневска-Вейнерт Г.	152	Гулиева Ф.С.	246
Власовец А.М.	144	Гусейнова З.Н.	230
Возняк Ю.В.	56	Гутев А.П.	63
Волков А.В.	78	Гуцев Д.М.	153
Волнянко Е.Н.	102	Давыдов А.А.	154, 184
Воробьева Е.В.	199, 208	Давыдова М.Л.	272
Воропаев В.В.	111	Дайнеко О.А.	244
Выдумчик С.В.	145	Данилович Т.Г.	231, 232
Гаджиев Т.А.	42	Данченко С.Г.	112, 179
Газинежад М.	231	Даньков В.И.	125
Гараева Е.С.	149	Джафаров В.Д.	233
Гасанова С.С.	256, 270	Джафаров Р.В.	229
Гвоздев А.А.	214	Джилавдари И.З.	44
Герасименко К.О.	140	Диденко А.Л.	155
Герасименко С.А.	146	Дмитриченко Е.Э.	152
Герасимов Г.В.	225	Дмитриченко Н.Ф.	234
Гилевская К.С.	147	Дмитрович А.А.	156, 164
Глазунова Е.А.	84	Доготарь Л.В.	77

Докучаев В.Н.	124	Ильющенок Н.В.	81
Долгополов К.Н.	84	Ильющенко А.Ф.	9, 163, 164
Долинская Р.М.	157, 283	Исакова Т.А.	264
Дробышевская Н.Е.	200	Исакович О.И.	227
Дроздов Ю.Н.	45	Ищенко Н.Д.	270
Дроздова Е.И.	85	Ищенко Н.Я.	238, 281
Дубкова В.И.	158	Казуров А.В.	213
Дубодел В.П.	159	Калда Г.С.	50
Дубровский В.В.	19, 160	Калинин Л.А.	113
Дудка А.Н.	275	Калмыкова А.Г.	94
Дьяконов А.А.	273	Камалова Н.С.	239
Евдокименко Н.М.	167, 168	Карпетян А.Н.	188
Евдокименко Ю.Ф.	225	Карпинчик Е.В.	165
Евсикова Н.Ю.	239	Карсим Л.О.	180
Егоренков Н.И.	100	Касперович А.В.	166
Егоров А.Н.	235	Кастро Р.А.	240, 241
Езовитова Т.И.	249, 250	Кастюкевич О.В.	201
Екимов Е.А.	85	Качалина А.Л.	87
Ермаков С.Ф.	138	Кижаяев С.А.	167, 168
Ермолович О.А.	185	Кирилков В.А.	51
Жавнерко Г.К.	195	Кириллина Ю.В.	242
Жандаров С.Ф.	124	Киселевич В.В.	243
Жарская Т.А.	20	Клименко А.В.	275
Желваков Е.М.	87	Климовцова И.А.	190, 191
Жидков Ю.Н.	137	Клочков В.И.	69, 274
Жогло Г.А.	90	Кобец О.И.	217
Жорник В.И.	86	Ковалева И.Н.	152, 169
Жук И.Г.	151	Ковалевич М.А.	149
Журавлева М.В.	20	Коваль В.Н.	19, 32
Зайцев А.Л.	21	Коврига В.В.	60, 87
Зайченко С.Б.	94	Козаков А.Т.	271
Зайчикова И.В.	87	Колесников В.И.	46, 125, 170
Замостоцкий Е.Г.	103	Комаревич В.Г.	158
Зарбуев А.В.	155	Комаров В.С.	165
Захаров А.А.	142	Коновалов Р.В.	63
Зенькова А.В.	173	Коптелова З.В.	32
Зернин М.В.	129	Коробочка А.Н.	16
Зимин А.Б.	235	Корогода О.П.	232
Злотников И.И.	159	Космачева Т.Г.	244
Зотов С.В.	171, 187	Костерова Р.И.	105, 182
Зубарева А.В.	171	Кохнюк В.Н.	103
Зубко В.И.	161	Кравцевич А.В.	61
Зубко Д.В.	161	Кравцов А.Г.	171
Ибадов Э.А.	257	Кравчук К.С.	96
Ибатуллина А.Р.	236	Красковский А.Н.	172
Иванов В.А.	269	Красневский Л.Г.	47
Иванов Л.Ф.	113	Краснов А.П.	11, 49, 142
Иванова Н.А.	244	Кривогуз Ю.М.	7, 62
Иваночкин П.Г.	162	Криволапов П.Н.	164
Ивахник А.В.	86	Кроитору Д.М.	77
Игнатенко В.А.	237	Кропотин О.В.	88, 114
Игнатьева Л.Н.	226	Круль Л.П.	34, 35, 101, 255

