

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-2015)

Гомель • Беларусь
23—26 июня 2015 г.
Тезисы докладов



ГОМЕЛЬ • 2015

УДК 620.22-419:678.01-621.891

ПОЛИКОМТРИБ-2015: Тезисы докладов международной научно-технической конференции — Гомель: ИММС НАНБ, 2015. — 300 с.

ISBN 978-985-6477-44-0

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

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	i
ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ	3
Самосмазываемость термостойких полимеров и композитов А.П. Краснов.....	4
Нанокompозиты, получаемые диспергированием глин в расплавах полимеров С.С. Песецкий, С.П. Богданович.....	5
High Performance Compounds for Fibre Reinforced Composites U. Gohs, C. Zscheck, C. Scheffler, and G. Heinrich.....	6
Антифрикционные композиты на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена для работы в условиях сухого трения и абразивного изнашивания С.В. Панин, Л.А. Корниенко, М.А. Полтаранин, Т. Нгуен Суан, Л.Р. Иванова, С.В. Шилько, Ю.М. Плескачевский.....	7
Полимерные нанокompозиты для эксплуатации в Арктических условиях А.А. Охлопкова, Т.С. Стручкова, А.П. Васильев, А.А. Гаврильева, А.Г. Алексеев, С.Н. Данилова.....	8
Новые полимерные материалы для пульпопроводов. Проблемы их износостойкости В.В. Коврига	9
35 лет коллективных исследований на страницах журнала «Трение и износ» А.И. Свириденко, Н.К. Мышкин, И.Н. Ковалева.....	10
СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ. Секция 1. Структура и свойства композиционных материалов	11
Устные доклады	12
Структурирование полимеров фуллеренами Э.М. Шпилевский, С.А. Филатов, Г. Шилагарди, Ц. Хандмаа, А.Т. Богорош.....	12
Термовлагостойкие поляризационные пленки на основе органо-неорганических нанокompозитов поливиниловый спирт—гетерополикислота Н.И. Сушко, А.Б. Малый, О.Н. Третинников.....	13
Особенности молекулярной структуры цепей поли-L-лактида в наноразмерных композиционных покрытиях, формируемых из активной газовой фазы Л.П. Круль, Г.В. Бутовская, О.В. Шахно, Т.И. Кошко, А.А. Рогачев, Е.Д. Скаковский, Л.Ю. Тычинская.....	14
Полиэтиленовые углерод-углеродные композиты для труб Е.С. Петухова.....	15
Исследование полиэтиленовых труб, модифицированных рублеными углеродными волокнами Е.С. Петухова.....	16
Разработка критериев экспресс-оценки качества резинотехнических изделий с учетом реальных условий эксплуатации с использованием методов неразрушающего контроля В.В. Мозгалёв, Н.Р. Прокопчук.....	17
Особенности регулирования морфологии и прогнозирование свойств полиуретановых блок-сополимеров В.Н. Анисимов, Н.М. Евдокименко, М.В. Бурмистр.....	18

Структурные особенности прививочно-наполненных композитов на основе полиолефинов и акриловых мономеров	
Н.Т. Кахраманов, У.М. Мамедли, Н.Б. Арзуманова	19
Синтез сульфированных поли-1,3,4-оксадиазолов	
В.С. Ященко, В.К. Ольховик	20
Кинетика электроосаждения композиционных покрытий Zn-Ni/SiO₂ в поле рентгеновского излучения	
Н.Г. Валько, Д.В. Лавыш, А.Г. Гилевич	21
Диагностика изменений структурного состояния в области ближнего упорядочения ксерогелей на основе жидкого стекла модифицированного солями металлов	
Н.С. Скорикова, А.Д. Фофанов, Е.Ф. Кудина.....	22
Энергии активации химических реакций и вязкого течения смазочных материалов в зависимости от давления	
С.Б. Булгаревич, М.В. Бойко	23
Фотоиндуцированная анизотропия тонких пленок азокрасителя с добавкой ПММА	
В.С. Микулич, В.С. Безрученко, Ал.А. Муравский.....	24
Ступенчатая активация поверхности полиэфирных волокон для водостойкой огнезащитной обработки	
О.В. Рева, В.В. Богданова, А.Н. Назарович, А.С. Лукьянов	25
Different approaches to the calculation of interfacial strength parameters in the pull-out and microbond tests	
S.F. Zhandarov and E. Mäder.....	26
Effect of meniscus on the calculated interfacial interaction parameters in the pull-out and microbond tests	
S.F. Zhandarov and E. Mäder	27
Влияние добавок коротких стекловолокон и технологических факторов на молекулярную структуру, реологические и механические свойства полиэтилентерефталата	
В.В. Дубровский	28
Стендовые доклады.....	29
Organised Structures in PTFE Film Filled with Dye and Metal Nanoparticles and Novel Research Trends	
L. Ivanov, K. Grytsenko, Yu. Kolomzarov, O. Tolmachev, Yu. Slominskii, and S. Schrader.....	29
Влияние предварительной подготовки органоглин на структуру и свойства нанокомпозитов, получаемых компаундированием в расплаве ПАБ	
Т.М. Абрамова, Ю.С. Кузнецова, С.С. Песецкий	30
Огнестойкие и трекингостойкие полиамидные материалы	
А.А. Давыдов	31
Стеклопластиковая композитная арматура модифицированная нанокерамикой	
В.И. Дубкова, Л.М. Судник, Д.В. Петушков, А.В. Козырев, О.И. Маевская	32
Теплопроводная эпоксидная композиция дисперсно упрочнённая карбидом кремния	
В.И. Дубкова, Л.М. Виноградов, В.А. Бородуля, О.И. Маевская, Л.Е. Евсеева, Т.И. Пинчук.....	33
Диэлектрические свойства электроизоляционных материалов электротехнического назначения	
В.И. Зубко, Д.В. Зубко, Г.Н. Сицко	34
Механо-химический синтез наноструктурированных полимерных композитов	
Н.Т. Кахраманов, А.Г. Азизов, Ш.Р. Багирова.....	35
Термопласты, модифицированные наночастицами диоксида кремния	
А.В. Кравцевич.....	36

Влияние состава карбоксилированного полиакриламида на процессы деструкции и декарбоксилирования макромолекул при радиационном сшивании в растворе Л.П. Круль, Т.Г. Данилович, Л.И. Сальников.....	37
Влияние анионных ПАВ на вязкость сланцевых фенолов М.А. Ксенофонтов, Л.Е. Островская, В.С. Васильева	38
Влияние технологической смазки на реологические и прочностные свойства полимер-минеральных материалов, полученных методом пластформования К.С. Носов, Е.М. Лапшина	39
Огнепреграждающий барьер из вспенного полимерного композиционного материала М.М. Тихонов, О.В. Рева, А.Л. Бейтук	40
Заочные доклады	41
Эпоксидциклопропаны в качестве реакционноспособных разбавителей и модификаторов эпоксидных смол Э.Н. Ахмедов, Г.А. Рамазанов, А.М. Гулиев	41
Изучение вододеградиционных свойств композиционных материалов на основе термопластических эпоксидиановых смол В.С. Безгин	42
Молекулярная структура полимера L-молочной кислоты, полученной микробиологическим синтезом Г.В. Бутовская, В.П. Прокопович, И.А. Климовцова, Е.Д. Скаковский, Л.Ю. Тычинская.....	43
Исследование прочности на растяжение СВМПЭ волокон, модифицированных высокочастотным емкостным разрядом А.Р. Гарифуллин, И.Ш. Абдуллин, К.Н. Галямова, Е.А. Скидченко	44
Экспресс-анализ адгезионной прочности тонких пленок А.А. Глазунова.....	45
Синтез и литографические свойства сополимера на основе 2-гемдихлор-пара-циклопропилстирола — глицидилметилметакрилата К.Г. Гулиев, А.А. Гараева, Г.З. Пономарёва, Т.Н. Гусейнова, Ф.И. Гусейнова.....	46
Закономерности изменения фрикционно-износных характеристик поверхностных слоев металлополимерных пар трения А.Х. Джанахмедов, Н.Г. Джавадов, М.Я. Джавадов.....	47
Исследование структурно-реологических свойств битумно-полимерных композиций В.П. Дубодел, Е.А. Шутова, О.Е. Пантюхов, А.М. Валенков	48
Термоэлектрические преобразования энергии в порах древесины Н.С. Камалова, В.И. Лисицын, В.В. Саушкин, Н.Ю. Евсикова	49
Особенности свойств шинных резин с композиционным активатором вулканизации С.Н. Каюшников, Н.Р. Прокопчук, К.В. Вишневецкий	50
Особенности свойств резин, содержащих компоненты из вторичного сырья А.В. Лешкевич, Ж.С. Шашок.....	51
Термоэластопласты — термостабилизаторы полиолефиновых композиций А.Ф. Мануленко, Н.Р. Прокопчук.....	52
Сополимеры метилметакрилата с метакриламидом в качестве основы композиционных фоточувствительных материалов Ю.И. Матусевич	53
Синтез и анализ новых молекулярных роторов на основе BODIPY — перспективных сенсоров изменения локальной вязкости Д.А. Меркушев, А.В. Бобров, Ю.С. Марфин, Е.В. Румянцев	54

Полибромсодержащие ненасыщенные полиэферы — модификаторы для эпоксидных смол А.М. Мустафаев, И.А. Гусейнов, Н.А. Назарова, Р.И. Исмаилова, Э.А. Рамазанов, А.А. Мамедова	55
Использование сополимера этилена с винилацетатом для компатибилизации полимерных композитов на основе вторичного сырья В.Д. Мышак, В.В. Семиног	56
Влияние типа и дозировки измельченного вулканизата на свойства резин на основе бутадиен-нитрильного каучука В.В. Мяделец, А.В. Касперович, Ж.С. Шашок, А.Г. Мозырев, А.Н. Солопова	57
Нанокompозиты на основе СВМПЭ и слоистых силикатов Л.А. Никифоров, Р.В. Борисова, А.А. Охлопкова	58
Фазовое состояние систем на основе полисульфона, перспективных для получения мембран Т.В. Плиско, А.В. Бильдюкевич.....	59
Синтез и свойства новых сильноосновных волокнистых анионитов С.Д. Филиппович, В.И. Грачек, А.А. Шункевич, А.П. Поликарпов.....	60
Реологические свойства водных растворов гидролизата полиакрилонитрильного волокна в присутствии солей D-элементов Е.К. Фомина	61
Влияние конфигурации макромолекул гидролизата полиакрилонитрильного волокна на сорбцию и десорбцию ионов меди в водных растворах Е.К. Фомина, Е.В. Гринюк, О.В. Якименко, А.П. Поликарпов, Г.Н. Шанбанович	62
Модификация резины уплотнительного назначения терморасширенным графитом А.Р. Халдеева, М.Д. Давыдова, М.Д. Соколова	63
Карбоксизамещенные полипентенамеры — модифицирующие добавки к БСК Р.З. Шахназарли, И.А. Исмаилов, А.М. Гулиев.....	64
СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ. Секция 2. Основы трибологии	65
Устные доклады	66
Экспресс-методика косвенной оценки задиростойкости антифрикционных алюминиевых сплавов Б.Я. Сачек, А.М. Мезрин, Т.И. Муравьева, О.О. Столярова, Д.Л. Загорский.....	66
Реологические свойства дисперсий различных углеродных наночастиц в холестерических мезогенах Н.В. Усольцева, М.В. Смирнова, А.В. Казак, А.И. Смирнова, С.О. Ильин.....	67
Молекулярная динамика смазочного слоя: пределы вычислительных возможностей О.В. Блинов, В.А. Годлевский, С.А. Стулов	68
Поляризационная трибометрия смазочного слоя Е.В. Березина, В.А. Годлевский, А.Г. Железнов	69
Актуальные проблемы надёжности перспективных подшипниковых узлов ГТД Е.Ф. Паровай, С.В. Фалалеев, И.Д. Ибатуллин	70
Износостойкость различных видов полиэтилена на полужакрепленном абразиве В.Р. Гумен, И.В. Князкина, Н.В. Бисерова, В.В. Коврига	71
Кинетика формирования граничного смазочного слоя в зоне контакта стружка-инструмент при резании металлов В.В. Новиков	72
Поверхностное модифицирование алмазоподобных углеродных покрытий для регулирования процессов приработки в паре трения С.Н. Григорьев, В.Ю. Фоминский, М.А. Волосова, Р.И. Романов, М.В. Демин.....	73

Влияние покрытий на основе углерода на триботехнические свойства полиуретана А.М. Дворак, М.А. Попова, В.П. Казаченко, А.Н. Попов	74
Деформационно-активированное мартенситное превращение в газотермических покрытиях из высокохромистых сталей при сухом трении А.Н. Григорчик, В.А. Кукареко, М.А. Белоцерковский	75
Стенд очистки шарикоподшипников ОПШ А.Л. Житницкий, Р.Е. Костюник, В.А. Радзиевский, А.В. Кущев, А.В. Стельмах	76
Трибофизика электрических контактов Н.К. Мышкин, М. Браунович, В.В. Кончиц	77
Прецизионное управление фрикционными устройствами автоматических трансмиссий: итоги 50 лет развития Л.Г. Красневский, С.Н. Поддубко	78
Влияние коэффициента трения скольжения на долговечность цилиндрической зубчатой передачи М.В. Чернец, Ю.М. Чернец	79
Evaluation of Mechanical Properties of Friction Lining by Laser Vibrometer V.V. Kozhushko, S.N. Bukharov, V.P. Sergienko, and E. Barkanov	80
Учет молекулярных сил при получении высокодисперсных наполнителей с использованием технологических жидкостей В.В. Тимошенко, И.И. Злотников, П.А. Хило	81
Трение качения в области предварительных смещений для покрытий нанометрового диапазона толщины И.З. Джилавдари, С. Мекид, Н.Н. Ризноокая, Т.И. Ширяева	82
Стеновые доклады	83
Экспресс-анализ трибологических характеристик жидких и пластичных смазочных материалов В.Л. Басинюк, А.Я. Григорьев, А.С. Калиниченко, И.Н. Ковалева, Е.И. Мардосевич, С.С. Папина	83
Опоры скольжения на основе МДО-покрытий для подвижных узлов космической техники Р.Е. Волкотруб, М.П. Лобкова, А.А. Глазунова	84
Исследование комплексного подхода к триботехнической обработке деталей тракторных двигателей А.А. Гвоздев, Н.В. Усольцева, М.В. Козинец, А.В. Казак, А.И. Смирнова, Н.Н. Рожкова	85
Влияние нанодисперсных добавок различной природы на приработочную способность смазочных композиций на основе масла И-40 В.И. Жорник, В.А. Кукареко, С.А. Ковалева, А.В. Ивахник, Е.В. Карпинчик, Л.И. Южик	86
Механизм износа хрустала при алмазобразивной обработке А.М. Кузей	87
Адгезионные и триботехнические свойства модифицированных тонкослойных покрытий на основе меди М.А. Леванцевич, Н.Н. Максимченко	88
Использование отработанных моторных масел для улучшения триботехнических характеристик политетрафторэтилена П.Н. Петрова, А.Л. Федоров, А.А. Охлопкова	89
Триботехнические испытания политетрафторэтилена при естественно-низких температурах окружающей среды П.Н. Петрова, А.Л. Федоров, С.В. Васильев, А.И. Герасимов, Р.С. Тихонов	90
Использование лазерного сканирующего дифференциально-фазового микроскопа-профилометра в трибологии граничной смазки Е.Н. Смирнов, С.А. Коленов, Ю.В. Пильгун, А.У. Стельмах	91

К вопросу влияния структуры поверхностных слоев на характер взаимодействия пар трения БрАЖ9-4 — сталь X12M И БрАЖ9-4 — сталь 35ХГСА, сталь 40Х с науглероженными слоями Н.Н. Степанкин, Е.П. Поздняков, В.Г. Кудрицкий	92
Исследование ударно-абразивного изнашивания стали Гадфильда, наплавленной ручной электродуговой наплавкой В. Янкаускас, М. Антонов, Е. Катинас	93
Заочные доклады	94
К вопросу теплового расчета подшипника скольжения В.И. Бахшалиев, И.А. Исмаил	94
Информационное моделирование трибосистем как необходимая часть трибоанализа Л.И. Евельсон.....	95
Влияние физико-механических и трибохимических процессов на формирование пленок трения А.Н. Карапетян, К.В. Оганесян, В.В. Сароян.....	96
Динамическая модель тормоза с адаптивным механизмом переменной структуры А.Н. Коптовец, А.А. Бобылев, С.Е. Барташевский, В.В. Яворская	97
Особенности структурно-фазовых превращений в поверхностных слоях сталей при трении скольжения со смазочным материалом П.И. Маленко, К.Д. Релмасира, А.Ю. Леонов.....	98
Расчет сближения в контакте шероховатых поверхностей близкой твердости М.М. Матлин, Е.Н. Казанкина, В.А. Казанкин	99
Численная реализация методики по определению напряжений и перемещений в объёмном теле применительно к контакту «шина—основание» В.В. Можаровский, Д.С. Кузьменков	100
Особенности испытаний на изнашивание при действии динамических нагрузок Е.А. Памфилов, Г.А. Пилюшина	101
Зарядочувствительные методы исследования процессов трения К.В. Пантелеев, В.А. Микитевич, А.Л. Жарин.....	102
Мониторинг работы выхода электрона поверхности трения при износоусталостных испытаниях К.В. Пантелеев, В.А. Микитевич, А.Л. Жарин.....	103
Триботехнические свойства покрытий на резиновой подложке Д.А. Полонянкин, Е.П. Целых, Вал.И. Суриков, Вад.И. Суриков, И.В. Николаев	104
Влияние фактического агрегатного и фазового состояния смазки на эффективность трибосистем А.У. Стельмах, С.П. Шимчук, В.А. Радзиевский.....	105
Фрикционное взаимодействие гладкого индентора и вязкоупругого полупространства: контактные и внутренние напряжения Ф.И. Степанов, И.Г. Горячева, Е.В. Торская	106
Исследование термического сопротивления шероховатого контакта с покрытиями О.В. Сутягин, А.Н. Болотов, А.А. Рачишкин, Э.А. Деменков	107
К оценке износа винтовых сопряжений с твердосмазочными покрытиями О.В. Сутягин, В.В. Мешков, С.В. Мединцев	108
Оперативный контроль состояния подшипников качения О.В. Холодилов, С.В. Короткевич, В.В. Кравченко, Д.Ю. Белоногий.....	109
СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ. Секция 3. Технологии и применение полимерных и композиционных материалов	110
Устные доклады	111

Базальтопластики вместо металла между стеклопластиками и композитами на основе углеродных волокон	
Е.П. Афанасьев	111
Технология и оборудование для ультразвуковой сварки полимерных материалов	
В.В. Рубаник, В.Ф. Луцко, С.Н. Шрубиков, О.С. Попова, Д.Д. Шурмелевич	112
Разработка технологии получения самозатухающего композитного целлюлозно-хитозанового волокна	
Д.Д. Гриншпан, А.Н. Гончар, Н.Г. Цыганкова, Т.А. Савицкая, С.Е. Макаревич	113
Коллоидно-химические основы получения твердого композиционного топлива из гидролизного лигнина и нефтепродуктов	
Д.Д. Гриншпан, Т.Н. Невар, Н.Г. Цыганкова, И.В. Резников, Т.А. Савицкая	114
Применение технологии спиральной навивки для производства труб, полученных методом прямой экструзии, усиленных сеткой из стекловолокна	
В.Т. Бисеров, Н.В. Бисерова, В.А. Метёлкин, М.В. Ковязин	115
Исследование перехода «объём—поверхность» при пластическом разрушении полиэтиленовых труб	
В.Г. Колбая, А.В. Гельман, И.А. Шпара, В.В. Коврига	116
Технологические особенности изготовления размеростабильных углепластиковых конструкций космического назначения	
Е.В. Шилина, А.Ф. Санин	117
Фталидсодержащие полиарилены для получения пленок и покрытий с необычными электрическими и оптическими свойствами	
С.Н. Салазкин, В.В. Шапошникова, А.Н. Лачинов	118
Механизм разложения воды на $TiSi_2$	
А.А. Ковалевский, О.М. Комар	119
Закономерности разложения воды во время активной радиации солнечного освещения и с использованием концентраторов	
О.М. Комар, А.А. Ковалевский	120
Создание аэрогелей для коллекторов солнечной энергии на основе наноструктурированных углей	
К.А. Корзун, А.А. Ковалевский	121
Синтез и сорбционные свойства микроволоконного катионита на основе нетканого материала «АкваСпан», модифицированного поверхностно-привитой поликислотой	
Л.В. Шкрабатовская, Л.К. Приходченко, А.А. Горбачев, О.Н. Третинников	122
Низкотемпературная экструзия в технологии нанокompозитов полимер/глина	
С.П. Богданович, В.Н. Адериha, В.Н. Коваль, С.С. Песецкий	123
Получение медьсодержащих гидрогелевых субмикронных частиц хитозана	
В.И. Куликовская, В.Е. Агабеков	124
Фотоориентируемый композиционный тонкопленочный материал на основе водорастворимого полимера и диазопроизводного 5,5'-диоксодибензотиофена	
С.Н. Ларикова, Ж.Д. Чапланова, В.С. Микулич, В.С. Безрученко, Е.А. Грачева	125
Разработка высокопрочных композиционных материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена и базальтового волокна	
О.В. Гоголева	126
Стеновые доклады	127
Влияние технологического режима получения на свойства комплексных кальциевых композиционных пластичных смазочных материалов	
А.Л. Богданов, С.Ф. Ермаков, А.А. Рыбаков, В.Г. Константинов, В.Н. Данишевский	127

Композиционные материалы на основе термопластичного крахмала и синтетических полимеров А.А. Бойко, Е.Н. Подденежный, Н.Е. Дробышевская, В.М. Шаповалов, К.В. Овчинников	128
Оптимизация состава композиционного покрытия на основе ПА 6 и полидисперсных частиц структурированного углерода методом совмещенных контурных кривых А.М. Валенков	129
О влиянии примесных ионов на свойства покрытий, формируемых методом микродугового оксидирования А.М. Валенков, С.В. Пискунов, И.И. Злотников	130
Влияние рентгеновского излучения на химическое осаждение медных покрытий Н.Г. Валько, Е.А. Федорович	131
Влияние модифицирования эпоксидной смолы на адгезионные свойства к металлу Н.С. Винидиктова, Е.Ф. Кудина, О.А. Ермолович	132
Научное оборудование для производства изделий из полиуретановых композитов С.В. Выдумчик, О.О. Гавриленко, М.А. Ксенофонтов, Т.Г. Павлюкевич	133
Исследование усадки и коробления термопластичных материалов при их переработке по экструзионно-прессовой технологии С.А. Герасименко	134
Технологические аспекты получения амилопектина для адгезивов постоянной липкости В.А. Гольдаде, Е.А. Цветкова, Т.В. Арастович, О.А. Ермолович	135
Крейзинг полиэфирных волокон при коронозлектризации С.В. Зотов, В.А. Гольдаде, К.В. Овчинников, М.А. Курбанов, А.А. Байрамов, А.Ф. Нуралиев, Н.В. Кузьменкова	136
Технология получения листовых армированных стеклотканью материалов на основе термопластичных полимеров О.И. Карпович, А.Л. Наркевич, А.В. Дубина	137
Влияние наноразмерных добавок на прочностные и трибологические характеристики композита на основе алифатического полиимид-6 В.И. Колесников, А.И. Буря, Н.А. Мясникова, П.Г. Иваночкин, С.А. Данильченко	138
Структурные преобразования углей для нанотоплива К.А. Корзун, А.А. Ковалевский, В.А. Лабунин	139
Полимерные фильтры для повышения радиационной безопасности молочной продукции А.Г. Кравцов, А.В. Зубарева, С.В. Зотов, К.В. Овчинников, Н.Е. Савицкий	140
Влияние технологических факторов на функционализацию полиолефинов в процессе реакционной экструзии Ю.М. Кривогуз	141
Исследование влияния углеродных наноматериалов на функционализацию полиолефинов в расплаве Ю.М. Кривогуз, О.А. Макаренко	142
Влияние типа нагрева на структуру и свойства гибридных композитов Е.Ф. Кудина	143
Исследование влияния технологических параметров процесса экструзии на свойства эластомерных композиций В.В. Мозгалёв	144
Промышленное применение защитной пластмассовой оплетки А.К. Новиков, А.В. Сиканевич, А.А. Давыдов, Н.Ф. Соловей	145
Использование трековых мембран для очистки технологических сред В.М. Станкевич, А.С. Михневич, Ю.М. Плескачевский, И.И. Суторьма	146