Крутько Н.П.	31, 158	Лысенко А.Б.	16
Крутько Э.Т.	18, 20, 148, 173	Лысенкова А.В.	237
Крыжановский В.К.	183	Любимов Д.Н.	84
Ксенофонтов М.А.	145, 174	Людко А.А.	217
Кудина Е.Ф.	173, 175	Майсеёнок А.П.	201
Кудло В.В.	151	Макаревич А.В.	181, 210
Кудрицкий В.Г.	176	Макаренко М.В.	251
Кудрявцев В.В.	155	Макаренко О.А.	62
Кудынцев М.Н.	276	Малютин Е.В.	58, 59
Кужельная О.В.	269	Мамедова С.М.	256
Кузей А.М.	89, 177	Мардосевич Е.И.	176
Кузёмкина Г.М.	209	Мартыненко С.М.	179
Кузнецов А.Е.	269	Марукович Е.И.	63
Кузнецов Б.К.	237	Марфин Ю.С.	252, 253
Кузьменко Н.Я.	245	Марцынкевич Р.В.	227
Кузьменко С.Н.	245	Марченко Д.Ю.	33, 80
Кузьменкова Н.В.	149	Марченко Е.А.	279
Кузьяев И.М.	276	Марченко Л.А.	101
Кукушкина Ю.М.	219	Маршалов М.С.	91, 92
Кулиев А.М.	246	Марьян С.А.	258
Куликовская В.И.	172	Марьяна Н.А.	126
Купреев А.В.	178, 179	Матвеев А.К.	25, 254
Курбанова Н.И.	246	Матвеев К.С.	25
Кургузова О.А.	114	Матвеев Н.Н.	239
Курлянд С.К.	69, 274	Матвеевко В.Н.	82
Курявый В.Г.	226	Матковский А.К.	262
Кутепова Н.А.	21	Матрунчик Ю.В.	262
Кухта Т.Н.	22, 23	Матусевич Ю.И.	201, 255
Лавыш Д.В.	17	Мачановский Э.	141
Ларикова С.Н.	210	Машков Ю.К.	114
Ласковенко Н.Н.	245, 247	Машталяр Д.В.	226
Лашкина Е.В.	185	Медякова Л.В.	256, 257
Лебедев В.Я.	89, 144	Мезрин А.М.	48
Лебедев Е.В.	247, 259, 260	Меликсетян Н.Г.	93
Лебединский К.С.	33, 80	Меркушев Д.А.	252
Левданский А.Э.	65	Мигаль Ю.Ф.	26, 46, 170
Левченко В.А.	82	Мигачева О.С.	280
Левшанов Г.А.	252	Микулёнок И.О.	225
Лененко Н.Д.	11	Микулич В.С.	205
Леонов С.А.	248	Микулич С.И.	90
Лешок А.В.	156	Миланенко О.А.	234
Лизанец В.И.	234	Мирончик В.О.	182
Лин Д.Г.	199, 208	Митрофанова Э.С.	183
Липко Е.А.	140	Мить В.А.	11
Лисицын В.И.	204, 239	Михаловский И.С.	102
Лобода П.И.	225	Михневич А.С.	194
Лободенко А.В.	276	Мишин А.В.	129
Логвиненко П.Н.	180	Мовсумзаде М.М.	165
Ломач В.А.	181	Можаровский В.В.	126, 258
Лукашевич М.Г.	24, 202	Можейко Ю.М.	192
Лунева Н.К.	249, 250	Морозов А.В.	48
Лушин Е.Н.	240, 241	Муравский А.А.	205