Исследование возможности применения гидролизного лигнина в композиционных материалах на основе полиэтилена	
В.В. Тимошенко, А.В. Шаповалов.....	147
Полимерно-кристаллические материалы для люминофорных преобразователей светодиодных приборов	
О.В. Урецкая, Н.Е. Дробышевская, Е.Н. Подденежный, А.А. Бойко	148
Использование гибридных наполнителей для модифицирования шинных резин	
В.Д. Федоров, А.В. Васильев, Т.М. Абрамова, Т.П. Валенчиц, В.Н. Коваль, С.С. Песецкий	149
Вторичная переработка полимерных материалов	
В.М. Шаповалов, С.Г. Кудян, В.И. Ткачев	150
Влияние изоцианатных удлинителей цепи на структуру и свойства полиэфирных материалов	
В.В. Шевченко	151
Изучение процесса вытекания масла из волокнисто-пористых материалов	
В.Ю. Шумская, Л.А. Калинин, В.В. Снежков.....	152
Заочные доклады	153
Исследование влияния ударно-волновой обработки на теплофизические свойства высоконаполненных металлофторопластовых композитов	
Н.А. Адаменко, А.В. Казуров.....	153
Светостойкие поляризующие пленки на основе поливинилового спирта	
Я.В. Акулич, Т.Г. Космачева, Н.А. Иванова, В.Е. Агабеков	154
Эпоксидциклопропаны в качестве реакционноспособных разбавителей и модификаторов эпоксидных смол	
Э.Н. Ахмедов, Г.А. Рамазанов, А.М. Гулиев.....	155
Молекулярные роторы как средство контроля стадий золь-гель процесса	
А.В. Бобров, Ю.С. Марфин, Е.В. Румянцев.....	156
Использование минеральных отходов в качестве антипиренов для полимерных материалов	
С.Н. Бобрышева, С.Ф. Мельников, Д.Л. Подобед	157
Изнашивание твердых тел при абразивной обработке	
П.Н. Богданович, Д.А. Близнац, М.Ю. Коднянко.....	158
Влияние комбинированных наполнителей на физико-механические характеристики древопластиков	
Е.А. Вырва, А.В. Шаповалов, О.Е. Пантюхов, М.Н. Долгачева	159
Новые фоточувствительные циклопропан и эпоксисодержащие полимеры	
К.Г. Гулиев, А.М. Алиева, Р.В. Джафаров, Р.М. Искендерова, А.М. Гулиев	160
Влияние способа полимеризации на состав сополимеров акрилата натрия и 2-акриламидо-2-метилпропансульфоната натрия	
Т.Г. Данилович, Л.Б. Якимцова, Е.В. Гринюк, О.К. Сакович.....	161
Влияние модифицирующих добавок на кинетику вулканизации резиновых смесей	
Р.М. Долинская, Н.Р. Прокопчук, Ю.В. Коровина	162
Влияние фенольно-силикатных модификаторов на коррозионные и механические свойства бетона	
В.П. Дубодел	163
Новая модифицированная эпоксидиановая композиция	
М.В. Журавлева, Э.Т. Крутько, Т.А. Жарская	164
Продолжительность нанесения вибрационного механохимического твердосмазочного покрытия MoS₂	
В.В. Иванов, С.И. Попов, Э.В. Марченко, Ю.В. Марченко	165

Методы увеличения ингибирующей способности промышленных антиоксидантов в наполненных композитах	
Д.Г. Лин, Е.В. Воробьева, В.М. Шаповалов	166
Формирование приповерхностных и заглубленных модифицированных слоев в полимерных пленках методом ионной имплантации	
М.Г. Лукашевич	167
Получение пористых поглотителей нефтепродуктов на основе углеродных материалов	
Н.С. Лукичева, А.Ю. Кузнецов	168
Влияние демпфирующих вставок из композиционного полимерного материала на виброустойчивость сборных резцов с СМП	
М.И. Михайлов	169
Получение углеродных пористых композитов на основе фенольной смолы	
Я.О. Перминов, И.А. Кобычно, А.А. Лысенко	170
Модификация резин на основе пропиленоксидного каучука ультрадисперсными добавками различной химической природы	
Н.Н. Петрова, В.В. Портнягина	171
Капсулирование микрочастиц вольфрама в полистирол	
А.В. Смирнов, И.В. Синёв	172
Водоразбавляемое эпоксидное связующее для лакокрасочных материалов	
А.З. Чалабиева, Н.Я. Ищенко	173
Функционализация полиэтилена винилциклопропанкарбоновой кислотой в процессе ее переработки	
Р.З. Шахназарли, Г.А. Рамазанов, А.М. Гулиев	174
Синтез и диэлектрические характеристики композиционного материала 'ядро-магнитная оболочка'/полимерная матрица	
О.А. Шилова, М.М. Сычев, Т.В. Хамова, П.В. Матвейчикова	175
Флотационное извлечение полистирола	
Е.В. Опимах	176
СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ. Секция 4. Трибоматериаловедение	177
Устные доклады	177
Оценка антифрикционных свойств растворов сульфонатов кальция в полиальфаолефиновом масле	
И.А. Буяновский, В.Л. Лашхи, А.И. Доценко, В.Д. Самусенко	177
Structure-Morphology-Property Effects on Mechanical, Friction and Wear Properties of PTFE/EPDM Composites	
U. Gohs, M.S. Khan, D. Lehmann, G. Heinrich, and R. Frank	178
Совместимость химических элементов на границах зерен и ее влияние на износостойкость стали	
В.И. Колесников, Ю.Ф. Мигаль, Е.С. Новиков	179
Изменение износостойкости гальванических покрытий хрома при обработке холодной плазмой	
А.Г. Анисович, В.В. Ажаронк, В.Ф. Гологан, Д.М. Кройтору	180
Эксплуатационные упругие свойства хаотически армированных короткими волокнами полимерных композитов с дисперсными антифрикционными добавками	
В.И. Колесников, В.В. Бардушкин, А.П. Сычев, Д.А. Кириллов, А.И. Сорокин	181
Разработка триботехнических материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена и терморасширенного графита	
О.В. Гоголева	182

Исследование влияния молекулярной массы композита на основе полиэфирэфиркетона на его трибологические свойства М.В. Прожега, Н.И. Смирнов, Н.Н. Смирнов, Н.А. Татусь	183
Повышение износостойкости плунжеров электронасосных дозирующих агрегатов, перекачивающих промышленные стоки, путём применения нанокпозиционных покрытий на основе мелкодисперсного алюминия В.А. Левченко, И.А. Буяновский, И.А. Калугин, В.Н. Матвеев	184
Адсорбционное разделение компонентов смазочной среды на фрикционных поверхностях при трении скольжения в градиентном потоке смазочного материала через трибозазор С.Б. Булгаревич, М.В. Бойко	185
Влияние природы металлов на износостойкость металлополимеров на основе ароматического полиамида А.И. Буря, Е.А. Ерёмкина	186
Влияние углеродных нанокластеров на трибологические характеристики моторных топлив Е.В. Полункин, О.А. Гайдай, В.С. Пилявский, А.У. Стельмах	187
Износ кольца из SiC керамики в контакте со стальным шариком С.Н. Григорьев, В.В. Кузин, М.Ю. Федоров, С.Ю. Федоров, М.Р. Портной	188
Исследование строения и трения нанографитов А.В. Наумкин, В.Н. Адериха, С.С. Песецкий, О.В. Афоничева, А.П. Краснов	189
Испытание смазочного действия машинных масел на машине трения МТУ-01 В.В. Новиков, Е.В. Березина, К.С. Бурченков, С.В. Миронов, Р.Ю. Лисицын	190
Коллоиды из триглицеридных наноструктур и аммониевых соединений для защиты технологических смазочных сред И.С. Михаловский, В.А. Тарасевич, В.Е. Агабеков, Е.Н. Волнянко	191
Структура и триботехнические свойства силумина АК12М2МгН, модифицированного синтезированными <i>in-situ</i> наполнителями с наноразмерными составляющими А.И. Комаров, В.И. Комарова, А.А. Шипко, Д.В. Орда	192
Влияние содержания ацетата кальция на свойства комплексных кальциевых композиционных пластичных смазочных материалов А.Л. Богданов, С.Ф. Ермаков	193
Влияние дефектов на износ керамических инструментов В.В. Кузин, С.Н. Григорьев, С.Ю. Федоров, М.А. Волосова, Н.Р. Портной	194
Трибологические свойства пленок Ленгмюра – Блоджетт триаоктановой кислоты с частицами аморфного углерода А.Е. Соломянский, В.Е. Агабеков	195
Исследование смазочного действия присадок гетерополифосфатов В.И. Колесников, М.А. Савенкова, Д.Н. Солодовникова, Ю.Ф. Мигаль	196
Трибологически активные координационные соединения переходных металлов для энерго-сберегающих трансмиссионных масел А.Г. Пономаренко, М.В. Бойко, А.С. Бурлов, А.Г. Калмыкова, Т.Г. Боженко, Т.А. Ширяева, В.А. Четверикова, А.В. Деркун, В.И. Колесников	197
Стеновые доклады	198
Modification of Biological Lubricating Materials with Nano Particles Johns Eyioma Izuwah	198
Evaluation of Tribological Properties of Bio-Based Lubricating Greases in Low Temperature J. Padgurskas, A. Kupčinskas, and R. Kreivaitis	199
Mechanical and Tribological Properties of Self-Lubricating Polymer Nanocomposites J. Padgurskas, G. Reškevičius, A. Žunda, J. Zicans, R.M. Meri, and I. Bochkov	200

Триботехнические аспекты процесса формования легкоплавких гранул В.М. Александров, В.А. Лобачев, А.В. Дроздов	201
Триботехнические свойства и морфология МДО-покрытий В.Л. Басинюк, М.А. Леванцевич, Е.И. Мардосевич, С.А. Ковалева, С.С. Папина	202
Поверхностно модифицированные керамические материалы в узлах трения техники для экстремальных условий Р.Е. Волкотруб, М.П. Лобкова, С.А. Ковалева	203
Исследование трибологического действия наноразмерных присадок различной химической природы Е.Н. Волнянко, Т.Г. Чмыхова	204
Исследование механических и триботехнических свойств бикомпонентных покрытий, конденсируемых из паров металлов И.Г. Горячева, Е.В. Торская, Ю.В. Корнев, И.Н. Ковалева, Е.Э. Дмитриченко, А.Я. Григорьев	205
Триботехнические характеристики смазочного материала на основе рапсового масла и пчелиного воска А.Я. Григорьев, И.Н. Ковалева, Ю. Падгурскас, Р. Крейвайтис	206
Структура и свойства комплексной сульфонат кальциевой пластичной смазки с дисперсной фазой на основе нанокальцита В.И. Жорник, А.В. Ивахник, В.П. Ивахник, М.А. Бухтилова	207
Исследование поверхности стали 65Г при трении с металлокерамическим фрикционным материалом МК-5 А.Ф. Ильющенко, А.А. Дмитриевич, А.В. Лешок	208
Трибологические свойства полисахаридных покрытий А.Н. Красковский, В.И. Куликовская, А.Е. Соломянский	209
Оценка влияния эксплуатационных факторов на трение полимерных материалов при граничной смазке А.В. Купреев, М.С. Ануфриенко, С.М. Мартыненко	210
Механизмы изнашивания компонентов алмазного инструмента при шлифовании стекла В.Я. Лебедев	211
Влияние армирования углеродными волокнами полимеркерамических композитов на их изнашивание при трении в жидкости А.С. Михневич, С.В. Сосновский, В.П. Селькин, А.В. Макаренко	212
Заочные доклады	213
Повышение трещиностойкости и шероховатости дорожных покрытий путем использования битумно-полимерных композиций Д.И. Бочкарев, В.В. Петрусевич	213
Наноструктурированные аэрозольные порошки из керамики — новый эффективный наполнитель для композитов на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) Л.В. Виноградов, В.И. Антипов, Ф.Г. Колмаков, Э.М. Лазарев, Е.Е. Баранов, В.А. Смуругов, В.В. Биран	214
Исследование несущей способности граничной смазочной пленки жидкокристаллического строения С.В. Воронин	215
Повышение износостойкости стальных плит для дробильных установок И.Н. Ердаков, В.М. Ткачѳв, В.В. Новокрещенов, П.В. Феколин	216
Исследование трибологических характеристик слоев TiN, полученных методом реактивного магнетронного распыления М.В. Ермоленко, С.М. Завадский, Д.А. Голосов	217

Трибологические свойства эластомерных композиций, модифицированных ионно-ассистированным нанесением функциональных покрытий	
А.В. Касперович, О.Г. Бобрович, В.В. Тульев, И.С. Ташлыков, А.В. Купреев, М.С. Ануфриенко	218
Экспериментальное определение триботехнических свойств оксидных наноплёнок	
А.В. Морозов, А.М. Мезрин	219
Применение модифицированных углеродных нанотрубок в качестве трибоактивных компонент СОТС при резании металлов	
А.Г. Наумов, А.А. Разумов	220
Высокотемпературное трение многоэлементных покрытий на основе нитридов тугоплавких металлов	
У.С. Немченко, В.М. Береснев, В.Ю. Новиков, П.В. Турбин	221
Структура и триботехнические свойства СВМПЭ, наполненного керамическими наночастицами	
А.А. Охлопкова, Т.А. Охлопкова, Р.В. Борисова, А.Н. Голиков	222
О роли бронзового покрытия на чугунной вставке колесосберегающей тормозной колодки для вагонов железнодорожного транспорта	
А.В. Павлов, И.А. Адудин	223
Математическое моделирование мощности возникающей при торцовом фрезеровании с учетом износа инструмента	
Д.Ю. Пименов	224
Применение антифрикционных самосмазывающихся покрытий в шарнирах и подшипниках скольжения	
В.Н. Пучков, А.Г. Пономаренко	225
Изменение свойств композиционных алюминиевых сплавов в зависимости от режима плавки	
Н.Д. Тураходжаев, С.А. Расулов, Т.Х. Турсунов, Л.Э. Якубов, Х.З. Абдурахманов, Ш.Н. Тураходжаева, В.П. Брагина	226
Влияние наномодифицирования на трибологические свойства листовых полимерных материалов	
Л.И. Шашура, И.А. Ровба, Г.А. Жогло	227
Исследование эксплуатационных свойств гальванических и плакированных медных покрытий	
В.К. Шелег, Е.В. Пилипчук, М.А. Леванцевич	228
СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ. Секция 5. Фторполимеры: получение, исследования, применение	229
Устные доклады	230
Композиционные фторполимерные покрытия на магниевых сплавах	
Д.В. Машталар, С.В. Гнеденков, С.Л. Синебрюхов, И.М. Имшинецкий, К.В. Надараиа, Д.П. Кирюхин, В.М. Бузник	230
ИК-спектроскопические исследования трибоокислительных процессов модифицированного ПТФЭ	
С.А. Слепцова, А.А. Охлопкова, Ю.В. Кириллина, Н.Н. Лазарева, Ф.Д. Васильева, М.М. Макаров	231
Комбинированная лазерно-плазменная абляция политетрафторэтилена	
Е.М. Толстопятов	232
Нановолокна как перспективный наполнитель ПТФЭ	
А.Г. Аргунова	233
Исследования свойств нанокомпозитов на основе ПТФЭ при отрицательных температурах	
А.Г. Аргунова	234
Особенности межфазного взаимодействия в композите политетрафторэтилен — слои графена	
О.В. Кропотин, С.С. Акименко, В.А. Горбунов, П.В. Стишенко, В.Ф. Фефелов, Ю.К. Машков	235

Прививочная фотополимеризация на поверхности под действием ультрафиолетового излучения ртутных ламп и мощных светодиодов	
А.А. Горбачев, Л.В. Шкрабатовская, А.В. Данильчик, Л.К. Приходченко, Е.В. Луценко, О.Н. Третьинников	236
Проблемы развития технологии композитов на основе фторополимеров и модифицированных в плазме углеродных волокон	
П.Н. Гракович, В.М. Макаренко, В.А. Кукареко, В.М. Полховский, А.В. Пожарицкий, О.Е. Маскалюняйте, В.В. Некрасова, С.Ю. Заболотских	237
Особенности применения фторопласта «ГРИФТЕКС» в экспериментальной хирургии	
П.Н. Гракович, В.В. Кудло, И.Г. Жук, И.С. Цыдик.....	238
Стендовые доклады	239
Industrial Application of Vacuum-Deposited Fluoropolymer Films	
E. Tolstoplyatov, K. Grytsenko, O. Belyaev, Yu. Kolomzarov, V. Ksianzou, and S. Schrader	239
Поливинилиденфторид/оксидные покрытия на сплаве магния	
В.С. Егоркин, И.Е. Вялый, Д.П. Опра, С.Л. Синябрюхов, С.В. Гнеденков	240
Лазерная абляция радиационно модифицированного поливинилиденфторида	
Л.А. Калинин, С.Р. Аллаяров.....	241
Адгезионные покрытия холодного отверждения на основе фторкаучуков	
Е.В. Савина, В.И. Пурцеладзе, Г.А. Емельянов	242
Исследование физико-механических характеристик высоконаполненных композитов на основе ПТФЭ	
М.Ю. Целуев, В.А. Шелестова	243
Влияние свойств углеродных тканей на физико-механические характеристики фторопластовых композитов	
В.А. Шелестова, М.Ю. Целуев, И.В. Коваль, М.В. Полховский	244
Заочные доклады	245
Effect of Mechanical Activation of Matrix Polytetrafluoroethylene on Its Structure and Properties	
K.V. Berladir, A.F. Budnik, P.V. Rudenko, and O.A. Budnik.....	245
Структура и свойства фторполимеров после взрывной обработки	
Н.А. Адаменко, Г.В. Агафонова, А.Э. Герасимук, Н.О. Сизоненко	246
Антифрикционный политетрафторэтиленовый композит на основе модифицированной матрицы	
К.В. Берладир, А.Ф. Будник, П.В. Руденко, О.А. Будник.....	247
Исследование влияния ультразвука на свойства композиционных материалов на основе политетрафторэтилена	
П.Н. Петрова, Т.А. Исакова	248
СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ. Секция 6. Механика полимерных композитов и моделирование	249
Устные доклады	250
Исследование теплового расширения самоармированных пластиков на основе фенилона	
А.И. Буря, О.А. Набережная	250
Влияние асимметричного ортотропного трения на динамику и статику твердых тел	
Н.Н. Дмитриев, Е.М. Петроковец.....	251
Роль трения при механических испытаниях образцов композитов на релаксацию	
А.Л. Башлакова.....	252
Prediction of Plastic Deformation Parameters for Dispersion-Reinforced Materials	
S.V. Shil'ko, D.A. Chernous, Heeman Choe, Hyunjoo Choi, and Donghoon Shin	253

Оценка значимости отклонений поверхности и градиента упругих свойств материалов трибо-элементов, работающих в условиях упругогидродинамической смазки С.В. Шилько, Т.В. Рябченко, М.В. Зернин, А.В. Мишин, Н.Н. Рыбкин.....	254
Аттестация вязкопластических моделей полимерных материалов С.Л. Гавриленко	255
Стеновые доклады	256
Биомеханическая модель окклюзии артерии в процессе осциллометрии М.В. Борисенко, Ю.Г. Кузьминский	256
Измерение микротвердости Ni-P покрытий методом склерометрии Д.М. Гуцев, А. Ковалев, В.Г. Кудрицкий, М. Антонов, И. Хуссаинова.....	257
Повторное нагружение упругопластических трехслойных стержней в тепловом потоке Э.И. Старовойтов, Д.М. Савицкий	258
Взаимосвязь нормального коэффициента звукопоглощения с удельным сопротивлением проду-ванию воздушным потоком в волокнистых и волокнисто-пористых композитах А.С. Хмара, С.Н. Бухаров, В.П. Сергиенко	259
Заочные доклады	260
Аппликация ультразвуковых колебаний для улучшения свойств СВМПЭ А.Ф. Майер, П.Н. Петрова, О.В. Гоголева.....	260
Напряженно-деформированное состояние физически нелинейной трехслойной панели с учётом частичного описания на упругое основание А.А. Поддубный, А.В. Яровая.....	261
Методы испытаний полимерных термоусаживаемых муфт М.М. Ревяко, О.М. Касперович, Е.З. Хрол, А.Ф. Петрушеня.....	262
СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ. Секция 7. Медико-биологические аспекты применения полимерных и композиционных материалов	263
Устные доклады	264
Влияние модификации Хитозана полиэтиленгликолем на адсорбцию белков сыворотки крови на мультислойных пленках Хитозан / Декстран сульфат А.А. Шеремет, Т.Г. Шутова	264
АСМ-оценка физико-механических свойств фибробластов и стволовых клеток человека, обрабо-танных глутаровым альдегидом Н.И. Егоренков, М.Н. Стародубцева, И.Е. Стародубцев, Д.Р. Петренев, Г.Б. Мельникова, Н.С. Ку-жель, Е.Э. Константинова.....	265
Влияние хондроитин сульфата на трибологические характеристики суставного хряща В.И. Николаев, С.Ф. Ермаков, Д.А. Зиновкин	266
Композиционное наноразмерное антибактериальное покрытие для защиты имплантатов от микробной колонизации Д.В. Тапальский, В.А. Осипов, А.А. Рогачев, М.А. Ярмоленко, А.В. Рогачев, А.А. Ситник, Г.В. Бу-товская, Л.П. Круль.....	267
Принципы создания композитных структур на основе опыта живой природы Н.А. Татусь, А.Н. Полилов.....	268
Стеновые доклады	269
Энантиоморфные радиопоглощающие материалы на основе ДНК-подобных структур А.С. Азаренок, В.А. Банний, В.А. Ломач.....	269

Гидрогелевые частицы пектин-серебро как перспективные носители иматиниба метансульфоната	
К.С. Гилевская, А.Н. Красковский, Ж.В. Игнатович, К.А. Al-Muhanna	270
Механические свойства поверхностного слоя пероксинитрит-обработанных тимоцитов животных разного возраста	
И.А. Никитина, М.Н. Стародубцева, А.И. Грицук	271
Заочные доклады	272
Совершенствование методов контроля качества искусственных кож	
В.Д. Борозна, А.Н. Буркин.....	272
Сетчатые полиуретановые покрытия и их биостойкость	
Н.Н. Ласковенко, Ж.П. Коптева, И.А. Козлова, Е.В. Лебедев	273
Биосовместимые композиционные материалы на основе наноструктурного нитинола	
Е.О. Насакина, А.С. Баикин, М.А. Каплан, Г.Н. Бикбова, М.А. Севостьянов, А.Ю. Федотов, А.Г. Колмаков, П.А. Витязь, М.Л. Хейфец	274
Биоцидная композиция на основе ПВХ с использованием циклопропансодержащих тиоэфиров	
Р.З. Шахназарли	275
Исследование эффективности использования композитных микроудобрения (Cu, Zn, Mn) для внекорневой подкормки вегетирующих сельскохозяйственных культур	
О.В. Шахно, Л.Ю. Бражникова, Ю.И. Матусевич	276
АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ	277

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ И ТРИБОЛОГИЯ
(ПОЛИКОМТРИБ-2015)**

23—26 июня 2015 г., Гомель, Беларусь

САМОСМАЗЫВАЕМОСТЬ ТЕРМОСТОЙКИХ ПОЛИМЕРОВ И КОМПОЗИТОВ

А.П. Краснов

Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, Москва, Россия;
krasnov@ineos.ac.ru

В 50—60-х гг. прошлого века после изучения механизма трения политетрафторэтилена было сформулировано представление о самосмазывании полимеров как трении полимеров по «перенесенной» пленке, что и обеспечивает низкое трение.

Значительный объем исследований трибохимических процессов при трении конструкционных термостойких полимеров и узлов сухого трения на их основе позволил сформулировать представления о самосмазывании (смазывающей способности) твердых тел как свойства материала иметь пониженное значение коэффициента трения за счет свойств исходной поверхности либо поверхностей образующихся в результате физических и химических процессов при фрикционном взаимодействии с контртелом. В случае полигетероариленов этот эффект возможен только в результате активных трибохимических процессов [1, 2].

Причина резкого различия силы трения различных представителей термостойких полимеров, в отличие от традиционных самосмазывающихся полимеров определяется не механической, а молекулярной составляющей силы трения. Наиболее яркие представители термостойких полимеров с максимально высокой молекулярной составляющей силы трения — полиарамиды (Кевлар — полипарафенилендиамид, Номекс — полиметафенилендиамид), что обусловлено их химическим строением. Большинство других испытанных полигетероариленов имеют менее высокий коэффициент трения.

Трибохимический распад этой группы полимеров характеризуется преобладающей молекулярной деструкцией на уровне звена макромолекулы.

Исследование группы термостойких термопластов позволило установить, что в этом случае наиболее гибкие представители, как, например, полиарилэнэфиркетон на основе дифенилолпропана и дифторбензофенона характеризуется преобладанием трибохимической деструкции не на молекулярном, а на макромолекулярном уровне. К этому же эффекту приводит введение в более жесткоцепные полимеры самосмазывающегося наполнителя, например, графита, в случае полиарилатов и полифенилхиноксалина.

Влияние молекулярной составляющей трения обнаруживается не только при трении полимеров, но и в композиционных материалах, как через связующее, так и через термостойкие армирующие волокна, например при трении антифрикционных органоластов, углеродонаполненных литевых материалов и др.

Трибохимический подход к исследованию механизма трения термостойких полимеров включает изучение состава покрытия, образующегося на контртеле в процессе формирования «третьего тела».

Общей чертой химического состава покрытия на контртеле при трении различных термостойких полимеров является наличие продуктов окисления, образующихся в результате деструкции по наиболее слабым химическим связям.

При возрастании гибкости, например в литевых термопластичных полиарилэнэфиркетонах, покрытие, формирующееся на контртеле включает компоненты звена полимера, причем преимущественно содержатся более термически устойчивые фрагменты.

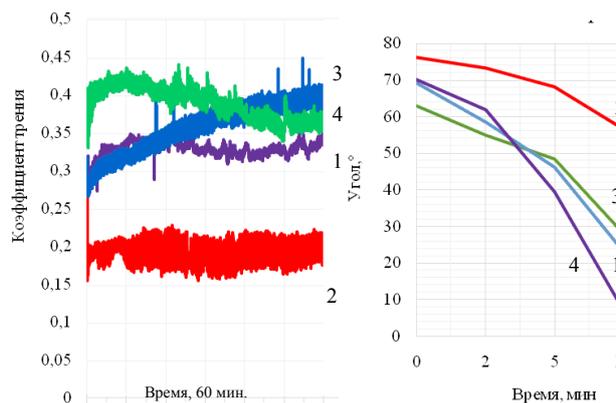


Рис. 1. Коэффициент трения (А) и краевой угол смачивания (Б) композиционных материалов с различным соотношением эпоксицидная смола: фенолоформальдегидная смола 1 — ФФ; 2 — 30 ФФ + 70 ЭД20; 3 — 50 ФФ + 50 ЭД20; 4 — 70 ФФ + 30 ЭД20

Особенно интересна реализация принципа создания самосмазывающихся износостойких материалов с минимально возможным значением молекулярной составляющей в таких областях как медицина, где удалось создать пару трения с коэффициентом трения подобным значению пары хрящ — хрящ или пары полимер — сталь, работоспособной в условиях сверхскоростного трения.

1. Краснов А.П., Мить В.А., Афоничева О.В., Рашкован И.А., Казаков М.Е. Трибохимически активные и трибостабилизированные полимеры и полимерные системы // Трение и износ. — 2002 (23), № 4, 397—410
2. Краснов А.П., Адериха В.Н., Афоничева О.В., Мить В.А., Тихонов Н.Н., Васильков А.Ю., Саид-Галиев Э.Е., Наумкин А.В., Николаев А.Ю. О систематизации нанонаполнителей полимерных композитов // Трение и износ. — 2010 (31), № 1, 93—108

НАНОКОМПОЗИТЫ, ПОЛУЧАЕМЫЕ ДИСПЕРГИРОВАНИЕМ ГЛИН В РАСПЛАВАХ ПОЛИМЕРОВ

С.С. Песецкий, С.П. Богданович

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

В докладе систематизирована информация о получении, достижениях, областях применения и актуальных проблемах полимерных нанокмполитов (н-ПКМ), получаемых диспергированием слоистых глинистых силикатов (СГС) в расплавах термопластов и каучуков.

Наиболее часто нанокмполиты получают при использовании двухшнековых экструзионных реакторов-смесителей, хотя могут использоваться и одношнековые экструдеры, которые следует снабжать специальными смесителями (статическими или динамическими). Впервые метод компаундирования в расплаве описан в работе [1]. Важнейшее преимущество этой технологии — возможность применения серийного или модернизированного промышленного оборудования.

СГС, применяемые для получения н-ПКМ (главным образом монтмориллонит, гекторит, санонит), имеют двухуровневую кристаллическую структуру, представляющую собой чередования двух тетраэдрических слоев кремнезема, содержащих атомы металла, и тетраэдрического слоя, сформированного оксидами металлов. Каждый слой находится на некотором расстоянии от другого слоя, определяемом силами Ван-дер-Ваальса, и между слоями образуется межслоевое пространство (галерея). В галереях содержатся, как правило, катионы щелочных и щелочноземельных металлов, придающие электронейтральный характер кристаллам. Моночастица слоистого минерала имеет толщину ≈ 1 нм, а ее линейный размер составляет от нескольких десятков до сотен нанометров и даже нескольких микрометров.

При введении глины в полимерную матрицу могут быть получены три вида структур: фазово-расслоенный микрокомпозит, интеркалированный или эксфолиированный нанокмполит. Если полимер не входит в пространство между слоями СГС, а глина сохраняется в виде крупных блоков, известных как тактоиды, получают фазово-разделенный макрокомпозит. Свойства таких композитов находятся в пределах характерных для обычных композитов. Если полимерные цепи включаются в пространство между глинистыми слоями, получают интеркалированный нанокмполит. В этом состоянии глина сохраняет свою хорошо упорядоченную многослойную морфологию, хотя расстояние между слоями несколько увеличивается в результате присутствия полимера. При значительном проникновении полимера в галереи глина может полностью расслаиваться, становясь разупорядоченной до отдельных монослоев в по-

лимерной матрице (расслоенный нанокмполит). В действительности, часто формируется смешанная морфология и от превалирования того или иного ее типа зависят свойства композита.

Принципиальная возможность расслоения глины в полимере определяется термодинамикой; свободная энергия должна быть отрицательной. Изменение ΔH оказывает решающее значение при определении термодинамической возможности расслаивания. В ряде публикаций установлено, что при смешении чистого полимера с глиной без предварительной подготовки получить расслоенную морфологию маловероятно. Это возможно, как правило, только в процессе синтеза макромолекул, которому предшествует стадия пропитки СГС мономером, или введения водных суспензий глины в растворы водорастворимых полимеров.

Наиболее распространенным приемом получения органоглин является обработка поверхности их частиц катионными ПАВ. В качестве ПАВ, главным образом, используют четвертичные аммонийные соли соляной кислоты, в которых катион азота связан с метильными, гидроксипропиловыми и более длинными насыщенными и ненасыщенными углеводородными радикалами, получаемыми при использовании таллового, рапсового или кокосового масел. Важнейшие проблемы, связанные с применением органоглин при компаундировании в расплаве: высокая концентрация ПАВ (в промышленно выпускаемых органоглинах она может превышать 50 мас.%), наличие не хемосорбированного ПАВ в объеме галереи, чрезмерно большая влажность СГС.

Свойства полимеров, улучшаемые при модифицировании СГС: ускорение кристаллизации частично-кристаллических термопластов; упрочнение и повышение жесткости полярных и неполярных термопластов; улучшение совместимости в смесях несовместимых полимеров; упрочнение армированных волокнами конструктивных пластиков; повышение деформационной теплостойкости пластмасс; синергическое улучшение огнестойкости композитов, содержащих традиционные антипирены; повышение показателей барьерных свойств пленочных материалов; улучшение динамических механических характеристик шинных резин, снижение воздухопроницаемости гермослоев шин.

Приведена информация о новых технологических приемах получения и применении н-ПКМ.

1. Vaia R.A., Jandt K.D., Kramer E.J., and Giannelis E.P. Kinetics of Polymer Melt Intercalation // *Macromolecules*. — 1995 (28), no. 24, 8080—8085

HIGH PERFORMANCE COMPOUNDS FOR FIBRE REINFORCED COMPOSITES

U. Gohs¹, C. Zschech¹, C. Scheffler¹, and G. Heinrich^{1,2}¹Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V., Dresden, Germany; gohs@ipfdd.de²Technische Universität Dresden, Institut für Werkstoffwissenschaft, 01069 Dresden, Germany**Aim**

High performance fibre reinforced thermosets causes problems in cycle time and recycling. The use of a thermoplastic matrix offers an alternative. Isotactic polypropylene (PP) is a widespread used thermoplastic polymer with a good chemical resistance and hardness, but low toughness. A significant increase of toughness can be achieved by blending with a rubber, but it results in a lower level of E-modulus and tensile strength [1]. In comparison to state of the art technology, increased tensile strength can be achieved by electron induced reactive processing [2—4]. This novel reactive compounding method was used for the toughening of PP. Finally, this toughened PP was used to produce endless glass fibre (GF) reinforced PP via compression moulding.

Materials and methods

Two polypropylene homopolymers (PP) were used as matrix polymer. PP HD120MO was obtained from Borealis, Düsseldorf, Germany. The melt flow rate of the polypropylene, measured at 230 °C and 2.16 kg, amounts to 8.0 g/10 min. PP HG455FB was obtained from Borealis AG, Vienna, Austria. The melt flow rate of the polypropylene, measured at 230 °C and 2.16 kg, amounts to 27 g/10 min. This type of PP can be used for melt spinning of fibres. EXXELOR PO 1020 (Exxon Mobil Corporation, Machelen, Belgium), a maleic anhydride functionalized PP, is used for improved adhesion between PP and amio-silane treated GF surface.

Three types of rubbers were tested for PP toughening. Buna EP G6850, a ethylidene norbornene (ENB) containing ethylene propylene diene rubber (EPDM), was obtained from Lanxess, Leverkusen, Germany. This EPDM contains 51 wt.% of ethylene and 7.7 wt.% of ENB and has a Mooney viscosity, ML (1 + 4) at 125 °C, of 60. Keltan DE8270C, a vinylidene norbornene (VNB) containing EPDM rubber, was obtained from DSM, Geleen, Netherlands. It contains 50 wt.% of ethylene and 3.0 wt.% of VNB and has a Mooney viscosity, ML (1 + 4) at 125 °C, of 80. Engage 8100, an ethylene octene copolymer, was procured from Dow Chemical (USA). The co-monomer (octene) content amounts to 23 mol.%. The melt flow index, measured at 190 °C and 2.16 kg, amounts to 1.0 g/10 min.

At first, PP/rubber blends of 50/50 weight ratio were prepared by discontinuous electron induced reactive processing (EIREP) in order to investigate the influence of polymer properties and processing parameters on the mechanical properties of PP/rubber blends. Based

on these experimental results toughened PP was produced by continuous EIREP for preparation of GF reinforced PP. Selected mechanical parameters were determined.

Results and discussion

Polymer properties like viscosity, chemical reactivity, and morphology before reactive compounding as well as processing parameters like electron energy and energy input per time during reactive compounding are strongly influencing the mechanical performance of PP rubber blends. Based on an optimized selection of raw materials and processing parameters toughened PP was produced. Beside significant improvement in toughness it has values of E-modulus and tensile strength which are comparable with those values of original PP (Fig. 1).

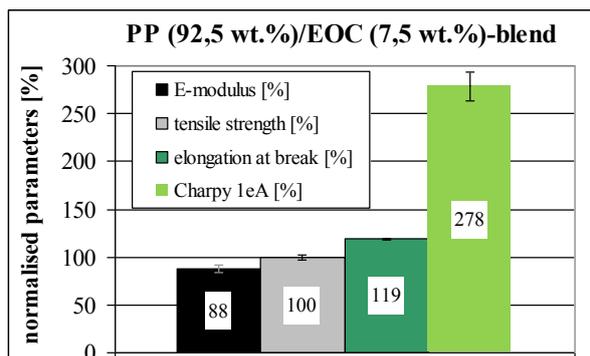


Fig. 1. Selected parameters normalised to virgin PP

Endless GF reinforced toughened PP has improved toughness (+15%) in comparison to endless GF reinforced original PP. Further, the values for E-modulus and tensile strength are not influenced by toughened PP within the experimental uncertainty.

- Grein C., et al. Mechanical and Optical Effects of Elastomer Interaction in Polypropylene Modification: Ethylene-Propylene Rubber Poly-(ethylene-co-octene) and Styrene-Butadiene Elastomers // eXPRESS Polymer Letters. — 2012 (6), no. 9, 688—696
- Naskar K., et al. PP-EPDM Thermoplastic Vulcanisates (TPVs) by Electron Induced Reactive Processing // eXPRESS Polymer Letters. — 2009, no. 3, 677—683
- Rajeshbabu R., et al. Preparation of polypropylene (PP)/Ethylene Octene Copolymer (EOC) Thermoplastic Vulcanisates (TPVs) by High Energy Electron Reactive Processing // Radiation Physics and Chemistry. — 2011, no. 80, 1398—1405
- Thakur V., et al. Electron-Induced Reactive Processing of Thermoplastic Vulcanizate Based on Polypropylene and Ethylene Propylene Diene Terpolymer Rubber // Polymer Journal. — 2012, no. 44, 439—448

АНТИФРИКЦИОННЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА ДЛЯ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ СУХОГО ТРЕНИЯ И АБРАЗИВНОГО ИЗНАШИВАНИЯ

С.В. Панин^{1,2}, Л.А. Корниенко¹, М.А. Полтаранин¹, Т. Нгуен Суан²,
Л.Р. Иванова¹, С.В. Шилько³, Ю.М. Плескачевский³

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия; svp@ispms.tsc.ru

²Томский политехнический университет, Томск, Россия

³Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) занимает особое место среди полимеров благодаря достаточно высоким деформационно-прочностным показателям, низкому коэффициенту трения и высокой износостойкости, химической стойкости к агрессивным средам, биосовместимости, а также формостабильности в широком температурном диапазоне. Выбором наполнителей можно целенаправленно изменять функциональные свойства и расширять область использования СВМПЭ в различных областях техники, в т.ч. при изготовлении узлов трения. При разработке антифрикционных композитов, как правило, ориентируются на преимущественные условия их эксплуатации: абразивный износ, сухое трение скольжения, трение в режиме граничной смазки. Минимальное изнашивание достигается при наличии в зоне контакта смазочной среды. Это условие может быть выполнено применением твердосмазочных микро- и нанокомпозитов, получаемых наполнением СВМПЭ-матрицы соответствующими дисперсными компонентами в виде частиц и коротких волокон [1—3].

Обобщение результатов проведенных авторами трибоиспытаний при сухом трении скольжения [3] (рис. 1) позволяет сопоставить твердосмазочные микро- и нанокомпозиты на основе СВМПЭ с содержанием наполнителя, оптимизированным по критерию износостойкости, при максимальном сохранении механических свойств и надмолекулярной структуры полимера.

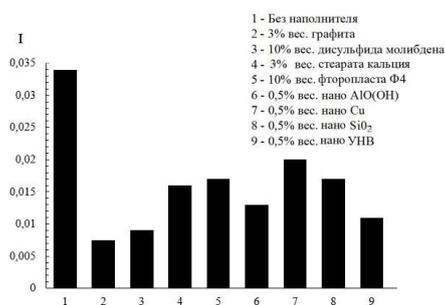


Рис. 1. Интенсивность изнашивания, мм²/мин, микро- и нанокомпозитов при сухом трении скольжения

Показано, что микронаполнители в виде частиц дисульфида молибдена, графита, политетрафторэтилена, стеарата кальция формируют микрослой (пленку) переноса на контртеле. Помимо эффекта самосмазывания, высокая износостойкость обеспечивается сохранением типа и характерных размеров

структурных элементов (сферолитов) СВМПЭ. Нанонаполнители практически не оказывают влияние на формирование надмолекулярной структуры, выступая в качестве ультрадисперсной смазочной среды.

На рис. 2 сопоставлены результаты испытаний микро- и нанокомпозитов на основе СВМПЭ в условиях абразивного изнашивания. Показано, что роль микро- и нанонаполнителей в обеспечении износостойкости композитов на основе СВМПЭ при абразивном изнашивании различная. Для микрокомпозитов на основе СВМПЭ абразивная износостойкость определяется размером и твердостью наполнителя, а также соотношением размера частиц наполнителя и зерна закрепленного абразива.

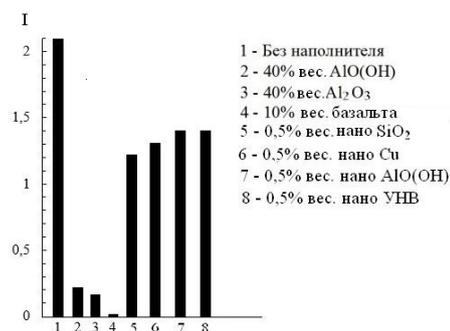


Рис. 2. Абразивный износ (I , мм³/мин) микро- и нанокомпозитов на основе СВМПЭ при P 240

При использовании нанонаполнителей резание матрицы частицами закрепленного абразива осуществляется без взаимодействия с нанонаполнителем вследствие несоизмеримости размеров наночастиц и зерна абразива. Интенсивность абразивного изнашивания в этом случае определяется размером зерна абразива и прочностью сформировавшейся надмолекулярной структуры.

1. Kurtz S.M. The UHMWPE Handbook: Ultra-High Molecular Weight Polyethylene in Total Joint Replacement. — Academic Press. — 2004
2. Краснов А.П., Адериха В.Н., Афоничева О.В. и др. О систематизации нанонаполнителей полимерных композитов // Трение и износ. — 2010 (31), № 1, 93—108
3. Panin S.V., Kornienko L.A., Nguyen Xuan Thuc, Ivanova L.R., and Shil'ko S.V. Role of Micro- and Nanofillers in Abrasive Wear of Composites Based on Ultra-High Molecular Weight Polyethylene // Advanced Materials Research. — 2014 (1040), 148—154

ПОЛИМЕРНЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ В АРКТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

А.А. Охлопкова, Т.С. Стручкова, А.П. Васильев,
А.А. Гаврильева, А.Г. Алексеев, С.Н. Данилова

Северо-Восточный федеральный университет, 677000, Россия; okhlopkova@yandex.ru

Цель

Создание композитов на основе термопластов с применением синтетических и природных волокон.

Материалы и методы

В качестве полимерной основы использовали политетрафторэтилен (ПТФЭ) марки Ф-4ПН-90 и сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) фирмы Ticona GUR 4130.

В качестве наполнителя ПТФЭ использовали углеродное волокно (УВ) УКН-М-12К (ТУ 1916-146-05763346-96), для СВМПЭ использовали природное базальтовое волокно (БВ) месторождения п. Покровск, Республика Саха (Якутия).

Образцы для исследований были изготовлены по стандартным технологиям для соответствующих полимеров.

В случае СВМПЭ исследованы две технологии совмещения компонентов ПКМ: совмещение полимера с предварительно механоактивированным в планетарной мельнице АГО-2 (2220 об/мин, центробежное ускорение 100 м/с^2) БВ; совместная механоактивация в планетарной мельнице PULVERIZETTE-5 фирмы FRITSCHE (400 об/мин, центробежное ускорение 40 м/с^2).

Физико-механические свойства ПКМ исследовали на разрывной машине «Shimadzu AGS-J» по ГОСТ 11262-80.

Триботехнические характеристики определяли на трибометре UMT-3 согласно ГОСТ 11629-75.

Структурные исследования проводили на: ИК-Фурье спектрометре FTS 7000 «Varian», растровом электронном микроскопе JSM-7800FX фирмы JEOL, дифрактометре ARL X'TRA.

Результаты и их обсуждение

В работе исследовано влияние коротких нитевидных углеродных волокон на эксплуатационные свойства ПКМ на основе ПТФЭ. Содержание наполнителя варьировали от 1 мас.% до 7 мас. Прочность на сжатие композитов возрастает до 1,5 раза по сравнению с исходным ПТФЭ. При наполнении происходит снижение плотности, так как волокно имеет низкую плотность по сравнению с полимерной матрицей. Триботехнические исследования показали, что износостойкость увеличива-

ется от 100 до 850 раз по сравнению с чистым полимером, при сохранении низкого коэффициента трения во всех образцах.