Мышак В.Д.	259, 260	Плиско Т.В.	67
Мышкин Н.К.	8	Поболь И.Л.	103
Мяделец В.В.	166	Погосян А.К.	93, 188
Мясникова Н.А.	162	Подденежный Е.Н.	200, 261
Нагиева А.А.	229	Подобед Д.Л.	198
Надеин В.А.	45	Полоник В.Д.	189
Назаралиев Х.Г.	270	Пономарева Г.З.	229
Наумкин А.В.	11, 49, 117	Пономаренко А.Г.	94
Неверов А.С.	28	Портнов Л.Я.	235
Неумержицкая Е.Ю.	58, 59	Потапова И.Н.	85
Нигматуллин И.Р.	282	Прокопович В.П.	190, 191
Нигматуллин Р.Г.	282	Прокопчик Н.И.	151
Никифоров Л.А.	27	Прокопчук Н.Р.	143, 157, 189, 223
Никулин С.С.	267	Пронкевич С.А.	127
Нисс В.С.	158	Пророкова Н.П.	116
Новиков А.К.	25, 184	Прудник А.М.	103
Новиков В.В.	91, 92	Пугачева И.Н.	267
Новиков Е.С.	46	Пучков В.Н.	45
Носов К.С.	64, 185	Пучкова Н.В.	137
Нуждина Е.Е.	91	Пырх Т.В.	192
Овчинников К.В.	187	Радкевич Л.В.	29, 68, 218
Оганесян К.В.	188	Рева О.В.	29, 68, 70
Огулик Ю.В.	193	Рзаева С.А.	230
Оджаев В.Б.	202	Ризноокая Н.Н.	44
Олександренко В.П.	50	Рогачёв А.А.	101, 268
Ольховик В.К.	72	Рогачёв А.В.	101, 265, 268
Опимах Е.В.	65	Роговой А.Н.	164
Осипов В.А.	101	Рубаник В.В.	216
Островская Л.Е.	174	Руденков А.С.	265
Островский С.А.	145	Румянцев В. И.	183
Охлопкова А.А.	27, 115, 220, 264	Румянцев Е.В.	252, 253
Павленок А.В.	261	Румянцева А.В.	69
Павлов А.Д.	226	Рыбаков А.А.	192, 193
Павлюкевич Т.Г.	145	Рыбкин Н.Н.	129
Паентко В.В.	262	Рычков А.А.	269
Памфилов Е.А.	263	Рычков Д.А.	269
Панин С.В.	12	Рябов С.В.	180
Панова Е.В.	220	Савенкова М.А.	26, 170
Пантелеев К.В.	179	Савич В.В.	104, 127
Пендик С.С.	87	Савчук А.Н.	234
Песецкий С.С.	7, 19, 186	Садыгов Ш.Ф.	270
Петров П.Н.	278	Самойлов М.В.	102
Петрова Г.П.	69	Сарока Д.И.	156, 164
Петрова П.Н.	224, 264	Саушкин В.В.	239
Петроковец Е.М.	129	Сахоненко В.М.	58, 59
Петрушеня А.Ф.	137	Сачек Б.Я.	48
Петушок В.Г.	72	Светличный В.М.	155
Пикуцкая Е.С.	66	Свидерская Т.Д.	157, 283
Пилипцов Д.Г.	265	Свидерский В.А.	277
Пименов Д.Ю.	266	Свинцицкая Н.Н.	193
Пинчук Л.С.	28, 187	Свириденко А.И.	8
Плескачевский Ю.М.	10, 12, 209	Седых В.А.	267