В случае наполнения базальтовыми волокнами СВМПЭ содержание наполнителя варьировали от 0,5 до 20%, при этом наилучшие результаты наблюдаются, при наполнении СВМПЭ предварительно активированным волокном: предел прочности повышается на 15—37%, модуль упругости на 50—60%, линейный износ уменьшается в 4,5 раза относительно ненаполненного СВМПЭ. Улучшение деформационных свойств можно объяснить эффектом армирования полимерной матрицы базальтовым волокном, а триботехнических свойств — с уменьшением площади контакта ПКМ с металлической поверхностью контртела, участием БВ в ориентационных эффектах, с расположением поверхностных слоев композита по направлению скольжения [3]. Результаты структурных исследований согласуются с данными физико-механических испытаний.

На основании проведенных исследований показано, что использование волокнистых материалов (УВ, БВ) в качестве наполнителей ПТФЭ и СВМПЭ способствует повышению деформационно-прочностных показателей, значительное увеличение износостойкости при сохранении стабильных и низких значений коэффициента трения с высокой несущей способностью.

Работа проведена в рамках Госзадания Минобрнауки РФ в сфере научной деятельности в рамках базовой части № 1426 «Организация проведения научных исследований», 2014—2016 гг. и в сфере научной деятельности в рамках проектной части № 11.512.2014/К, 2014—2016 гг.

1. Стручкова Т.С. Разработка и исследование полимерных композиционных материалов на основе активации политетрафторэтилена и углеродных наполнителей. Дис. ... к-та техн. наук: 05.02.01. — Комсомольск-на-Амуре. — 2008
2. Михайлов А.А., Краснов А.А., Дюрягин Б.С., Гайдомако И.М. Ажурные композиционные волокнистые материалы с наноструктурными элементами // Конструкции из композиционных материалов. — 2003, № 3, 29—39
3. Охлопкова А.А., Васильев С.В., Гоголева О.В. Разработка полимерных композитов на основе политетрафторэтилена и базальтового волокна // Нефтегазовое дело. — 2011, № 6, 404—410

НОВЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПУЛЬПОПРОВОДОВ. ПРОБЛЕМЫ ИХ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ

В.В. Коврига

Группа «ПОЛИПЛАСТИК», Москва, Россия; kovriga@polyplastic.ru

Введение. Полимерные износостойкие покрытия широко применяются для защиты металлических конструкций как в условиях сухого трения, так и при транспортировке взвесей в воде, влажных масс. и промерзания. Наряду с покрытиями для транспортировки пульпы эффективно используются полимерные трубопроводы по которым транспортируют не только взвеси, но и сухие продукты как при решении проблем чистого транспорта продуктов, так и при решении инженерных проблем в технологических процессах. Для оценки свойств использованы 5 методов оценки износа ГОСТ 11012, метод Табера, износ на шайбе Бёме, износ по стандарту ИСО15527 и EN 295-3. Среди методов оценки полимерных трубопроводов только один метод. Испытания по EN № 295-3:2012-03 позволяет оценивать износостойкость не материалов, а труб, поэтому на базе этого метода было целесообразно разработать методику оценки рабочего ресурса труб, работающих на износ.

Цель работы — всесторонне оценить с помощью разных методов износостойкость трубных полиэтиленов и разработать методику оценки рабочего ресурса труб, работающих на износ (Дармштадский ресурс).

Объекты исследования. В качестве объектов исследования использовались трубы из сверхвысокомолекулярного полиэтилена, перикисноштитого полиэтилена и полиэтилена 100 (производства нижекамского химкомбината), натурального — модифицированного на стадии синтеза сомономерами такими как бутен, гексен и октен реализованного в виде марок повышенной устойчивости к действию высоких температур (PERT) и марок с повышенной устойчивостью к распространению трещин (PERC), а также материалов группы ПЭ 100, ПЭ 80 и ПЭ 63..

На рис. 1 показан общий вид прибора для испытаний по методике EN 295-3.

Результаты и их обсуждение. Значения износа представлены для трех материалов (№ 1, 2, 3 Таблица 1) при износе с различным числом качаний.

Оценка уменьшения толщины стенки испытываемой трубы проводилась после 25000, 50000, 75000 и 100000 качаний образца в виде половины трубы длиной 1 м. Средний размер частиц абразива составлял 6 мм.

На основании полученных данных были определены показатели Дармштадского ресурса как дли-

ны потока взвеси, вызывающей потерю 75% толщины стенки трубы. Рассчитанные значения Дармштадского ресурса для 4-х видов труб приведены на рис. 2.

Таблица 1. Значения износа

кол-во циклов образцы	истирание стенки трубы, мм				
	0	25000	50000	75000	100000
ПЭ100 (НКНХ)	0	0,057	0,147	0,21	0,26
РЕХGOL	0	0,085	0,13	0,17	0,215
СВМПЭ (Австралия)	0	0,13	0,347	0,397	0,427
СВМПЭ (Тикона)	0	0,075	0,16	0,175	0,21



Рис. 1. Установка для определения износа труб по методу EN 295-3:2012 часть 3 п. 15

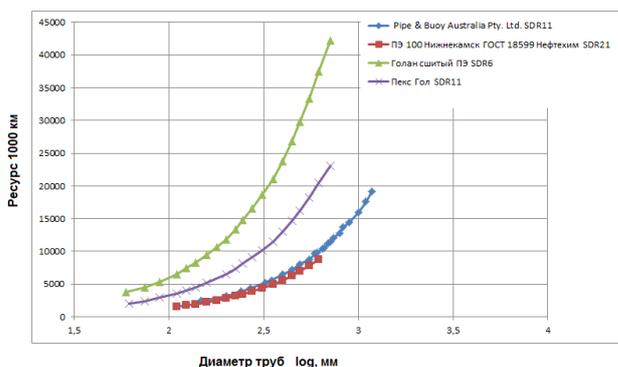


Рис. 2. Дармштадский ресурс в километрах

1. Бранзбург А.Б., Коврига В.В., Пуце В. Пульпопроводы: от дармштадского метода к дармштадскому ресурсу // Полимерные трубы. — 2015, № 1(47), 52—53
2. Руководящие технические материалы, РТМ 48532278-001-2014, Расчет Дармштадского ресурса износостойкости и данные по износу труб из различных видов полиэтилена, предназначенных для инженерных сетей, Часть 1. — Группа «Полимертепло». — 2014

35 ЛЕТ КОЛЛЕКТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА СТРАНИЦАХ ЖУРНАЛА «ТРЕНИЕ И ИЗНОС»

А.И. Свириденко¹, Н.К. Мышкин², И.Н. Ковалева²

¹Научно-исследовательский центр проблем ресурсосбережения, Гродно, Беларусь

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

Введение

Важнейшим условием обеспечения непрерывности и преемственности в развитии науки является распространение информации о результатах научных исследований. Благодаря научным изданиям результаты исследовательского труда включаются в научно-информационный поток и становятся достоянием ученых и специалистов.

Цель работы

Определить перспективные направления исследований в трибологии за последние 35 лет. Провести анализ публикационной активности стран СНГ и дальнего зарубежья.

Результаты и их обсуждение

Издаваемый с 1980 года журнал «Трение и износ» является наиболее полным в странах СНГ источником информации о событиях в области трибологии. За последние 35 лет (1980—2014 г.г.) в журнале опубликовано 4092 статьи, в которых освещаются результаты исследований, проводимых в России, Беларуси, Украине и других странах ближнего и дальнего зарубежья. Географическая принадлежность опубликованных статей представлена на диаграмме (рис. 1).

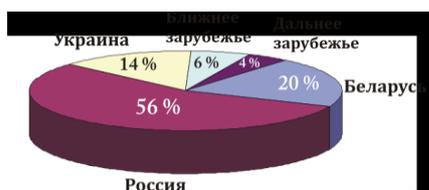


Рис. 1. Распределение публикаций по странам

В зависимости от темы исследования все опубликованные работы можно разделить на 10 групп. На диаграмме представлены основные направления исследований по количеству статей с делением на десятилетия.

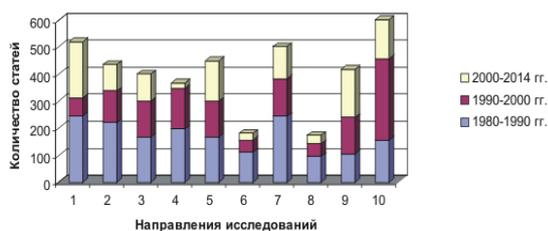


Рис. 2. Направления исследований

Направления исследований по тематике направлений исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1. Направления исследований в трибологии

№	Направление исследований
1	структура, механические и трибологические свойства перспективных материалов и покрытий
2	механизмы, виды и особенности изнашивания трибосопряжений
3	моделирование механизмов изнашивания и фрикционного взаимодействия
4	износостойкость и долговечность материалов
5	численный анализ процессов трения и изнашивания
6	приборы и оборудования, применяемые в трибологии
7	трибологические и реологические свойства смазок
8	параметры и свойства поверхности на трибологические свойства материалов
9	трибологические свойства полимерных материалов и композитов
10	общие вопросы трибологии

Представленный анализ показывает, что в последнее десятилетие наиболее актуальными являлись вопросы связанные с износостойкими материалами и покрытиями, численным анализом процессов трения и изнашивания, а также трибологическими свойствами полимеров и композитов.

Как отмечают трибологи всего мира, трибология 21 века должна решать следующие задачи:

- миниатюризация триботехнических устройств;
- экологизация (снижение шума и загрязнения окружающей среды);
- резкое снижение затрат энергии при передаче движений и мощности;
- существенное повышение срока службы при высоких нагрузках, скоростях и температурах, при эксплуатации в абразивных средах;
- продление «жизни» человеческих суставов и других органов, работающих в условиях трения и смазки;
- использование новых физических, химических и биологических принципов и эффектов при решении трибологических проблем;
- оценка роли трения в сходе снежных и каменных лавин;
- развитие теории и методов исследования трибосопряжений в глубоком космосе, при высоких дозах облучения, сверхзвуковых скоростях и высоких давлений при высоких и криотемпературах.

Трибология будет интересна и необходима человечеству пока существует земное притяжение. Редколлегия поздравляет всех авторов с 35-летием журнала. Надеемся, что количество публикуемых в журнале материалов будет и в дальнейшем расти, увеличится IF и IC его авторов.

СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция 1

Структура и свойства композиционных материалов

**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ И ТРИБОЛОГИЯ
(ПОЛИКОМТРИБ-2015)**

23—26 июня 2015 г., Гомель, Беларусь

СТРУКТУРИРОВАНИЕ ПОЛИМЕРОВ ФУЛЛЕРЕНАМИ

Э.М. Шпилевский¹, С.А. Филатов¹, Г. Шилагарди², Ц. Хандмаа², А.Т. Богорош³¹Институт тепло- и массообмена НАН Беларуси, Минск, Беларусь; eshpilevsky@rambler.ru²Национальный университет Монголии, Улан-Батор, Монголия; gshilagardi@yahoo.com³Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев, Украина; bogorosha@mail.ru

Фуллерены являются уникальными углеродными наночастицами, открытие которых дало материаловедам принципиально новые инструменты для конструирования материалов с управляемыми свойствами. За короткое время появились тысячи публикаций как по методам синтеза фуллеренов, так и их использованию в разработке новых материалов [1, 2].

Фуллерены, обладающие большей энергией сродства к электрону, чем акцепторные фрагменты многих полимерных молекул, могут образовывать комплексы с переносом заряда [3].

В качестве полимерных матриц служили полистирол (ПС) и полиэтилен высокого давления (ПЭВД). Молекулы фуллерена C_{60} вводились в полимерную матрицу двумя способами: а) смешиванием растворов полиэтилена и фуллеренов в толуоле, б) пропиткой пленок ПЭВД в растворе C_{60} в толуоле (1,4 мг/мл). В последнем случае долевое содержание фуллерена в пленке варьировалось путем изменения времени пропитки (0,5 и 3 ч).

Исследовались механические (разрывная машина) и трибологические свойства (трибометр ТЭУ-1), структура (РЭМ). Оптическая диагностика исследуемых образцов проводилась с помощью Фурье-спектрометра IFS66 Bruker в диапазоне $500\text{—}1500\text{ см}^{-1}$, соответствующем активным колебаниям ПС, ПЭВД и C_{60} .

Допирование полимерного материала фуллеренами приводит к значительному повышению прочности материала, снижению коэффициента трения, изменению упругих характеристик и других свойств материала. Свойства полимеров в большой степени зависят от долевого содержания фуллеренов. Показано, что наибольший эффект применения фуллеренов обнаруживается при их концентрации 0,1...0,2 мас.%. В этом случае обеспечивается наибольшее снижение коэффициента трения (в 3,2 раза), однако добавление фуллеренов в полимерную матрицу приводит к охрупчиванию материала, предел растяжения снижается на 10—30%, модуль Юнга при этом возрастает.

В области невысоких концентраций взаимодействие поверхности углеродных наночастиц с полимерными молекулами происходит повышение эффективной плотности сетки полимера. Связи мак-

ромолекул с поверхностью частиц можно рассматривать как дополнительные узлы пространственной структуры сетки. Это дополнительное структурирование определяет механические свойства наполненной системы. Наполнитель влияет на условия надмолекулярного структурообразования матрицы, изменяя состояние полимера на поверхности наполнителя. Кроме того, фуллереновые кластеры проявляют способность сами структурироваться в полимерной матрице.

Полимеры, содержащие фуллерены, по структурной организации можно разделить условно на четыре типа: *звёздообразные* — в них молекула фуллерена выполняет роль ядра для присоединенных линейных цепочек матрицы; *«жемчужное ожерелье»* — содержат молекулы фуллерена в основной цепи; *«браслет с подвесками»* — содержащие молекулы фуллерена в боковых заместителях и являются, разновидностью гребнеобразной структуры; *«нерегулярная сетка»* — молекулы фуллерена включены в замкнутые цепочки.

Изменением состава композиционного материала на основе полимера и фуллеренов можно управлять его свойствами. При этом все получаемые материалы имеют низкую плотность и повышенную температурную устойчивость.

Работа выполнена в рамках международного сотрудничества между Институтом тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси и Национальным университетом Монголии при финансовой поддержке Белорусского и Монгольского фондов фундаментальных исследований (код проекта Т15МН-001).

1. Шпилевский М.Э., Шпилевский Э.М., Стельмах В.Ф. Фуллерены и фуллереноподобные структуры — основа перспективных материалов // ИФЖ. — 2001 (74), № 6, 106—112
2. Сидоров Л.Н., Юровская М.А. Фуллерены. — М.: МГУ. — 2004
3. Шпилевский Э.М., Шилагарди Г., Ахремкова Г.С. Механические и трибологические свойства полиэтилена высокого давления, модифицированного фуллеренами // Фуллерены и фуллереноподобные структуры. Минск: Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси. — 2005, 218—228
4. Витязь П.А., Шпилевский Э.М. Углеродные наночастицы как активные модификаторы материалов // Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин. — В 3-х т. Т. 1. — Новополоцк: УО «ПГУ». — 2007, 54—57

ТЕРМОВЛАГОСТОЙКИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ПЛЕНКИ НА ОСНОВЕ ОРГАНО-НЕОРГАНИЧЕСКИХ НАНОКОМПОЗИТОВ ПОЛИВИНИЛОВЫЙ СПИРТ—ГЕТЕРОПОЛИКИСЛОТА

Н.И. Сушко, А.Б. Малый, О.Н. Третинников

Институт физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь; o.tretinnikov@ifanbel.bas-net.by

Используемые в поляризаторах ЖК-дисплеев и индикаторов поляризационные пленки на основе полииодидных комплексов поливинилового спирта (ПВС) имеют низкую термо- и влагостойкость, что ограничивает их применимость в жестких условиях эксплуатации. Повышенной термовлагостойкостью отличаются поляризационные пленки из ПВС, содержащего в своей структуре полиены, образующиеся при кислотнo-катализируемой термической дегидратации этого полимера. Однако промышленно они не применяются, так как при их получении в качестве катализаторов используются сильные жидкие минеральные кислоты, что делает производство таких поляризационных пленок сложным, опасным, дорогим и, соответственно, невыгодным.

Нами предложены ПВС-полиеновые поляризационные пленки нового типа [1]. Катализатором образования полиенов в этих пленках служит фосфорно-вольфрамовая кислота (ФВК) — соединение на основе оксидов вольфрама, известное как экологичный («green») и безопасный твердый катализатор. Из раствора в воде формируется нанокomпозитная пленка состава ПВС-ФВК. При термообработке такой пленки наночастицы ФВК катализируют образование полиенов в структуре ПВС и, благодаря отсутствию собственного поглощения в видимой области спектра и малым размерам (~10 нм), не влияют на оптические свойства пленки [2].

Цель работы — изучение оптических характеристик нанокomпозитных поляризационных пленок на основе ПВС и ФВК в зависимости от концентрации ФВК, длительности и температуры отжига, и предварительная оценка их термовлагостойкости.

Водный раствор ПВС, содержащий 10, 20 или 30% ФВК (относительно ПВС), выливали на дно чашки Петри и сушили 24 ч при 20—25 °С. Полученную пленку фиксировали в устройстве ориентационной вытяжки и вытягивали в 4 раза на воздухе при заданной температуре и влажности. Толщина пленок после вытяжки ~25 мкм. Ориентированную пленку, зафиксированную в устройстве для вытяжки, отжигали в термощкафу и измеряли ее спектры пропускания для света поляризованного перпендикулярно и параллельно оси вытяжки пленки.

Рабочий спектральный диапазон разработанных поляризационных пленок составляет 350—600 нм (рис. 1). Имеется потенциальная возможность его расширения до 650—700 нм. Высокая поляризующая способность при одновременной вы-

сокой прозрачности пленок для перпендикулярно поляризованного света достигается при снижении концентрации ФВК с 30 до 10% (табл. 1). Предварительные данные по термовлагостойкости пленок приведены в табл. 2.

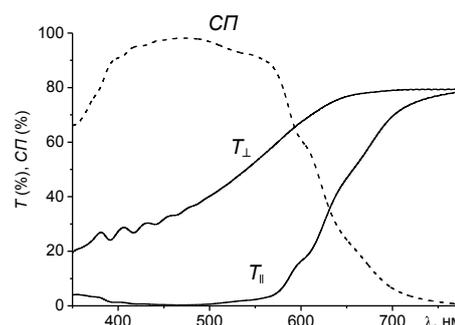


Рис. 1. Спектры пропускания поляризационной пленки ПВС-полиены-ФВК при параллельной (T_{\parallel}) и перпендикулярной (T_{\perp}) поляризации света, и степень поляризации (СП) света пленкой

Таблица 1. Пропускание света с перпендикулярной поляризацией (T_{\perp}) и степень поляризации света (СП) на $\lambda = 465$ нм нанокomпозитными поляризационными пленками с разной концентрацией ФВК ($C_{\text{ФВК}}$), температурой ($T_{\text{отж}}$) и временем ($t_{\text{отж}}$) отжига

$C_{\text{ФВК}}, \%$	$T_{\text{отж}}, \text{°C}$	$t_{\text{отж}}, \text{мин}$	$T_{\perp}, \%$	СП, %
30	120	8	35,3	85,2
30	120	12	30,2	91,5
20	120	12	40,5	90,6
20	140	3	35,0	95,1
10	140	10	48,9	92,8
10	140	15	33,7	97,8

Таблица 2. Результаты испытаний поляризационных пленок ПВС-полиены-ФВК на термо- и влагостойкости

Условия испытаний	80°C, 50 часов, сухой воздух		35°C, 16 часов, влажность 100%	
	До испытаний	После испытаний	До испытаний	После испытаний
СП, %	95,1	94,8	91,4	89,6
T_{\perp} , %	35,0	35,2	39,0	49,5

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке БРФФИ (проект Ф15-099).

- Третинников О.Н., Сушко Н.И. Поляризационная пленка и способ ее получения // Патент РФ № 2520938 (27.06.2014, Бюл. № 18)
- Третинников О.Н., Сушко Н.И. Образование линейных полиенов при термической дегидратации поливинилового спирта, катализируемой фосфорно-вольфрамовой кислотой // Журн. прикл. спектр. — 2014 (81), № 6, 954—957

ОСОБЕННОСТИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ ЦЕПЕЙ ПОЛИ-L-ЛАКТИДА В НАНОРАЗМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЯХ, ФОРМИРУЕМЫХ ИЗ АКТИВНОЙ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ

Л.П. Круль^{1,2}, Г.В. Бутовская², О.В. Шахно^{1,2}, Т.И. Кошко¹,
А.А. Рогачев³, Е.Д. Скаковский⁴, Л.Ю. Тычинская⁴

¹Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь; krul@bsu.by

²Учреждение Белорусского государственного университета
«Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», Минск, Беларусь

³Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

⁴Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Ранее было показано, что наноразмерные пленки из кристаллизующегося поли-L-лактида (П-L-Л), формируемые на различных подложках из активной газовой фазы [1], в отличие от пленок, получаемых из раствора, находятся в аморфном состоянии и в связи с этим обладают способностью к значительному набуханию в водных растворах. Это позволяет использовать данный полимер в качестве компонента композиционного антибактериального покрытия медицинских металлических имплантатов временного действия [2]. Причины необычного фазового поведения поли-L-лактида, наносимого на поверхность металлов в условиях высокоэнергетического воздействия потока ускоренных электронов, до сих пор остаются не выясненными.

Естественно допустить, что перевод П-L-Л в активную газовую будет сопровождаться изменением молекулярной структуры цепи, причем не только снижением средней длины макромолекул и изменением полидисперсности полимера, но и трансформацией стереоструктуры макромолекул. Однако до настоящего времени экспериментальные исследования в указанном направлении не проводились.

Цель

Целью работы явилось определение изменений в молекулярной структуре П-L-Л, происходящих при нанесении наноразмерных композиционных полимерных покрытий на твердые подложки из активной газовой фазы, и выяснение роли указанных изменений в процессе формирования а фазовой структуры образующихся тонких пленок.

Материалы и методы

Использовали П-L-Л марки 4042D фирмы «Nature Works LLC» (США). Тонкие полимерные пленки формировали по известной методике [2]. Характеристики молекулярной структуры ПЛ (среднечисловая молекулярная масса $\langle M_n \rangle$ и содержание L- и D-звеньев в макромолекулах) определяли как в исходном полимере, так и в покрытии, которое было нанесено из активной газовой фазы и затем механически отделено от него.

Величину $\langle M_n \rangle$ определяли методом спектроскопии ЯМР ¹H, содержание L- и D-звеньев в макромолекулах — методами спектроскопии ЯМР ¹³C и поляриметрии. Спектры ЯМР растворов П-L-Л в

CDCl₃ регистрировали при комнатной температуре на спектрометре Bruker-500 при рабочих частотах 500 и 125,8 МГц. Величины удельного оптического вращения определяли при 20 °С на автоматическом поляриметре АТАГО AP-300 при длине волны линии D спектра натрия ($\lambda = 589,3$ нм).

Результаты и их обсуждение

Установлено, что при формировании пленок П-L-Л из активной газовой фазы величина $\langle M_n \rangle$ снижается с $9,6 \cdot 10^4$ до $1,5 \cdot 10^4$. Это свидетельствует о том, что макромолекулы П-L-Л при осаждении из активной газовой фазы подвергаются деструкции, однако полимерное состояние П-L-Л при этом сохраняется что обеспечивает возможность получения сплошных наноразмерных пленок.

Показано, что в спектре ЯМР ¹³C тонких пленок П-L-Л, сформированных из активной газовой фазы, кроме сигнала при 171,0 м.д. в карбоксильной области, относящегося к *iiii* последовательности L-звеньев макромолекулы [3], появляются два четких сигнала при 170,6 (*isii*) и 170,8 м.д. (*isii*, *sisii*, *sisis*), которые относятся к последовательностям L- и D-звеньев [3]. Содержание D-звеньев в макромолекулах П-L-Л при осаждении полимера из активной газовой фазы увеличивается с 2 до 10 мол.%. Известно, что при таком содержании D-звеньев П-L-Л не способен к кристаллизации [3].

Следовательно, обнаруженная ранее аморфность структуры тонких пленок П-L-Л, формируемых из активной газовой фазы, является следствием химических изменений в молекулярной структуре полимера, происходящих под комбинированным тепловым и высокоэнергетическим воздействием потока ускоренных электронов. Определяющую роль играет переход от упорядоченной L-конфигурации цепей к неупорядоченной D, L-конфигурации.

1. Рогачев А.А. Физико-химия полимерных покрытий, осаждаемых из активной газовой фазы. — М.: Научный мир. — 2014
2. Тапальский Д.В., Бойцова Н.Ю., Осипов В.А., Рогачев А.А., Ярмоленко М.А., Рогачев А.В., Марченко Л.А., Бутовская Г.В., Круль Л.П. Новое антибактериальное покрытие на основе смеси полиуретана с поли-L-лактоидом // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. — 2013 (57), № 4, 89—95
3. Buchatip S., Petchsuk A., and Kongsuwan K. Synthesis and Mechanical Properties of Poly (LLA-co-DLLA) Copolymers // Journal of Metals, Materials and Minerals — 2008 (18), 175—180

ПОЛИЭТИЛЕНОВЫЕ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНЫЕ КОМПОЗИТЫ ДЛЯ ТРУБ

Е.С. Петухова

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия; evgspar@rambler.ru

Цель

Разработка и исследование полиэтиленовых композитов трубного назначения, содержащих в качестве наполнителя поверхностно-модифицированные рубленые углеродные волокна.

Объекты исследования

Углеродное волокно УКН-М-5000 производства ООО НПЦ «Увиком» и УКН-М-12К ООО «Композит». Поверхностная модификация осуществлялась путем каталитического разложения этилена, сопровождающегося образованием углеродных нановолокон (УНВ) (Институт катализа СО РАН, г. Новосибирск, Россия). Массовый прирост УНВ составлял 1—25%.

В качестве полимерной матрицы использовался трубный полиэтилен марки ПЭ2НТ11-9, произведенный ОАО «Казаньоргсинтез», Россия.

Волокна вводились в полимер в количестве 10 мас.% смешением ингредиентов в расплаве с последующим экструдированием.

Результаты и их обсуждение

Результаты исследования физико-механических характеристик полиэтиленовых углерод-углеродных композитов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Физико-механические характеристики полиэтиленовых углерод-углеродных композитов

Образец	σ_r , МПа	E , МПа	ε_p , %	ε_r , %
ПЭ	21,2	459,8	727,1	9,7
+ УКН-М 5000	24,2	1674,7	295,0	5,4
+ УКН/УНВ(1%УНВ)	28,7	1566,5	19,2	5,3
+ УКН/УМВ(15—25%УНВ)	26—27	1400—1500	~10	4—6

Примечание. σ_r — прочность при пределе текучести; E — модуль упругости; ε_p — удлинение при разрыве; ε_r — удлинение при пределе текучести.

Видно, что введение в полиэтилен как модифицированных, так и немодифицированных углеродных волокон приводит к повышению прочности материала при пределе текучести и модуля упругости. Деформационные характеристики материала существенно снижаются. Установлено, что предел текучести композитов, содержащих модифицированные углеродные волокна (МУВ) с приростом нановолокон 1 мас.% выше, чем у композитов с приростом нановолокон 15—25 мас.%.

На рис. 1 представлены результаты электронно-микроскопических исследований границы раздела волокно/полиэтилен в зависимости от типа вво-

димого углеродного волокна.

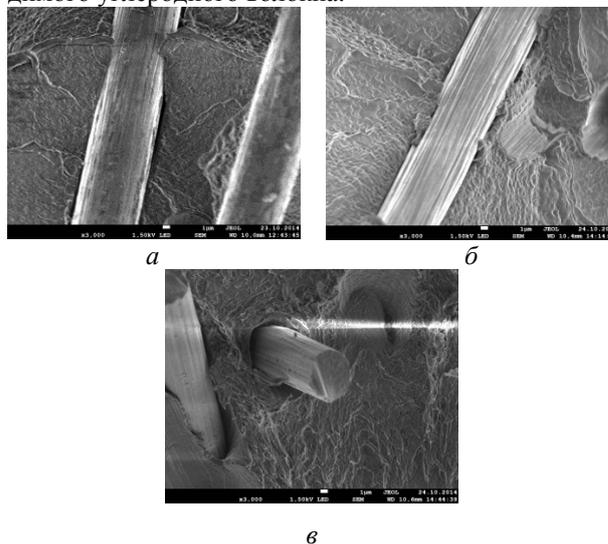


Рис. 1. Граница раздела волокно/полимер: а — ПЭ/УКН-М; б — ПЭ/МУВ (15—25%); в — ПЭ/МУВ (1%)

Видно, что взаимодействие между компонентами композита в системе ПЭ/УКН-М осуществляется путем охвата волокна полимером. В системах, содержащих поверхностно-модифицированные углеродные волокна наблюдается появление нитеобразных связей между отдельными участками волокна и полимером. Присутствие таких связей в системе позволяет существенно повысить прочность материала при пределе текучести, однако приводит к снижению показателей удлинения композитов, так как при разрушении происходит резкий разрыв связей, в то время как при использовании немодифицированного волокна происходит «скольжение» полимера вдоль волокна.

Заключение

Учитывая результаты физико-механических характеристик, можно ожидать получение труб из разработанного материала с высокими значениями стойкости к постоянному внутреннему давлению и с улучшенными показателями трещиностойкости.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта «Научно-образовательный фонд поддержки молодых ученых Республики Саха (Якутия)» 201302010132.

1. Токарева И.В., Мишаков И.В., Ведягин А.А., Корнеев Д.В., Петухова Е.С., Саввинова М.Е. Модифицирование углеродных волокон для армирования трубного полиэтилена ПЭ80 // Композиты и наноструктуры. — 2014 (6), № 3, 158—167

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ РУБЛЕННЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ ВОЛОКНАМИ

Е.С. Петухова

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия; evgspar@rambler.ru

Цель

Исследование физико-механических свойств и особенностей распределения коротковолокнистого наполнителя в композиционной полиэтиленовой трубе при экструзии.

Объекты исследования.

Исходная и композиционная трубы, изготовленные из полиэтилена марки ПЭ2НТ11-9 (ОАО «Казаньоргсинтез», Россия).

В качестве наполнителя использовалось рубленое углеродное волокно УКН-М-5000 производства ООО НПЦ «Увиком» (длина 5—6 мм, диаметр 5—8 мкм).

Опытная партия труб была изготовлена на экструзионной линии ООО «Эгопласт», Якутск, Россия. Диаметр трубы составлял 63 мм, SDR 11. Волокна вводились в полимер в количестве 10 мас.% смешением ингредиентов в расплаве с последующим экструдированием.

Результаты и их обсуждение

Исследование толщины стенки исходных и модифицированных труб показало, что при одних и тех же условиях экструдирования, толщина стенки модифицированной трубы меньше, однако, отклонение от нормы не наблюдается. Подобный эффект может быть нивелирован подбором оптимальных режимов экструдирования. Отклонение размеров трубы по диаметру также находилось в пределах стандарта. Анализ удлинения трубы после прогрева показал, что деформация отрицательна (происходит усадка материала), как при испытании трубы из исходного материала, так и из композитного материала. Однако усадка исходной трубы составляет 2,2%, а композитной 1,4%.

Результаты исследования физико-механических характеристик труб представлены в табл. 1.

Таблица 1. Физико-механические характеристики труб

	σ_r , МПа	E , МПа	ϵ_p , %	ϵ_r , %
Исходная	21,8	1149,3	687,1	8,3
Дисперсно-армированная	25,0	3423,0	62,5	3,0

Примечание. σ_r — прочность при пределе текучести; E — модуль упругости; ϵ_p — удлинение при разрыве; ϵ_r — удлинение при пределе текучести.

Установлено, что прочность и модуль упругости композиционной трубы на 15% и в 3 раза выше, чем у исходной, соответственно. Деформационные характеристики композитной трубы существенно

ниже исходной, что обусловлено высокой концентрацией волокон и низким уровнем адгезионного взаимодействия.

Исследование качества сварного соединения показало, что стандартные условия сварки позволяют получить сварной шов удовлетворительного качества. Это подтверждается результатами испытаний как шва с нарушением (методика разработана в лаб. № 5 ИПНГ СО РАН), так и стандартными испытаниями, согласно ГОСТ.

Результаты электронно-микроскопического исследования распределения наполнителя в трубе показано на рис. 1.

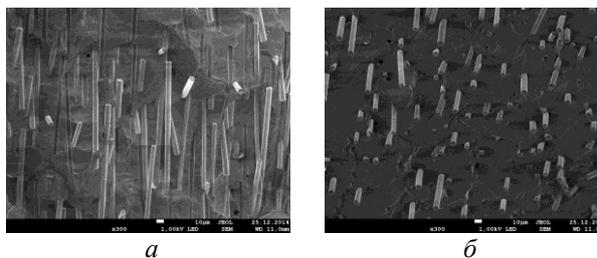


Рис. 1. Распределение волокнистого наполнителя в трубе: а — вдоль трубы; б — поперек трубы

Видно, что волокнистый наполнитель распределяется вдоль направления экструдирования. Анализ электронно-микроскопического снимка поперечного хрупкого скола свидетельствует о том, что наполнитель распределен относительно равномерно. Причем такой результат получен как для внешней, так и для внутренней стенки трубы.

Заключение

Получен опытный образец трубы, модифицированной рубленными углеродными волокнами. Установлено, что все промышленные характеристики такой трубы соответствуют стандартам. Дисперсно-армированная труба характеризуется высокими значениями прочностных характеристик и сниженными деформационными характеристиками. Показано, что более 90% волокон ориентируются вдоль направления экструдирования, что обеспечивает трубе высокие физико-механические характеристики.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта «Научно-образовательный фонд поддержки молодых ученых Республики Саха (Якутия)» 201302010132.

РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ С УЧЕТОМ РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

В.В. Мозгалёв, Н.Р. Прокопчук

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

Цель

Целью работы является создание научных основ для разработки методик оценки качества резинотехнических изделий (РТИ) неразрушающим методом [1] с учетом реальных условий эксплуатации.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования были выбраны РТИ, работающие при статических и динамических нагрузках и при повышенных температурах в различных средах (прокладки, уплотнительные кольца, манжеты, демпферы, уплотнительные профили). К данным изделиям зачастую применяются повышенные требования по качеству, поскольку они могут являться деталями сложных и ответственных механизмов.

В ходе выполнения работы проанализированы существующие методики испытаний резинотехнических изделий разрушающими и неразрушающими методами, а также образцов резин данных РТИ. В зависимости от назначения и условий работы были выбран соответствующий комплекс методик испытаний для каждого типа изделия, а также условия испытаний (вид испытания, температура, скорость испытания).

В работе также исследовалось влияние скорости, величины деформации, и температуры испытаний на определяемые физико-механические показатели.

Результаты и их обсуждение

При определении упруго-прочностных свойств при растяжении проводилось исследование влияния скорости движения траверсы тензометра на получаемые показатели в интервале от 50 до 1000 мм/мин. Выявлено, что характер кривых при данных скоростях испытания (в 20 раз) для большинства резин не меняется, а изменение модуля упругости укладывается в статистическую погрешность за счет разных свойств самих образцов. Таким образом, в данном диапазоне скоростей траверсы, скорость испытания не оказывает существенного влияния на модуль упругости. Учитывая вышесказанное, скорость движения траверсы при растяжении принимали 500 мм/мин.

Исследования показали, что значительно большее влияние на измеряемые физико-механические показатели оказывает температура. В зави-

симости от типа резин, физико-механические показатели, измеренные при комнатной и рабочих температурах могут отличаться на десятки процентов.

После установления оптимальных режимов испытаний с учетом реальных условий работы резинотехнических изделий были проведены испытания как по стандартным методикам, так и методом неразрушающего контроля — методом динамического индентирования [1].

Выяснилось, что наиболее достоверно оценка качества может быть проведена не просто при испытаниях в условиях приближенных к реальным, а при получении всего спектра изменения свойств материала в процессе изменения условий испытаний. Полученные данные позволяют по результатам неразрушающих испытаний выявить определенные корреляции между физико-механическими показателями, полученными различными методами, что дает возможность установить критерии качества РТИ по методикам экспресс-оценки.

Температура испытания на растяжение по-разному влияет на условную прочность при растяжении и относительное удлинение при разрыве для резин различного типа. Поскольку резина является вязкоупругим материалом, а упругая деформация не зависит от температуры, такое поведение свидетельствует о различном сочетании упругой и вязкой составляющей в материалах. Именно вязкая составляющая обуславливает протекание релаксационных процессов в материале РТИ, а также пригодность материала к тем или иным условиям эксплуатации. Метод динамического индентирования особенно чувствителен к сочетанию вязко-упругих свойств резин, поскольку измеряется не квазистатический, а динамический модуль упругости, сильно зависящий от условий испытаний, в частности температуры [2].

Таким образом, степени различия физико-механических показателей при различных температурах и методах испытаний, является одним из критериев экспресс-оценки качества резинотехнических изделий с использованием методов неразрушающего контроля.

1. Рудницкий В. А., Крень А. П. Испытание эластомерных материалов методами индентирования — Минск: Белорусская наука. — 2007
2. Баргенов Г. М., Зуев Ю. С. Прочность и разрушение высокоэластичных материалов — М.: Химия — 1980

ОСОБЕННОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОРФОЛОГИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ

В.Н. Анисимов, Н.М. Евдокименко, М.В. Бурмистр

Украинский государственный химико-технологический университет, Днепрпетровск, Украина;
vn7a@mail.ru

Связь физико-механических и других свойств эластомеров с их структурной организацией является в настоящее время одной из наиболее важных фундаментальных проблем физико-химии высокомолекулярных соединений, имеющей большое прикладное значение при разработке материалов с заданным комплексом свойств, в том числе и триботехнических.

В этом аспекте особый коммерческий интерес вызывают полиуретановые блок-сополимеры (БПУ), которые, в отличие от резиновых эластомеров, имеют возможность изменять в широком диапазоне деформационно-прочностные свойства (от высокоэластичных материалов до жестких пластиков). Немаловажным является и тот факт, что использование БПУ с заданными свойствами за счет рециклинга, в отличие от резин, позволяет существенно снизить экологическую нагрузку.

В работе проведены исследования по установлению закономерностей взаимосвязи деформационно-прочностных, триботехнических и технологических свойств полиуретанов с параметрами структурной организации на молекулярном, топологическом и морфологическом уровнях.

Экспериментальные результаты получено с использованием стандартных методик и современных методов исследований, в том числе оптической микроскопии, вискозиметрии, рентгеноструктурного и термомеханических анализов, а также специальных методик исследования процессов трения и изнашивания БПУ в условиях отсутствия смазки, в воде, в потоке абразивных частиц.

Предложено в качестве основных параметров, которые контролируют макроскопические свойства широкой номенклатуры БПУ, рассматривать концентрацию жестких блоков в их цепях P_c , которая пропорциональна концентрации высокомолекулярной микрофазы жестких блоков в объеме полиуретана, и строение олигогликольного компонента $M_{ог}$ разной молекулярной массы (от 500 до 2000).

Установлены характерные точки содержания жестких блоков P_{c1} и P_{c2} , которые отвечают условиям геометрических фазовых переходов, что способствует резкому изменению характера концентрационных зависимостей. С повышением молекулярной массы олигогликоля значения концентрационных точек P_{c1} и P_{c2} смещаются в сторону меньших величин, а увеличение степени кристалличности БПУ, наоборот, смещает P_{c1} в сторону больших значений. Установлены условия образования оптимальной фа-

зовой морфологии

$$(P_{c1} \leq P_c \leq P_{c2}).$$

Разработано методика прогнозирования свойств БПУ и композиционных материалов на их основе в зависимости от объемной доли микрофазы жестких блоков и молекулярной массы олигогликолей. Доведено ее эффективность при объяснении и прогнозировании взаимодействия состава, структуры и свойств рассмотренных блок-полиуретанов.

Выявлено синергичный эффект повышения деформационно-прочностных свойств блок-полиуретановых композиций при условии образования геометрической фазовой морфологии с минимальным размером частиц гетерофазы.

Показано, что оптимальной будет структура, при которой с одной стороны наибольшая вероятность реализации свойств микрофазы жестких блоков по обеспечению высокой прочности, а с другой — сохранение свойств полимера-матрицы по обеспечению достаточной эластичности.

Предложенный подход к описанию свойств БПУ, основанный на перколяционном анализе, является эффективным в точки зрения объяснений и прогнозирования взаимодействия состава и свойств, в том числе триботехнических, полиуретановых блок-сополимеров.

На основе БПУ из оптимальной фазовой морфологией разработаны промышленные композиты, наполненные тонкодисперсным графитом, салицилатом меди, аминовоском, фторопластами, полиэлектролитным комплексом, металлическим порошком. Композиции характеризуются повышенной износостойкостью в условиях трения без смазки, минимальными значениями коэффициента трения, высокими значениями коэффициента теплопроводности, низкой чувствительностью к напряжениям сдвига и расширенным интервалом температуры переработки.

Промышленные испытания и внедрение деталей из разработанных композиционных материалов в узлах трения машин и механизмов в качестве направляющих скольжения, опор роликов, герметизаторов, элементов передаточных устройств подтвердили их высокую эффективность в сравнении с существующими аналогами. Экономический эффект получен за счет увеличения долговечности работы узлов трения, сокращения затрат на ремонтные и профилактические работы.

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИВИВОЧНО-НАПОЛНЕННЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИОЛЕФИНОВ И АКРИЛОВЫХ МОНОМЕРОВ

Н.Т. Кахраманов, У.М. Мамедли, Н.Б. Арзуманова

Институт полимерных материалов НАН Азербайджана, Сумгаит, Азербайджан; najaf1946@rambler.ru

Цель данного исследования заключается в исследовании структурных характеристик новых типов наполненных композитов, полученных в процессе введения минерального наполнителя на стадии привитой сополимеризации акриловых мономеров с полиолефинами в растворе режиме.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования использовали полиэтилен высокой плотности (ПЭВП), этилен-пропилен-диеновый каучук (СКЭПТ) и высокодисперсные минеральные наполнители — стеклосфера, каолин, аэросила, Al_2O_3 , шлам-отходы алюминиевого завода. Синтез прививочно-наполненных сополимеров осуществляли по комплексо-радикальному механизму в растворе бензола и нитрила акриловой кислоты (НАК) или МАК. Путем регулирования температуры, концентрации мономера и иницирующей системы представлялось возможным получить графтсополимеры (без гомополимера) с определенной длиной и частотой распределения привитых цепей. Структурные параметры привитых цепей были определены по результатам исследования кинетических закономерностей процесса графтсополимеризации.

Результаты и их обсуждение

Следует отметить, что структура поверхности наполнителя, типы полярных групп, принимают одновременное участие в формировании физической и физико-химической связи полимер-наполнитель. Адсорбция макромолекул на поверхности наполнителя сопровождается ориентацией макроsegmentов с образованием плотных граничных слоев. В зависимости от способа введения наполнителя в полимерную матрицу меняется и механизм взаимосвязи полимер-наполнитель. Согласно данным электронной микроскопии поверхность стеклосферы, введенной на стадии привитой сополимеризации, характеризуется формированием полимерной «шубы» в виде плотных граничных слоев.

Основываясь на многочисленных экспериментальных данных можно установить, что взаимодействие наполнителей с полимерами наиболее заметно в случае аморфных полимеров. И, чем более жесткой является связь полимер-наполнитель, тем лучше свойства композитов на основе аморфных полимеров и хуже в случае кристаллических. Если такие наполнители, как Al_2O_3 , каолин, аэросила влияют на кристалличность и размеры кристаллитов привитого сополимера, то композиты, содержащие асбест характеризуются кристалличностью на уровне исход-

ного ПЭВП. Кристалличность больше в тех образцах, в которых наполнитель выполняет функции зародыша кристаллизации. В противном случае наполнитель, скапливаясь преимущественно в менее упорядоченных областях, еще больше увеличивает рыхлость и дефектность структуры. Введение наполнителя на стадии синтеза способствует увеличению кристалличности от 43% (в случае исходного ПЭВП) до 52—57%, а в случае ПЭВП, наоборот, от 73% и ниже. При анализе дифрактограмм наполненных привитых сополимеров были выявлены ряд характерных особенностей, связанных с формированием кристаллической фазы. Было установлено, что с увеличением содержания шлама от 14 до 57 мас.% в рентгенограммах наблюдаются характерные рефлексы в области $18^{\circ}18'$, $20^{\circ}50'$, $26^{\circ}40'$, $36^{\circ}30'$, $39^{\circ}30'$, $42^{\circ}26'$. Попарно сравнивая дифрактограммы образцов механически наполненного шлама и шламонаполненного привитого сополимера, можно установить некоторые их смещения. Последнее обстоятельство позволяет утверждать, что выявленные смещения рефлексов шлама являются результатом хемосорбционного взаимодействия в процессе образования минерально-полимерной структуры. Анализ термограмм исходного ПЭВП и его привитых сополимеров показал на уменьшение интенсивности пика плавления. Установленный факт является следствием образования физических узлов пространственной сетки с участием привитых цепей. Ассоциаты привитых цепей образовывали своеобразный «каркас», обволакивающий сферолитную структуру ПЭ. Благодаря именно этой особенности структуры привитых сополимеров представлялось возможным сдерживать быстрый термофлюктуационный распад кристаллической фазы, сопровождаемый некоторым повышением температуры плавления. Появление экзотермического пика в области $227—247^{\circ}C$ характерно для ПЭ различных типов и связано с протеканием окислительных процессов окисления. Для привитых и прививочно-наполненных сополимеров максимум экзотермического пика смещается в область высоких температур — $250—280^{\circ}C$. Причем высота экзотермического пика пропорциональна степени прививки и интерпретируется высокой термостойкостью графтсополимеров и способностью привитых полиакрилонитрильных цепей к сшивке с образованием конденсированных структур. Если в обычных наполненных композитах взаимодействие полимер-наполнитель строится на чисто физической основе, то в привитых сополимерах дополнительно устанавливается стереохимическая связь.