Селькин В.П.	194, 196	Тычинская Л.Ю.	35
Семененко Е.А.	201, 232	Уголев И.И.	191
Семиног В.В.	259	Ульянова Т.М.	31
Сергеев И.В.	213	Урецкая О.В.	200
Сергеев С.А.	30	Усанов С.А.	251
Сергиенко В.П.	95, 128	Усольцева Н.В.	214, 284
Сериков В.Ю.	113	Федоров А.Л.	278
Сидашов А.В.	271	Федоров В.Д.	32, 186
Сиканевич А.В.	184	Федосенко Н.Н.	265
Синдаров Р.Я.	150	Фейзова В.А.	33
Сирьк Е.Н.	260	Филатов С.А.	37
Скаковский Е.Д.	35	Фомина Е.К.	34, 201
Скасевич А.А.	111	Фомичев Д.С.	78, 79
Скопцов Е.В.	147	Фомичева Е.Е.	197
Слепцова С.А.	215, 221, 242	Фролов Н.Н.	96
Смелов А.В.	162	Хамутовский А.Н.	232
Смирнов А.В.	112	Харченко А.А.	202
Смирнова В.Е.	155	Хвостик Г.М.	69
Соколан Ю.С.	50, 51	Хомич Н.С.	232
Соколова М.Д.	272, 273	Хрущов М.М.	279
Соколовский Д.Г.	21	Царенко И.В.	179
Соловей Н.Ф.	184	Цветкова Е.А.	206
Солодовникова Д.Н.	26	Целуев М.Ю.	203
Соломевич С.О.	105, 182	Цыдик И.С.	151
Соломянский А.Е.	195	Цырульник В.М.	207
Сосновский С.В.	194, 196	Чаадаев А.Е.	204
Стародубцева М.Н.	100	Чалабиева А.З.	238
Стефаненко М.В.	192	Чапланова Ж.Д.	205
Стеценко В.Ю.	63	Черкасова Н.Г.	81
Струк В.А.	111	Чернецкий А.П.	57
Студенцева А.В.	183	Черногорова О.П.	85
Студинский В.А.	167, 168	Чеховский А.Л.	206
Судник Л.В.	158	Шадринов Н.В.	273
Суздальцева Е.С.	274	Шаехов М.Ф.	280
Султанова М.Ш.	256	Шаповалов В.А.	15
Сырбу С.А.	92	Шаповалов В.М.	117, 159, 207, 208
Сытар В.И.	275, 276	Шатирова М.И.	222
Сыцко В.Е.	149	Шахназарли Р.З.	281
Сычев А.А.	125	Шахно О.В.	35
Сычев А.П.	125	Шашок Ж.С.	143, 186, 189
Тапальский Д.В.	101, 268	Швабауэр В.В.	60
Тарасевич В.А.	102	Швачко Д.Г.	225
Темнов Д.Э.	197	Швецов А.Н.	178
Тимошенко В.В.	198, 199	Шевеля В.В.	50, 51
Тихонов М.М.	70	Шевцов А.А.	187
Ткачѳв В.И.	64	Шевченко В.В.	36
Ткаченко Э.В.	123	Шелестова В.А.	112
Толстопятов Е.М.	71	Шелухина А.И.	127
Томас А.А.	277	Шилагарди Г.	37
Торская Е.В.	96	Шилько С.В.	12, 129
Трусова Е.Е.	200	Шимановский А.О.	209
Трытек А.	51	Ширяева Т.А.	94

Шишков С.В.....	178	Щербина Л.А.....	192, 193
Шкурский И.А.	112	Ювченко А.П.....	137
Шмелёв А.А.	87	Юдин А.С.	11, 15, 117, 142
Шмельков Д.А.	282	Юдин В.Е.....	155
Шпилевский Э.М.....	37	Юркштович Н.К.....	182
Шукело З.В.....	29, 68	Юркштович Т.Л.	105, 182
Шукова Е.В.	28	Якемсева М.В.	214, 284
Шулдыков Р.А.	138	Якименко О.В.....	34
Шулицкий Б.Г.....	235	Якимович Н.В.....	128, 130
Шункевич А.А.	227	Якимцова Л.Б.	210
Шустер Л.Ш.....	282	Якубович О.И.	209
Шутова А.Л.	223	Ярмоленко М.А.....	101, 268
Шутова Т.Г.....	172	Яценко В.В.	137
Щербина Е.И.....	283	Яценко В.С.....	72

Электронное
научное издание

Международная научно-техническая конференция
«ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ И ТРИБОЛОГИЯ»
(ПОЛИКОМТРИБ–2011)

Тезисы докладов

Ответственные за выпуск:

И.Н. Ковалёва, А.М. Великанова, С.М. Мартыненко, В.В. Терехов