СИНТЕЗ СУЛЬФИРОВАННЫХ ПОЛИ-1,3,4-ОКСАДИАЗОЛОВ

В.С. Ященко, В.К. Ольховик

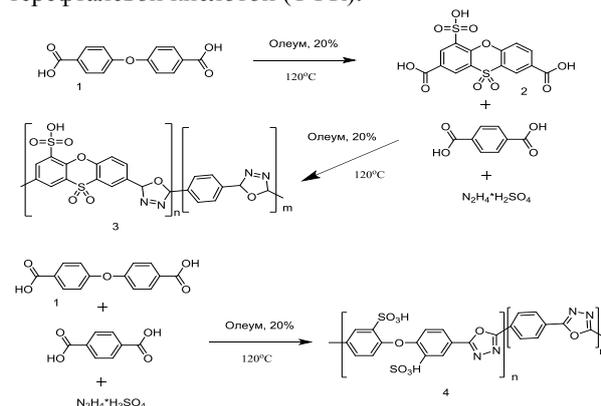
Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь; Yashchenko-Vladimir@tut.by

Постоянно растущее внимание исследователей к топливным элементам и их ключевым компонентам — полимерным протонпроводящим мембранам — обуславливает необходимость поиска новых путей синтеза полимерных электролитов. Наибольший интерес представляют твердополимерные мембраны, в которых протогенные группы соединены с макромолекулами полимера ковалентными связями. Такие системы обычно получают либо соответствующей обработкой (сульфированием или фосфорилированием) готовых высокомолекулярных соединений, либо полимеризацией мономеров, содержащих сульфокислотные и фосфорнокислотные группы [1, 2]. В последние годы активно исследуются мембраны на основе поликонденсационных полимеров, которые обладают высокой термостабильностью и гораздо дешевле перфторированных полиэлектролитов. Одной из такой групп полимеров являются поли-1,3,4-оксадиазолы (ПОД-полимеры). Известны немногочисленные примеры синтеза ПОД-полимеров, содержащих протогенные группы сульфо- [3] и фосфорной кислоты [4] в макромолекуле. Однако, как отмечали сами авторы, полученные полиэлектролиты имели неудовлетворительные физико-механические характеристики, и не показали высоких значений протонной проводимости.

С целью получения новых ПОД-полимеров, обладающих ионообменными свойствами, был разработан метод синтеза сополимеров поли(1,3,4-оксадиазол-2,5-диил-1,4-фенилена), содержащих в полимерной цепи 4-сульфо-10,10-диоксофеноксатиновый (3) или 4,4'-оксибис[3-(сульфонил)бензойный] (4) фрагменты.

Ранее нами было показано, что взаимодействие 4,4'-оксидибензойной кислоты с сильными серосодержащими электрофилами, такими как олеум или хлорсульфоновая кислота протекает с образованием 4-(сульфо)-10,10-диоксо- λ^6 -феноксатиин-2,8-дикарбоновой кислоты (2) [5]. Последняя может быть использована для получения полимерных полиэлектролитов, содержащих протогенные сульфогруппы. Было показано, что дикислота (2) довольно легко взаимодействует с терефталевой кислотой (ТФК) и сульфатом гидразина в олеуме с образованием ПОД-сополимера (3). Учитывая особенности взаимодействия 4,4'-оксидибензойной кислоты с олеумом, для синтеза ПОД-сополимеров (3), была предложена одностадийная схема, заключающаяся в непосредственной поликонденсации 4,4'-оксидибензойной кислоты с ТФК и сульфатом гидразина. На первой стадии 4,4'-оксидибензойную кислоту (1) нагревали

в 20% олеуме при температуре 120 °С в течение 2 часов. В этих условиях образуется раствор 4-(сульфо)-10,10-диоксо- λ^6 -феноксатиин-2,8-дикарбоновой кислоты (2), которая без выделения использовалась в поликонденсации с гидразинсульфатом и терефталевой кислотой (ТФК).



Также было обнаружено, что при проведении реакции поликонденсации без предварительного прогревания 4,4'-оксидибензойной кислоты (1) в олеуме при температуре 120 °С не происходит образование феноксатиновой группировки, а образуется ПОД-сополимер (4), содержащий в полимерной цепи фрагмент 2,2'-оксидибензолсульфокислоты. Структура полученных соединений подтверждается данными ИК-, ПМР-спектроскопией и элементным анализом.

ПОД-сополимеры (3,4) с содержанием 20—40% 4-сульфо-10,10-диоксофеноксатинового или 4,4'-оксибис[3-(сульфонил)бензойного] фрагментов демонстрируют высокую ионообменную способность, хорошее водопоглощение, и сохраняют высокую термо- и механическую прочность, присущую поли-пара-фенилен-1,3,4-оксадиазолу. Полученные сополимеры могут представлять интерес в качестве материала для протонпроводящих мембран топливных элементов.

1. Иванёв С.С., Мякин С.В. // Успехи химии. — 2010 (79), 117—134
2. Русанов А.Л., Солодова Е.А., Булычева Е.Г., Абади М., Войтекунас В.Ю. // Успехи химии. — 2007 (76), 1145—1156
3. Gomes D. and Roeder J., Ponce M. L., Nunes S. P. // Journal of Power Sources. — 2008, no. 175, 49—59
4. Shapov A.S., Losinskaya E.I., Odinetz I.L., et al // Reactive & Functional Polymers — 2008 (68), 208—224
5. Yashchenko V.S., Pap A.A., Kalechits G.V., Makey A.V., and Ol'khovik V.K. // Chemistry & Heterocyclic Compounds. — 2015 (10), 1470—1476

КИНЕТИКА ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ Zn-Ni/SiO₂ В ПОЛЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Н.Г. Валько, Д.В. Лавыш, А.Г. Гилевич

Гродненский государственный университет им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь; N.Valko@grsu.by

Цель

Целью исследования являлось изучение кинетических закономерностей и электродных процессов при электроосаждении композиционных покрытий Zn-Ni/SiO₂ из слабокислых, сульфатных электролитов с содержанием наночастиц SiO₂, равным 1 г/л.

Материалы и методы

Изучение рассеивающей способности электролитов по металлу (РС_м) проводилось в щелевой ячейке Молера согласно ГОСТ 9.309 [1]. В качестве электродов в катодном блоке были использованы пластины из алюминия. Относительная погрешность метода не превышала 5%.

Для изучения кинетики электроосаждения был выбран метод полярографии. Полярографические кривые были получены с помощью полярографа ПУ-1, блока сопряжения ГРАФИТ-2 и трехэлектродной ячейки при положительной развертке. Электродом сравнения служил хлорсеребряный электрод (Х.С.Э.) ЭВЛ-4, который был помещен в электролитический ключ 1Е5.184.412, заполненный насыщенным раствором хлористого калия, подведенный к обратной стороне катода.

Результаты и их обсуждение

Результаты исследования рассеивающей способности электролитов, из которых проводилось электроосаждение композиционных покрытий Zn-Ni/SiO₂, показали, что рассеивающая способность электролитов не снижается при добавлении в них наночастиц SiO₂ (рис. 1). Рассеивающая способность электролитов для осаждения сплава Zn-Ni и КЭП на его основе Zn-Ni/SiO₂, практически одинакова. Низкая рассеивающая способность данных электролитов связана с тем, что в слабокислом электролите разряд ионов металла происходит только из простых гидратированных ионов. Исследования рассеивающей способности данных электролитов при воздействии рентгеновского излучения показали, что облучение электролита для осаждения сплава Zn-Ni увеличивает рассеивающую способность на 30,4%. В случае облучения электролита для осаждения КЭП Zn-Ni/SiO₂ рассеивающая способность его возрастает в два раза.

Увеличение рассеивающей способности дан-

ных электролитов обусловлено не только повышением электропроводности вследствие радиолиза, но и уменьшением скорости и интенсивности восстановления водорода на катоде, поскольку на распределение тока и металла по поверхности катода значительное влияние оказывают побочные реакции, к которым, прежде всего, относится выделение водорода.

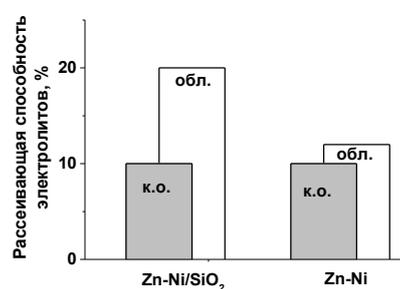


Рис. 1. Рассеивающая способность электролитов для осаждения покрытий сплавом Zn-Ni и КЭП Zn-Ni/SiO₂ без облучения (к.о.) и под облучением (обл.)

Анализ полярографических кривых, полученные при электроосаждении Zn-Ni/SiO₂ при воздействии рентгеновского излучения и без, показал, что поляризационные кривые в основной своей части лежат в области отрицательных потенциалов. С увеличением времени электроосаждения потенциалы восстановления смещаются в электроотрицательную область, что может свидетельствовать об увеличении концентрации гидроксидов и окислов восстанавливаемых металлов в прикатодном слое. Действие рентгеновского излучения, напротив, приводит к смещению потенциалов восстановления в электроположительную область, что указывает на уменьшение гидроокисной пленки на катоде и улучшению качества покрытия, что хорошо коррелирует с результатами исследования рассеивающей способности электролитов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь.

1. Покрытия гальванические. Определение рассеивающей способности электролитов при получении покрытий: ГОСТ 9.309-86 — Введ. 21.01.86. — Минск: Госстандарт. — 1986
2. Хенли Э., Джонсон Э. Радиационная химия. — М.: Атомиздат. — 1974

ДИАГНОСТИКА ИЗМЕНЕНИЙ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ В ОБЛАСТИ БЛИЖНЕГО УПОРЯДОЧЕНИЯ КСЕРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ЖИДКОГО СТЕКЛА МОДИФИЦИРОВАННОГО СОЛЯМИ МЕТАЛЛОВ

Н.С. Скорикова¹, А.Д. Фофанов¹, Е.Ф. Кудина²

¹Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия; nielev@petsu.ru

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

Цель

Получение и анализ структурных характеристик исходных и модифицированных образцов ксерогелей методами рентгеноструктурного анализа и компьютерного моделирования.

Материалы и методы исследования

Немодифицированный ксерогель был получен из водного раствора щелочного силиката (ВРС) при дегидратации до постоянного веса при 200 °С. В качестве ВРС использовали стандартное натриевое жидкое стекло (ЖС, ГОСТ 13078, силикатный модуль $n = 2,9 \pm 0,1$ плотность $\rho = 1,45 \text{ г/см}^3$). Основной компонент дегидратированного ВРС представляет трисиликат натрия.

Композиции ЖС-металл формировали из смесей, полученных при введении в раствор ЖС водных растворов модификатора, в роли которого использовали соли металлов Ti_2O_5 , NiSO_4 , CoSO_4 и FeCl_2 . Полученные смеси отфильтровывали до постоянного значения pH фильтрата, дегидратировали на воздухе и сушили при 325—330 К, после чего диспергировали и просеивали.

Исследования атомной структуры проводили методом рентгеноструктурного анализа. Рентгенограммы получены на дифрактометрах типа ДРОН в CuK_α и MoK_α излучениях. Рентгенографирование проводилось в геометрии на отражение и на просвет в интервале углов 2θ от 2 до 145°.

Результаты эксперимента были обработаны с использованием метода Уоррена-Финбака в сочетании с методами компьютерного моделирования.

Результаты экспериментов и их обсуждение

Из анализа кривых распределения интенсивности рассеяния рентгеновских лучей сделан вывод, что во всех системах возникают регулярно расположенные неоднородности электронной плотности. При этом, если на дифракционной картине систем ЖС-Со и ЖС-Ni практически не наблюдается отражений от кристаллических включений, на рентгенограммах ЖС-Ti проявляются более заметные следы линий фаз оксида титана и оксалата натрия, то на рентгенограммах ЖС-Fe наблюдаются уже более интенсивные линии от фаз NaCl и FeO(OH) .

Для всех исследуемых образцов были рассчитаны характеристики ближнего порядка (координационные числа, радиусы координационных сфер). Выявлено, что возникающий в результате модифицирования характер расположения атомов в области ближнего упорядочения отличается от такового в кристаллах близкого химического состава. Возможная причина данного несоответствия — возникновение концентрационных и структурных неоднородностей на субнанометровом уровне. Поэтому предпринята попытка описания этих неоднородностей в рамках модели механической смеси ультрамалых кристаллитов различной природы. Отбор наиболее вероятных моделей осуществлялся на основании сравнения полученных экспериментальных кривых рассеяния $I(S)$, S -взвешенных интерференционных функций $H(S)$ и функций радиального распределения атомов с теоретически рассчитанными для структурных моделей. На рис. 1 приведена кривая распределения интенсивности рассеяния $I(S)$ для образца ксерогеля, модифицированного хлоридом железа и соответствующего модельного объекта. Условные концентрации для модели, подобранной для системы ЖС-Fe: 2% — $\text{Na}_2\text{Si}_3\text{O}_7$, 30% — $\alpha\text{-SiO}_2$, 36% — FeO(OH) , 32% — NaCl .

рядочения отличается от такового в кристаллах близкого химического состава. Возможная причина данного несоответствия — возникновение концентрационных и структурных неоднородностей на субнанометровом уровне. Поэтому предпринята попытка описания этих неоднородностей в рамках модели механической смеси ультрамалых кристаллитов различной природы. Отбор наиболее вероятных моделей осуществлялся на основании сравнения полученных экспериментальных кривых рассеяния $I(S)$, S -взвешенных интерференционных функций $H(S)$ и функций радиального распределения атомов с теоретически рассчитанными для структурных моделей. На рис. 1 приведена кривая распределения интенсивности рассеяния $I(S)$ для образца ксерогеля, модифицированного хлоридом железа и соответствующего модельного объекта. Условные концентрации для модели, подобранной для системы ЖС-Fe: 2% — $\text{Na}_2\text{Si}_3\text{O}_7$, 30% — $\alpha\text{-SiO}_2$, 36% — FeO(OH) , 32% — NaCl .

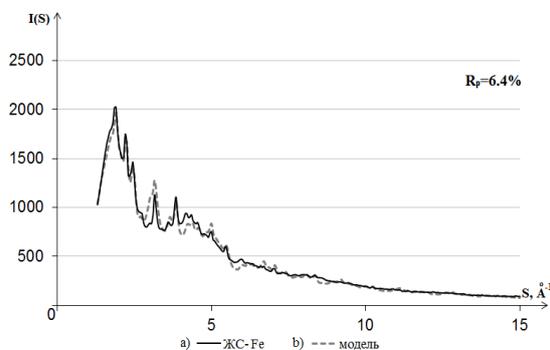


Рис. 1. Кривые распределения интенсивности рассеяния (в электронных единицах) для образца ксерогеля, модифицированного хлоридом железа (а) и модельного объекта (б)

Заключение

Для всех исследуемых образцов предложены модели в виде смеси субнаноразмерных областей когерентного рассеяния различного состава и структуры. Данные модели удовлетворительно описывают структурно-неоднородное состояние исследуемых материалов в пределах первых координационных сфер. Установлено, что тип возникающих неоднородностей определяется как катионом металл-модификатора, так и анионом соли (в частности, катионы натрия в процессе модифицирования взаимодействуют с анионами солей, чем вызывают возрастание доли областей когерентного рассеяния, обедненных натрием).

ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ И ВЯЗКОГО ТЕЧЕНИЯ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДАВЛЕНИЯ

С.Б. Булгаревич, М.В. Бойко

Ростовский государственный университет путей сообщений, Ростов, Россия, bulgarevich@rambler.ru

В зоне непосредственного фрикционного контакта развиваются высокие давления, порядка 10^9 Па. Представляло интерес выяснить, в какой мере эффективная энергия активации термоактивированных химических реакций в этой зоне подвержена влиянию давления. Зависимости константы скорости химической реакции от температуры и давления передаются через частные производные её логарифмов по температуре T и давлению P уравнениями Аррениуса (1) и Эйринга (2).

$$\frac{\partial \ln k_c}{\partial T} \Big|_P = \frac{E_a}{RT^2}, \quad (1) \quad \frac{\partial \ln \zeta_c}{\partial P} \Big|_T = -\frac{\Delta V^\ddagger}{RT}. \quad (2)$$

Здесь E — энергия активации химической реакции; ΔV — мольный объем активации химической реакции, равный разности мольного объема переходного состояния и сумм мольных объемов исходных реагентов; R — универсальная газовая постоянная. В известной нам литературе нет кинетического рассмотрения того, как эффективная энергия активации химической реакции в растворах может зависеть от давления. Исходя из (1) и (2), выражение (3) для дифференциала $d \ln \zeta$ как функции температуры и давления будет:

$$d \ln \zeta_c = \frac{E_a}{RT^2} dT - \frac{\Delta V^\ddagger}{RT} dp. \quad (3)$$

Считали, что $k = k(T, P)$ — непрерывная функция температуры и давления, а вторые частные производные не зависят от порядка дифференцирования (4):

$$\frac{\partial}{\partial P} \left(\frac{E}{RT^2} \right) = -\frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{\Delta V^\ddagger}{RT} \right). \quad (4)$$

Нашли общий вид функции $k = k(T, P)$, удовлетворяющей (1), (2) и (4).

$$k = \zeta_0 \exp \left(-\frac{E_a^\ddagger + \Delta V^\ddagger}{RT} \right). \quad (5)$$

Давление P отсчитывали от стандартного P° : $P = P^\circ + \Delta P$. Здесь E — энергия активации химической реакции при стандартных условиях, k — константа скорости химической реакции при этих условиях. Предполагали, что активационные параметры E , ΔV не зависят от температуры и давления. Тогда эффективная энергия активации E реакции в растворах в зависимости от давления выражается уравнением (6):

$$E_a = E_a^\circ + \Delta V^\ddagger. \quad (6)$$

Сделаны оценки для изменения эффективной энергии активации E реакций в зависимости от давления по формуле (6). Это изменение в зоне непосредственного фрикционного контакта может быть до 45% от первоначальной величины E при $\Delta P = 10^9$ Па в случае адсорбции и до 24% в случае химических превращений. Эти величины больше погрешности определения величин E , имеющей порядок RT для разных кинетических теорий.

Аналогично найдена зависимость вязкого течения от температуры и давления:

$$\eta = \eta_0 \exp \left(-\frac{E_a^\ddagger + \Delta V^\ddagger}{RT} \right), \quad (7)$$

в которой $E_a = E_a^\circ + \Delta V^\ddagger$ рассматривается как эффективная энергия активации вязкого течения, а E — как стандартная энергия активации вязкого течения. Здесь также предполагается, что величины E , ΔV и предэкспоненциальный множитель η_0 не зависят от температуры и давления. Показано, что величина

$$\alpha = \frac{\Delta V^\ddagger}{RT}, \quad (8)$$

где ΔV — мольный объем активации вязкого перескока соответствует известному уравнению Баруса:

$$\eta = \eta_0 \exp(\alpha). \quad (9)$$

Здесь η_0 — вязкость при стандартном давлении, α — пьезокоэффициент вязкости. Уравнение (8) — кинетическая интерпретация пьезокоэффициента вязкости α . Исходя из экспериментальных данных, были найдены величины α , а по ним величины мольного объема активации вязкого перескока ΔV^\ddagger в соответствии с формулой (8). Для масла МС и трансформаторного масла $\alpha = 2,4 \cdot 10^{-8}$ Па⁻¹, $\Delta V^\ddagger = 60$ см³/моль; для касторового масла $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-8}$ Па⁻¹, $\Delta V^\ddagger = 30$ см³/моль; для синтетического масла $\alpha = 1,3 \cdot 10^{-8}$ Па⁻¹, $\Delta V^\ddagger = 32$ см³/моль; для вазелинового масла $\alpha = 2,8 \cdot 10^{-8}$ Па⁻¹, $\Delta V^\ddagger = 69$ см³/моль; для турбинного масла $\alpha = 2,2 \cdot 10^{-8}$ Па⁻¹, $\Delta V^\ddagger = 54$ см³/моль; для веретенного масла $\alpha = 1,8 \cdot 10^{-8}$ Па⁻¹, $\Delta V^\ddagger = 45$ см³/моль.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-29-00116).

ФОТОИНДУЦИРОВАННАЯ АНИЗОТРОПИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК АЗОКРАСИТЕЛЯ С ДОБАВКОЙ ПММА

В.С. Микулич, В.С. Безрученко, Ал.А. Муравский

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

Известны различные азокрасители для фотоориентации жидких кристаллов, которые термо- и фотостабильны, обладают высокой фотоиндуцированной энергией сцепления с ЖК [1]. Важным условием их использования — это получение однородных аморфных пленок. Увеличить значения фотоиндуцированной анизотропии возможно при использовании метода «род коатинга» [2] или введением добавок, которые препятствуют агрегации и кристаллизации при нанесении азокрасителей, в частности: полимеров.

Цель

Целью настоящего исследования является изучение влияния концентрации полиметилметакрилата (ПММА) на скорость фотоориентации молекул азокрасителя калий AtA-2 (3,7-бис[1-(4-гидрокси-3-карбоксилат)фенилазо]-5,5'-диоксодибензотиофена) в тонких пленках и определение минимальной концентрации полимера, при которой оптическая толщина получаемых тонких пленок достигает наибольших величин, а значения фотоиндуцированного DR при одной дозе облучения максимальны и сохраняются на протяжении длительного времени.

Материалы и методы

Очищенные стеклянные подложки дополнительно активировали на установке УФ-очистки Photo Surface processor PL 16-110D, SEN Lights Corp., Япония. Формирование тонких пленок композитов осуществляли методом «род коатинга» из 2% растворов в ДМФА при линейной скорости нагревательного столика 1 см/с и температуре 55 °С. Полученные образцы сушили в течение 30 минут в вакуумном сушильном шкафу при 5 мм.рт.ст. и температуре 70 °С.

Поляризованные спектры поглощения записывали на спектрометре УФ/видимого диапазона (Ocean Optics Maya2000Pro, США) и облучали поляризованным светом ($\lambda_{\max} = 457$ нм, мощность 15 мВт/см²) 10 минут и находили дихроичное отношение (DR) для каждого образца по формуле $DR = A_{\perp}/A_{\parallel}$, где A_{\parallel} и A_{\perp} — поглощение линейно поляризованного света зондирующего излучения соответственно в параллельном и перпендикулярном направлении относительно поляризации экспонируемого излучения.

Результаты и обсуждения

При концентрации ПММА 5 мас.% (по отношению к массе красителя) оптическая толщина тонких пленок (80—200 нм) максимальна (0,19 ед.погл.), а при дальнейшем увеличении кон-

центрации полимера поглощение уменьшается (рис. 1). Такая зависимость может быть обусловлена увеличением вязкости раствора при 5% ПММА, а падение поглощения связано с уменьшением концентрации красителя в получаемой пленке.



Рис. 1. Зависимость поглощения от концентрации ПММА

После облучения полученных тонких пленок композита значения DR выше (DR более 9) по отношению к слоям азокрасителя AtA-2 (DR = 7) (рис. 2). Однако спустя 7 дней во всех образцах с добавкой ПММА наблюдается частичное разупорядочивание молекул азокрасителя, выраженное в уменьшении значения ДО. Через 10 дней в образцах с концентрацией ПММА менее 5% дальнейшее разупорядочивание не наблюдалось.

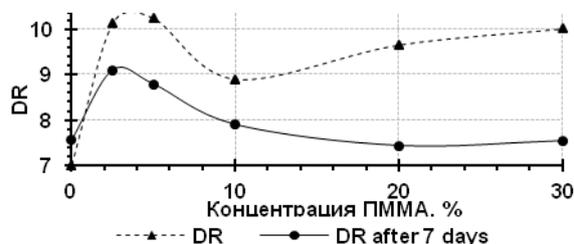


Рис. 2. Зависимость DR от концентрации полимера

Также исследовались тонкие слои композита при низкой концентрации полимера (0—5%). Установлено, что при концентрации 3% ПММА ДО и оптическая толщина тонких пленок композита достигают максимальных значений и сохраняются на протяжении продолжительного времени (1 месяц).

Таким образом, наличие ПММА до 5% в слое азокрасителя AtA-2 способствует фотоориентации молекул красителя, что обусловлено получением однородных аморфных тонких пленок композита.

- Mikulich V., Murauski A., Muravsky A., Agabekov V., and Bezruchenko V. Waterproof Material for Liquid Crystals Photoalignment Based on Azo Dyes // J. of SID. — 2014 (22), no. 4, 199—203
- Муравский Ал.А., Муравский Ан.А., Микулич В.С., Агабеков В.Е. Влияние условий нанесения на качество фотоориентируемых пленок азокрасителей с межмолекулярными связями // Вестник МГОУ. — 2013, № 1, 48—50

СТУПЕНЧАТАЯ АКТИВАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИЭФИРНЫХ ВОЛОКОН ДЛЯ ВОДОСТОЙКОЙ ОГНЕЗАЩИТНОЙ ОБРАБОТКИ

О.В. Рева, В.В. Богданова, А.Н. Назарович, А.С. Лукьянов

Командно-инженерный институт МЧС Минск, Беларусь

Введение

Волокнистые полиэфирные материалы (ВПМ), утеплители и наполнители повсеместно используются для изготовления одежды, мебели, предметов интерьера и др. Полиэфирное волокно прочное, упругое, эластичное, свето- и термостойкое, износостойкое, гигиеничное, химически и морозоустойчивое, однако высокогорючее, особенно в виде воздушно наполненных нетканых изделий. Для придания огнестойкости ВПМ обрабатывают органическими производными галогенов, фосфора, азота, сурьмы и висмута, которые обладают высокими способностями ингибировать процесс горения как в газовой, так и в конденсированной фазе, но при высоких температурах превращаются в ядовитые соединения. Огнезащитная обработка полиэфирных материалов нетоксичными нестехиометрическими рентгеноаморфными металлофосфатами осложняется тем, что неорганический ингибитор горения либо не закрепляется на инертной полиэфирной матрице, либо вымывается при стирке. Возможным решением проблемы может быть создание на поверхности полимера интермедиативных слоев по методу химической наносборки, суть которого заключается в ориентированной хемосорбции соединений, имеющих функциональные группы, с образованием пространственных структур с ориентированными наружу группами, обеспечивающих химическое взаимодействие «матрица—модификатор» [1—3]. Перспективным интермедиатом для хемопривязки антипиренов к инертным полимерам могут быть коллоидные частицы соединений олова, которые способны сорбироваться на очень гладких и химически инертных диэлектриках и затем при дальнейших обработках образовывать мостиковые связи.

Целью данной работы было создание на поверхности полимера интермедиативных нанослоев, к которым при дальнейших обработках методом ионного обмена или ориентированной хемосорбции может произойти химическая «пришивка» аммонийно-фосфатных неорганических антипиренов.

Результаты и их обсуждение

В результате комплексных исследований разработан метод ступенчатой огнезащитной обработки полиэфирных волокнистых материалов: 1) щелочными растворами, в которых на поверхности полимера появляются раскрытые функциональные группы; 2) органозолями SnCl_2 , содержащими коллоидные частицы с размерами не более 20 нм, которые образуют на активированной поверхности хемосорбированный интермедиативный нанослой; 3) суспензиями неорганических антипиренов, взаимодействующими с нанослоем соединений Sn(II) . Эта обработка позволила не только придать полиэфирным волокнам огнестойкость на уровне трудногорючих материалов, но и обеспечить устойчивость огнезащитного эффекта к стиркам.

Данные просвечивающей электронной микроскопии свидетельствуют, что химически активный интермедиативный слой соединений Sn(II) на поверхности полиэфира образуется только при наличии в объеме органозоля SnCl_2 значительного количества частиц с размерами менее 20 нм.

Исследование химического состава приповерхностной зоны полиэфирного волокна методом рентгенофотоэлектронной спектроскопии показало, что в спектрах ступенчато огнезащищенного ВПМ появляются пики, соответствующие соединениям азота и фосфора в составе антипирена, рис. 1, а также связям азота и фосфора с углеводородными радикалами подложки. Без промежуточной обработки органозолями соединений Sn(II) эти пики в спектрах ВПМ практически отсутствуют.

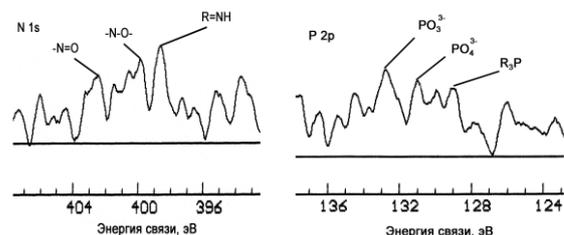


Рис. 1. РФЭ-спектры поверхности огнезащищенного лавсана с промежуточной обработкой перед нанесением антипирена соединениями олова

Таким образом, условия ступенчатой обработки полиэфирных материалов обеспечивают придание ВПМ огнестойких свойств, устойчивых к стирке, за счет химического взаимодействия в системе полиэфир—активатор—антипирен.

Огневые испытаниями доказано, что полученная «химической микросборкой» комплексная система с организованными связями обеспечивает перманентную огнезащиту ВПМ на уровне ПВ-0.

1. Химия привитых поверхностных соединений / Под ред. Г.В. Лисичкина. — М: Физматлит. — 2003
2. Алесковский В.Б. Химико-информационный синтез. — С.Пб: Изд. С.Петербургского ун-та. — 1998
3. Рева О.В., Богданова В.В., Шукело З.В. Химическая привязка огнезащитных композиций к полиэфирной матрице // Свиридовские чтения: Сб. статей. — Мн.: БГУ. — 2013, Вып. 9, 158—168

DIFFERENT APPROACHES TO THE CALCULATION OF INTERFACIAL STRENGTH PARAMETERS IN THE PULL-OUT AND MICROBOND TESTS

S.F. Zhandarov¹ and E. Mäder^{2,3}

¹Metal-Polymer Research Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus;
serge.zhandarov@gmail.com

²Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V., Dresden, Germany

³Institute of Materials Science, Technische Universität Dresden, Dresden, Germany

The pull-out and microbond tests are widely used for interfacial bond strength investigation in fiber–matrix systems. In these tests, an adhesional contact is formed between the studied fiber and a matrix droplet, and after matrix consolidation, the fiber is pulled out of the matrix, and the applied force is recorded as a function of the displacement of the loaded fiber end. Though these tests are experimentally extremely simple, the question of proper bond strength determination (i.e. obtaining a specific numerical value) remains rather ambiguous. At least eight different approaches to bond strength determination in the pull-out and microbond tests have been proposed, apart from many mathematical models of the fiber pull-out and calculation of adhesion strength parameters within each approach.

These approaches can be classified according to the following alternative features: averaged/local (determination of “apparent” or local interfacial shear strength (IFSS)); stress-based/energy-based (is the adhesion strength parameter and failure criterion local IFSS, τ_d , or critical energy release rate, G_{ic}); direct/indirect (is the adhesional strength determined from individual force–displacement curves or estimated from the data obtained for a set of specimens). Some of these approaches explicitly include fiber–matrix friction as a separate interfacial parameter, and the other hide the effect of friction in an “effective” adhesional strength value. Since theoretical comparison of different methods of the pull-out and microbond data treatment has not revealed a sole generally recognized one, it seems to be interesting to compare these methods experimentally.

In our previous paper [1] we have shown that the peak force recorded in the pull-out and microbond experiments can be presented as

$$F_{\max} = F_{\max}(p_{\text{adh}}, \tau_f, l_e, \dots), \quad (1)$$

where p_{adh} is the adhesion strength parameter (τ_d or G_{ic}); τ_f is the interfacial frictional stress in debonded regions; l_e is the embedded fiber length, and other parameters on the right side characterize mechanical and thermal properties of the fiber and the matrix common for all specimens. Therefore, it makes sense to represent experimental data as a plot of F_{\max} versus l_e (points in Fig. 1). This plot can also include theoretical curves corresponding to different approaches (solid lines); these differ from each other in the mathematical form of the right side in Eq. (1) and in numerical values of the adhesional and frictional parameters estimated using the pull-out and microbond tests. The approach which yields the

smallest discrepancy between its theoretical curve and experimental points can be regarded as the “optimal” one.

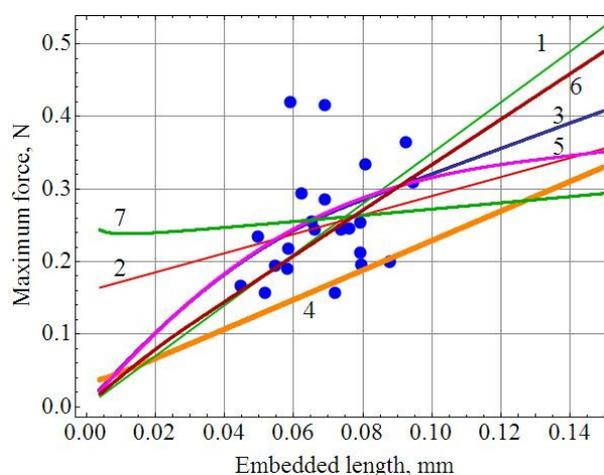


Fig. 1. Maximum force recorded in a pull-out test as a function of the embedded length for glass fiber – epoxy resin system. Filled circles present experimental points, solid lines correspond to different theoretical models: 1 — apparent IFSS ($F_{\max} \propto l_e$); 2 — linear model; 3 — direct stress-based approach with preliminary τ_f estimation [2]; 4 — direct energy-based approach; 5 — indirect stress-based approach [1]; 6 — direct stress-based approach, but τ_d is estimated from the debond force [1]; 7 — indirect energy-based approach [3]

For the investigated glass fiber – epoxy resin systems (typical plot is presented in Fig. 1) the best fit has been obtained using the stress-based approach with the estimation of both interfacial interaction parameters (τ_d and τ_f) for each specimen separately. However, as can be seen, some other models also look more or less “adequately”. For a better comparison of theoretical models, a pull-out or microbond experiment on a system with much wider range of embedded fiber lengths may be required.

1. Zhandarov S. and Mäder E. Peak Force as Function of the Embedded Length in the Pull-Out and Microbond Tests: Effect of Specimen Geometry // J. Adhesion Sci. Technol. — 2005 (19), 817—855
2. Zhandarov S. and Mäder E. An Alternative Method of Determining the Local Interfacial Shear Strength from Force-Displacement Curves in the Pull-Out and Microbond Tests // Intl. J. Adhesion & Adhesives. — 2014 (55), 37—42
3. Zhandarov S. and Mäder E. Indirect Estimation of Fiber/Polymer Bond Strength and Interfacial Friction from Maximum Load Values Recorded in the Microbond and Pull-Out Tests. Part II: Critical Energy Release Rate // J. Adhesion Sci. Technol. — 2003 (17), 967—980

EFFECT OF MENISCUS ON THE CALCULATED INTERFACIAL INTERACTION PARAMETERS IN THE PULL-OUT AND MICROBOND TESTS

S.F. Zhandarov¹ and E. Mäder^{2,3}

¹Metal-Polymer Research Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus;
serge.zhandarov@gmail.com

²Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V., Dresden, Germany

³Institute of Materials Science, Technische Universität Dresden, Dresden, Germany

Adhesional strength determination using the pull-out and microbond tests is based on the treatment of force–displacement curves recorded in these tests. A typical force–displacement curve is presented in Fig. 1. Its shape depends on three main parameters [1]: local interfacial shear strength (IFSS, τ_d), frictional stress in debonded regions, τ_f , and the embedded length, l_e . The interfacial interaction parameters are calculated from the force values at three characteristic points: the debond force, F_d (it does not depend on interfacial friction, and therefore τ_d can be unambiguously determined from its value), the force corresponding to debonding completion, F_b (depends solely on τ_f and thus can be used for its direct calculation), and F_{\max} , the peak force recorded in the experiment, depending on both τ_d and τ_f .

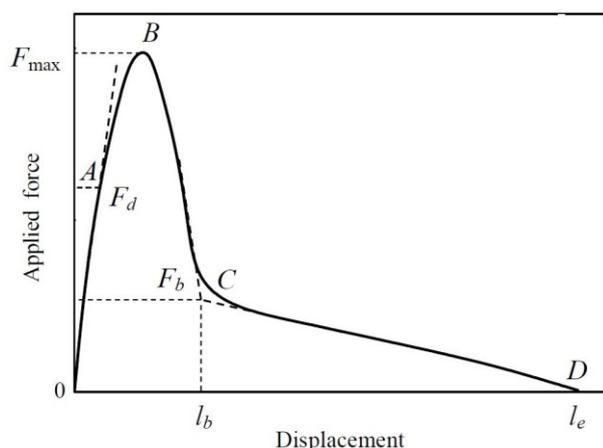


Fig. 1. A typical force–displacement curve for a pull-out test. The embedded fiber length is l_e

Traditionally, the local IFSS is calculated from the experimental F_d value, and the interfacial frictional stress is then determined from F_{\max} using already calculated τ_d , or, very rarely, from F_b . However, in real experiments the “kink” in force–displacement curves corresponding to the debonding onset (F_d) is often hardly discernible, which results in large errors in measured F_d and, consequently, in calculated τ_d . Therefore, we proposed an “alternative” approach [2], in which the interfacial frictional stress, τ_f , is first calculated from the experimental F_b value, and then the local IFSS is calculated from F_{\max} using the equation $F_{\max} = F_{\max}(\tau_d, \tau_f, l_e)$ whose explicit form was derived in [1]. For cylindrical specimens, both approaches yield equal τ_d and τ_f values. However, for real droplets, especially when a meniscus

(wetting cone) of the matrix material is present on the fiber, the traditional approach substantially underestimates the τ_d values (in some cases, by 30% and even more) [3]. The aim of this paper was to determine the interfacial interaction parameters for specimens with menisci using the “alternative” method and then compare the calculated values with those obtained within the “traditional” approach.

We considered model force–displacement curves simulated for glass fiber — epoxy matrix specimens with different wetting angles [3]. The true interfacial interaction parameters were set to $\tau_d = 60$ MPa and $\tau_f = 5$ MPa; the embedded length was 0.2 mm. As can be seen in Table 1, for cylindrical specimens the parameters calculated using either approach agreed with each other and coincide with the preset “true” values; for real droplets, the smaller the wetting angle, the more the τ_d values were underestimated. However, while the traditional approach for $\vartheta = 10^\circ$ yielded 33% error in τ_d (and τ_f values were overestimated by 4 times!), the error in τ_d in the alternative approach was only 4.5%.

Table 1. Local IFSS and interfacial frictional stress calculated for droplets with menisci using the “traditional” and “alternative” approaches (ϑ is the wetting angle)

ϑ , deg.	Traditional approach		Alternative approach	
	τ_d , MPa	τ_f , MPa	τ_d , MPa	τ_f , MPa
10	40.17	20.99	57.31	5.05
30	44.36	19.13	57.77	5.00
60	46.48	18.49	58.55	5.04
90	52.20	14.89	59.38	5.04
Cylinder	60.25	5.07	60.27	5.03

Thus, we found a new advantage of the “alternative” method which may be crucial for real droplets with menisci. Even when the real droplet shape is ignored and interfacial interaction parameters are calculated using the “equivalent cylinder” approximation, the alternative method yields correct τ_f values, and the error in τ_d is much smaller than for the traditional approach.

- Zhandarov S. and Mäder E. Peak Force as Function of the Embedded Length in the Pull-Out and Microbond Tests: Effect of Specimen Geometry // *J. Adhesion Sci. Technol.* — 2005 (19), 817—855
- Zhandarov S. and Mäder E. An alternative Method of Determining the Local Interfacial Shear Strength from Force-Displacement Curves in the Pull-Out and Microbond Tests // *Intl. J. Adhesion & Adhesives.* — 2014 (55), 37—42
- Zhandarov S. and Mäder E. Analysis of a Pull-Out Test with Real Specimen Geometry. Part II: the Effect of Meniscus // *J. Adhesion Sci. Technol.* — 2014 (28), 65—84

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК КОРОТКИХ СТЕКЛОВОЛОКОН И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА МОЛЕКУЛЯРНУЮ СТРУКТУРУ, РЕОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

В.В. Дубровский

Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь;
vlad.dubrovskii@gmail.com

Современный период развития науки о полимерах характеризуется интенсификацией исследований в области структуры и свойств полиэтилентерефталата (ПЭТ). Это связано с расширением объемов его производства, а также с возможностями создания на базе данного полимера широкого ассортимента композиционных материалов технического назначения. К числу последних относятся, в частности, стеклоармированные материалы. При создании таких материалов важно обладать информацией о закономерностях изменения молекулярной и надмолекулярной структур, физических и механических свойств ПЭТ при введении в него стекловолокон (СВ).

Свойства композитов ПЭТ/СВ, как и любых других стеклоармированных термопластов, являются результатом комбинации свойств СВ, полимерной матрицы и способности материала передавать механические нагрузки через поверхность раздела волокно—полимер. Такие параметры, как межфазная адгезия, концентрация и прочность СВ, диаметр и соотношение размеров моноволокон (отношение длина/диаметр) и их ориентация имеют решающее значение в придании баланса свойств, который достигается в стеклоармированных композитах, переработанных литьем под давлением.

Цель работы — изучить влияние концентрации СВ и технологических режимов компаундирования и подготовки материала на его структуру, реологические и механические свойства, а также на молекулярные параметры матричного ПЭТ.

Были исследованы материалы на основе ПЭТ 8200, содержащие 0—55 мас.% СВ. Нарботку составов осуществляли на двухшнековой экструзионно-грануляционной линии, варьируя частоту вращения шнеков.

Об изменении молекулярной массы ПЭТ судили по изменению характеристической вязкости раствора полимерной матрицы в дихлоруксусной кислоте, при этом стеклянные волокна из раствора предварительно удалялись путем центрифугирования. Истинная концентрация ПЭТ в растворе дополнительно уточнялась несколькими способами. Показано, что молекулярная масса ПЭТ снижается по мере увеличения концентрации СВ.

Кроме того, определяли показатель текучести расплава (ПТР) каждого материала. Установлено,

что при увеличении концентрации стекловолокна ПТР снижается, однако, степень снижения даже при введении 55% стекловолокна, не столь велика, как следовало бы ожидать. Причиной этому, является деструкция полимерной матрицы в процессе компаундирования.

Результаты динамического механического анализа образцов материалов свидетельствуют о росте температуры стеклования материала с ростом концентрации СВ, что объясняется ограничением сегментальной подвижности макромолекул, взаимодействующих с поверхностью СВ. Наблюдается также снижение температуры начала холодной кристаллизации при увеличении концентрации СВ в материале.

Анализировалась остаточная длина стекловолокон в материале. Волокна получали после растворения матричного ПЭТ в дихлоруксусной кислоте. Измерения показали, что средняя длина волокон снижается при увеличении концентрации СВ в материале и асимптотически приближается к величине порядка 0,25—0,30 мм.

Установлена зависимость остаточной длины волокон от частоты вращения шнеков экструдера при компаундировании — при увеличении частоты происходит дополнительное измельчение стекловолокна.

В докладе также приводятся данные об изменении механических (прочность при разрыве, ударная вязкость) и физических (плотность, температуры плавления и кристаллизации) свойств ПЭТ при введении в него коротких стекловолокон.

В соответствии с методикой, изложенной в [1], была проведена оценка сдвиговой прочности межфазного слоя, показана ее зависимость от различных факторов при производстве стеклоармированного ПЭТ.

Изучено влияние температурно-временных параметров подготовки (сушки) композиционных стеклоармированных материалов на базе ПЭТ перед переработкой.

1. Giral di de Moura A.L.F. The Influence of Extrusion Variables on the Interfacial Adhesion and Mechanical Properties of Recycled PET Composites // Journal of Materials Processing Technology. — 2005 (162—163), 90—95

ORGANISED STRUCTURES IN PTFE FILM FILLED WITH DYE AND METAL NANOPARTICLES AND NOVEL RESEARCH TRENDS

L. Ivanov¹, K. Grytsenko², Yu. Kolomzarov², O. Tolmachev³, Yu. Slominskii³, and S. Schrader⁴

¹V.A. Belyi Metal Polymer Research Institute of NASB, Gomel, Belarus

²Institute of Semiconductor Physics, Kyiv, Ukraine, d.grytsenko@gmail.com

³Institute of Organic Chemistry, Kyiv, Ukraine,

⁴University of Applied Sciences Wildau, Hochschulring 115745, Germany

Significant part of the new developments in the fields of photovoltaic devices, organic light emitting diodes, organic field effect transistors, nano- and molecular electronics are related with hierarchically organised materials in multi-layered systems: self-assembled nanostructures, nanowires, two interpenetrated phases in thin films. But the stability of the nano-objects during exploitation frequently is low due to **not equilibrium** state of nano-sized objects. Therefore, for industrial applications the stabilisation of the nano-sized objects is necessary. The high stability of the nano-sized particles and wires should be expected in the multi-component thin films with polytetrafluoroethylene (PTFE) matrix.

The already produced composite thin films are the PTFE or another perfluoropolymer matrix filled with metal or dye nanoparticles (NPs) with their arbitrary distribution in the matrix. The size of the metal or dye NPs is dependent on the metal nature, concentration and post-deposition treatment. The deposition conditions allow to control the size and shape of the NPs [1, 2].

The perspective direction in the design of the nano-composite films with new properties seems the PTFE matrix, contained organised system of NPs or nanowires. We already obtained metal-and dye-filled PTFE films and self assembled nano-systems, including dye nanowires on the PTFE surface between two gold (Au) strips by self-assembly from gas phase, using specially designed sulphur-contained dyes [3—5]. We suggested, that Au NPs in the “fur” of the dye molecules can be formed in PTFE matrix. The second suggestion, that the mesh of Au NPs, connected one with another with dye nanowire can be formed. The suggested organised structures are shown in Figure.

For production of the such structures films were made by co-deposition of the all three components. The optical spectroscopy *in situ* showed presence both of Au and dye inside PTFE matrix. The obtained films will be

studied by advanced structural sensitive methods.

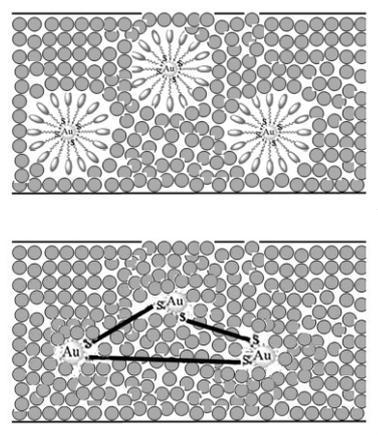


Figure. 1 — Au NPs with dye “fur” in PTFE matrix; 2 — Au NPs connected with dye nanowires in PTFE matrix.

1. Grytsenko K. Tuning of the Optical Properties of the Gold Nanocluster Ensemble Formed in Polytetrafluoroethylene Film // Optical Memory and Neural Networks. — 2009 (18), no. 4, 290—294
2. Grytsenko K.P. and Schrader S. Nanoclusters in Polymer Matrices Prepared by Co-Deposition from a Gas Phase // Adv. in Colloid and Interface Sci. — 2005 (116), 263—276
3. Grytsenko K., Schrader S., and Detert H. Ultra-Stable Dye-Filled Polytetrafluoroethylene Thin Films // Nanosci. & Technol. — 2014 (1), no. 2, 1—5
4. Dimitriev O., Grytsenko K., Lytvyn P., Doroshenko T., Tolmachev O., Slominskii Yu., Briks Yu, Schrader S., Schulze R.D., and Friedrich J. Substrate-Induced Self-Assembly of Donor-Acceptor Type Compounds with Terminal Thiocarbonyl Groups // Thin Solid Films. — 2013 (539), 127—133
5. Grytsenko K., Kolomzarov Yu., Lytvyn P., Ksianzou V., Schrader S., Kryuchin A., Gorbov I., Tolmachev O., Slominskii Yu., and Ivanov L. Nano-Hole Formation in Dye-Filled Polymer Film and Multilayered System by 405 nm Laser Irradiation // Тезисы междунар. конф. «ПОЛИКОМТРИБ-2013», Гомель, Беларусь, Июнь 24—27, 2013. — 2013

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ ОРГАНОГЛИН НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ КОМПАУНДИРОВАНИЕМ В РАСПЛАВЕ ПА6

Т.М. Абрамова, Ю.С. Кузнецова, С.С. Песецкий

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

Введение

Важнейшими (критичными) факторами, влияющими на степень интеркалирования (расслаивания) агрегатов глинистых частиц при компаундировании в расплаве полимера, являются природа поверхностно-активного вещества (ПАВ), использованного для обработки (органомодифицирования) глины и межфазные взаимодействия между органоглиной и полимерной матрицей. Следует отметить, что промышленно выпускаемые органоглины, как правило, содержат сорбированную воду и избыточное количество ПАВ в объеме галерей. Избыточные ПАВ не хемосорбированы на поверхности наночастиц глины и не обладают сколь-нибудь прочной связью с ней.

Цель работы — проанализировать кинетику десорбции (сорбции) воды органоглинами, а также оценить влияние воды и наличия связанных и не связанных ПАВ в галерее на степень расслаивания частиц глины в полимере, структуру и свойства полимер/глинистых наноккомпозитов.

Методика экспериментов

В исследованиях использованы полиамид 6 (марка для контакта с пищевыми продуктами) производства ОАО «Гродно Азот», а также органоглины марок монамет 101, монамет 104 и монамет 105, полученные от ЗАО «Метаклэй» (Россия) и Cloisite 30Вот ф. “SouthernClayProductInc.” (США). Для удаления избытка ПАВ, не связанного (не хемосорбированного на поверхности частиц) из объема галерей органоглин последние обрабатывали в метиленхлориде в течение 60 мин при непрерывном перемешивании. После этого раствор отделяли, а осадок органоглины подвергали двукратной промывке в метиленхлориде и высушивали в вакууме при 100 °С. Данные, характеризующие наличие воды и ПАВ в исходных органоглинах, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Содержание воды и ПАВ в органоглинах

Наименование органоглины	Влажность, %	Концентрация ПАВ, мас.%	Концентрация не связанного ПАВ, мас.%
Монамет 101	1,63	42,3	21,3
Монамет 104	1,76	38,8	22,5
Монамет 105	1,25	40,9	22,7
Cloisite 30В	1,51	27,9	20,8

Наноккомпозиты ПА6/глина получали компаундированием в расплаве при использовании экструзионно-грануляционной линии на базе двухшнеко-

вогэкструдера TSSK-35/40 (диаметр шнеков 35 мм, отношение L/D = 40).

Результаты и их обсуждение

Важным вопросом при реализации технологии компаундирования полимерных наноккомпозитов (н-ПКМ) в расплаве является удаление излишков сорбированной органоглиной воды. Важно отметить, что процессы сорбции (десорбции) воды органоглиной имеют обратимый характер (рис. 1). Примерно через 20 мин хранения во влажной атмосфере органоглина сорбирует до 50% воды от ее равновесного содержания.

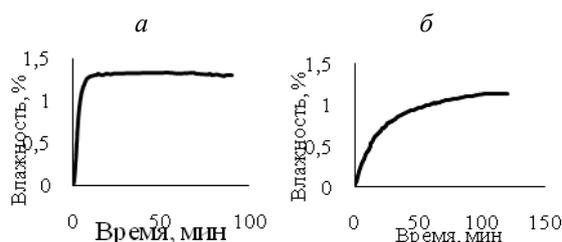


Рис. 1. Кинетические кривые изменения влажности органоглины монамет 101 в процессе ее сушки в вакууме при 100 °С (а) и при хранении на воздухе при ≈ 23 °С (б)

По данным рентгенографического анализа высушивание сорбированной воды существенно не влияет, а удаление избытка несвязанного ПАВ из объема галерей может привести к сильному изменению межплоскостного расстояния d_{001} (рис. 2).

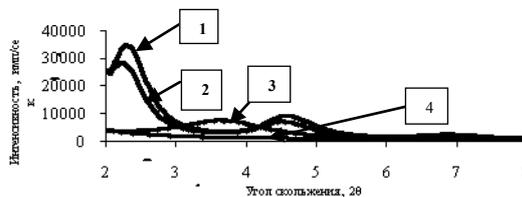


Рис. 2. Рентгеновские дифрактограммы органоглины метамон 101: 1 — исходная органоглина, 2 — высушенная; 3 — не содержащая несвязанные ПАВ, 4 — отожженная при 600 °С

Как видно из рис. 2, удаление несвязанного ПАВ приводит к смещению максимума рефлекса d_{001} в область больших углов, что свидетельствует о снижении межплоскостного расстояния и уменьшении объема галерей. Вследствие этого наблюдается ухудшение эксфолирования органоглины в объеме полимера, что может негативно сказываться на механических свойствах н-ПКМ. Независимо от типа применяемой органоглины установлено нуклеирующее влияние ее добавок на кристаллизацию ПА6.

ОГНЕСТОЙКИЕ И ТРЕКИНГОСТОЙКИЕ ПОЛИАМИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

А.А. Давыдов

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

Приводится информация о свойствах и технологии получения безгалогенных и безфосфорных композитов на основе полиамида 6. В качестве основного антипирена используются производные сим-триазина с синергическими добавками и модификаторами, которые усиливают огнегасящий эффект и трекинговость полиамидных материалов.

Для получения огнестойких полиамидных материалов применялась технология, основанная на экструзионном компаундировании компонентов в экструзионно-грануляционной линии на базе двухшнекового экструдера TSSK-35/40 (КНР). Поскольку конструктивные факторы (факторы, зависящие от конструкции компаундирующего оборудования) оказывают значительное влияние на эффективность огнегасящего действия антипирена и синергических добавок, то при получении огнестойких материалов материальный цилиндр экструдера оснащали шнеками специальной конфигурации, предназначенными для тонкого диспергирования частиц в полимерном расплаве. Эти шнеки имеют две перемешивающие кулачковые секции и одну секцию, сообщающую расплаву траекторию противоположную направлению его движения, что создает дополнительную турбулентность в движущемся расплаве и улучшает гомогенизацию компонентов. Расплав выдавливали в виде четырех стренг из фильеры материального цилиндра и подвергали водяному и воздушному охлаждению. Триазиновый антипирен и другие добавки смешивали с полиамидом в требуемом соотношении в высокоскоростном двухлопастном смесителе. Затем производили соэкструзию компонентов в расплаве и гранулирование материала. Полученный гранулят высушивали при температуре (100 ± 5) °С до остаточной влажности не более 0,15% и использовали для изготовления на термопластавтомате марки EN-30 (Тайвань) литьем под давлением экспериментальных образцов: лопаток типа 5 по ГОСТ 11262 для испытаний на растяжение; бруски размером $120 \times 10 \times 4$ мм для определения категории стойкости к горению по ГОСТ 28157; диски диаметром 50 мм и толщиной 3 мм для опре-

деления сравнительного индекса трекинговости по СТБ ИЕС 60112. Испытания образцов методом растяжения проводили на универсальной разрывной машине Instron 5657 (США). Основные показатели свойств огнестойких полиамидных материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Составы и свойства полиамидных материалов

Состав	КГ	σ_p , МПа	ε_p , %	a , кДж/м ²	I , В
ПА6	Горит	55 ¹	84	н/р (7,2)	—
ПА6 + АП	ПВ-0	54	12	52	525
ПА6 + АП + Мод	ПВ-0	65	14	45	600

Примечания: КГ — категория стойкости к горению; σ_p — прочность при разрыве (\square — верхний предел текучести); a — ударная вязкость по Шарпи без надреза, в скобках с острым надрезом; ε_p — относительное удлинение при разрыве; н/р — не разрушается; I — сравнительный индекс трекинговости; АП — антипирен; Мод — модификатор.

Показано, что при совместном использовании в полиамидных составах наряду с антипиреном синергических добавок и модификатора позволяет получать материалы с высшей категорией стойкости к горению ПВ-0 (V-0 по UL-94) и сравнительным индексом трекинговости 600В. Это обусловлено активным влиянием добавок на процесс термоокислительной деструкции макромолекул в зоне горения, при котором ускоряются процессы сшивания продуктов горения и окисление макромолекул, что предотвращает отрыв горящих капель и позволяет получать материалы с высшей категорией стойкости к горению. Таким образом, определяющим фактором при разработке огнестойких и трекинговостных полиамидных материалов является правильный выбор добавок-синергистов и модификаторов, которые синергически усиливают огнегасящий эффект базовых азотсодержащих антипиренов и увеличивают трекинговость полиамидных материалов.

Полученные материалы перспективны для изготовления изделий электротехнического назначения, и являются конкурентоспособными по важнейшим эксплуатационным и экономическим показателям.

СТЕКЛОПЛАСТИКОВАЯ КОМПОЗИТНАЯ АРМАТУРА МОДИФИЦИРОВАННАЯ НАНОКЕРАМИКОЙ

В.И. Дубкова¹, Л.М. Судник², Д.В. Петушков³, А.В. Козырев³, О.И. Маевская¹

¹Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь; dubkovav52@gmail.com

²НИИ импульсных процессов НАН Беларуси, Минск, Беларусь; e-mail: lsudnik@tut.by

³ООО «Композиционные материалы и технологии», Солигорск, Беларусь

Введение

Полимерная композитная арматура, обладающая уникальными свойствами, является альтернативой металлической и находит всё более широкое применение в промышленном гражданском и дорожном строительстве. В строительной отрасли в качестве защитных пропиток и покрытий, повышающих несущую способность, химическую стойкость и долговечность бетонных элементов конструкций широко используются наномодифицированные (преимущественно нанокластерами углерода) эпоксидные композиционные материалы. Представляет интерес использовать для этих целей не менее перспективные, но более дешёвые нанокерамические модификаторы.

Цель работы — исследование влияния нанокерамического модификатора на структуру и свойства композитной арматуры.

Материалы и методы

Полимерная композитная арматура изготавливалась по новой высокопроизводительной технологии (ТУ ВУ 690732376.001-2012) с использованием стекловолокна и эпоксидного связующего. В качестве керамического наномодификатора использовали нанокристаллический моногидроксид алюминия (бемит) с удельной поверхностью до 400 м²/г, степенью дисперсности < 100 нм. Бемит получали методом гидротермального синтеза из промышленных порошков алюминия марок АСД-4 и АСД-6 в НИИ импульсных процессов НАН Беларуси [1]. Методы исследований: электрофизический, акустический, термомеханический, стандартные методы испытаний физико-механических свойств полимерных композитов.

Результаты исследований

Показано, что при введении в эпоксидное связующее нанокристаллического бемита предел прочности при изгибе полимерной арматуры увеличивается на 5,0—10,6%, при растяжении на 6,3—11,0% (максимально при 5 мас.% наполнении), при сжатии на 95,0—150,3% (в наибольшей степени при

10 мас.% концентрации бемита; усилие при испытании перпендикулярно сечению арматуры). Динамический модуль упругости арматуры при введении 1 мас.% керамического наномодификатора возрастает на 17% (табл. 1). На основании данных термомеханического анализа, акустических, и электрофизических измерений сделано заключение, что вводимый наномодификатор является структурно-активным компонентом и участвует в образовании пространственно-сшитого полимера при изготовлении стеклопластиковой арматуры.

Таблица 1. Физико-механические свойства арматуры на основе эпоксидного связующего и стекловолокон

C , мас.%	α , %	ρ , кг/м ³	$\sigma_{сж}$, МПа	E , ГПа	$\sigma_{изг}$, МПа	σ_p , МПа	L , %
0	98,9	2023,2	211,3	60,2	586	882	1,87
1	96,7	2017,3	412,1	70,4	642	938	1,93
5	95,7	1935,7	474,9	57,7	648	979	1,93
10	97,6	1951,5	528,9	51,3	634	963	1,86
20	97,0	1949,5	482,1	48,8	615	937	0,0

Обозначение: C — содержание бемита; α — степень отверждения; ρ — плотность; σ_p — предел прочности при растяжении; $\sigma_{сж}$ — предел прочности при сжатии; $\sigma_{изг}$ — предел прочности при изгибе; L — относительное удлинение; E — динамический модуль упругости.

На дополнительное структурирование композитного материала в присутствии бемита указывает повышение его удельного электрического сопротивления, времени диэлектрической релаксации, а также повышение скорости распространения ультразвуковых колебаний в отверждённом образце и смещение температуры стеклования по температурной шкале в сторону увеличения.

Выводы

Нанокристаллический моногидроксид алюминия (бемит) является эффективным модификатором стеклопластиковой арматуры, улучшающим её технические характеристики.

1. Судник Л.В., Витязь П.А., Ильюшенко А.Ф. и др. Функциональные материалы на основе наноструктурированных порошков гидроксида алюминия. — Минск: Беларуская навука. — 2010

ТЕПЛОПРОВОДНАЯ ЭПОКСИДНАЯ КОМПОЗИЦИЯ ДИСПЕРСНО УПРОЧНЁННАЯ КАРБИДОМ КРЕМНИЯ

В.И. Дубкова¹, Л.М. Виноградов², В.А. Бородуля²,
О.И. Маевская¹, Л.Е. Евсева², Т.И. Пинчук

¹Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь; dubkovav52@gmail.com

²Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Введение

Эпоксидные материалы находят широкое применение во многих отраслях промышленности. Однако наиболее часто применяемые эпоксидные композиции — электроизоляционные материалы с низкой теплопроводностью, что ограничивает области их применения, особенно при герметизации изделий радиоэлектронной аппаратуры.

Цель работы — разработка и исследование структуры и свойств теплопроводной эпоксидной композиции.

Материалы и методы

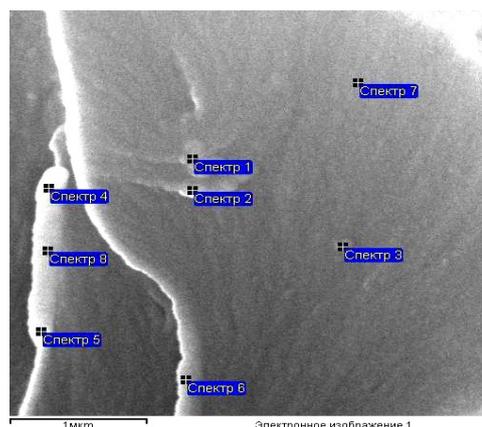
Образцы эпоксидных композиций получали на основе эпоксидной диановой смолы ЭД-20 и мелкодисперсного карбида кремния, синтезированного в ИТМО НАН Беларуси методом карботермического восстановления кремнезёма в электротермическом кипящем слое.

Результаты и их обсуждение

Изучены процесс формирования, микроструктура, физико-механические, акустические, термические и теплофизические свойства эпоксидной композиции с содержанием мелкодисперсного карбида кремния до 60 мас. %.

Рентгеноструктурный анализ карбида кремния показал, что он относится к слоистой структурной бета-модификации (β -SiC) и на 86 мас. % представляет собой муассанит 3С кубической и на 7 мас. % ромбоэдрической модификации. По данным электронной микроскопии на агломерированных структурах SiC имеются глобулярные наночастицы и нитевидные образования с соотношением длины цепочки к диаметру $\approx (5-10) : 1$. При введении карбида кремния в эпоксидное связующее наночастицы встраиваются в микроструктуру эпоксидной матрицы, взаимодействуя с отдельными глобулами по объёму полимера и по контуру краёв складок (рис. 1). Как следствие этому, изменяются практически все свойства эпоксиполимера, отверждённого в присутствии мелкодисперсного карбида кремния. Температура стеклования смещается в сторону повышения на 35—46 °С, для высоконаполненных составов увеличивается на 50 °С теплостойкость по Вика, значительно уменьшается относительная деформация при нагревании образцов в условиях од-

носного сжатия. Наблюдаемое улучшение термических свойств эпоксидной композиции, дисперсно упрочнённой карбидом кремния, расширяет температурный диапазон возможного её использования. Плотность отверждённых композитов повышается в 1,1—1,4 раз; твёрдость по Виккерсу в 1,3—1,6 раз; предел прочности при сжатии в 1,2—1,75 раз, динамический модуль упругости для высоконаполненных составов в 4,9—6,7 раз. Разработанная композиция, содержащая 60 мас. % мелкодисперсного карбида кремния, обладает коэффициентом теплопроводности 1,05 Вт/(м·К) при –125 °С и 1,17 при +125 °С, что в 5,4 и 4,3 раза соответственно превышает для эпоксидной композиции ненаполненной.



Участок анализа 6 x 50000

Спектр	C, %	Si, %
Спектр 1	97,1	2,9
Спектр 2	97,9	2,1
Спектр 3	98,3	1,7
Спектр 4	97,6	2,4
Спектр 5	96,2	3,8
Спектр 6	97,2	2,8
Спектр 7	97,5	2,5
Спектр 8	97,6	2,4

Рис. 1. Микрорентгеноспектральный анализ сколов поверхности эпоксидной композиции, содержащей 60 мас. % SiC

Высоконаполненная мелкодисперсным карбидом кремния эпоксидная композиция обладает повышенной устойчивостью к возгоранию и после выгорания полимерной составляющей может длительное время находиться в пламени горелки с сохранением формы.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В.И. Зубко, Д.В. Зубко, Г.Н. Сицко

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь; Zubko@bsu.by.

Целью работы является диэлькометрический контроль и диагностика качества электроизоляционных материалов, используемых в высоковольтных электрических устройствах, на соответствие их диэлектрических показателей, нормам регламентированным соответствующими стандартами.

Материалы и методы

Исследованы материалы: ГСП-8, АГ-4В, ДСВ-20. Для контроля и диагностики диэлектрических свойств материалов использована созданная в НИЛ диэлектрической спектроскопии гетерогенных систем БГУ малогабаритная диэлькометрическая установка, в состав которой входят: высокочувствительный электроемкостной преобразователь, цифровой измеритель иммитанса и персональный компь-

ютер. Разработанный преобразователь представляет собой микрометрическое устройство со встроенным микровинтом, соединенным с подвижным дисковым электродом, симметрично расположенным с неподвижным электродом, рабочие поверхности, которых отшлифованы, отполированы, хромированы и притерты друг к другу [1].

Диэлькометрический контроль относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь образцов материалов проводили на частоте 1 МГц. В таблице представлены средние значения диэлектрических показателей образцов материалов из пяти параллельных опытов. Точность определения диэлектрических показателей образцов материалов составляет примерно $\pm 1,2\%$.

Таблица. Диэлектрические показатели электроизоляционных материалов

Электроизоляционный пресс-материал ГСП-8		
Диэлектрический показатель	Определяемый показатель	По ГОСТ 17478-95
Относительная диэлектрическая проницаемость	5,420	Не более 7,0
Тангенс угла потерь	0,021	Не более 0,04
Электроизоляционный материал АГ-4В		
Относительная диэлектрическая проницаемость	8,65	По ГОСТ 20437-89 Не более 7,0
Тангенс угла потерь	0,05	Не более 0,04
Дозирующий стекловолоконный пресс-материал ДСВ-20		
Относительная диэлектрическая проницаемость	6,65	По ГОСТ 17478-89 Не более 7,0—8,0
Тангенс угла потерь	0,020	Не более 0,05

Результаты и их обсуждение

В результате проведенных исследований установлено, что в пяти контролируемых образцах материалов АГ-4В из одной партии — относительная диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь имеют завышенные показатели. Из таблицы видно, что показатели относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь для материала АГ-4В, равны 8,65 и 0,5, тогда как согласно ГОСТ 20437-89 они должны быть 7,0 и 0,04, соответственно. В пяти контролируемых образцах материалов ГСП-8 из разных партий — диэлектрические показатели соответствуют нормам, регламентированным соответствующим стандартом.

Таким образом, созданная малогабаритная диэлькометрическая установка в дальнейшем может быть использована для диагностического контроля диэлектрических показателей электроизоляционных материалов на их соответствие нормам, регламентированным соответствующими стандартами. Это позволяет проводить диагностический контроль и своевременно выявлять на соответствие или несоответствие диэлектрических показателей материалов, применяемых в высоковольтных электрических и радиотехнических устройствах.

1. Устройство для измерения электрических свойств полимерных композиций: патент на полезную модель (Республика Беларусь) № 9001 от 28.02.2013г. / Зубко Д.В., Зубко В.И. Заявка № и 20120669 от 23.10.2008

МЕХАНО-ХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Н.Т. Кахраманов¹, А.Г. Азизов¹, Ш.Р. Багирова²

¹Институт полимерных материалов НАН Азербайджана, Сумгаит, Азербайджан; najaf1946@rambler.ru

²Институт нефтехимических процессов им. Ю. Мамедалиева НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

Цель данной работы заключалась в улучшении прочностных характеристик стирольных пластиков путем введения в их состав наночастиц и модификаторов на основе графтсополимеров.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования использовали полистирол (ПС), ударопрочный полистирол (УПС) и акрилонитрил-бутадиен-стирольный сополимер (АБС). С целью улучшения свойств стирольных пластиков в их состав вводили модификаторы на основе графтсополимеров атактического полипропилена (аПП) с привитыми звеньями стирола [поли(пропилен-пр-стирол)] и привитыми цепями сополимера стирола с акрилонитрилом (САН) — [поли(пропилен-пр-САН)]. Поли(пропилен-пр-стирол) вводили в состав УПС, а поли(пропилен-пр-САН) использовали в составе АБС. Для существенного повышения прочностных характеристик в качестве наполнителя использовали наночастицы на основе смеси $\text{Cu}_2\text{O}/\text{CuO}$ с размером 30—50 нм. После сушко смешения стирольного пластика с 5,0 мас.%. ГС и нанонаполнителем ($\text{CuO}/\text{Cu}_2\text{O}$), полученную смесь перемешивали в одношнековом экструдере. Разрушающее напряжение, относительное удлинение определяли на разрывной машине в соответствии с ГОСТ 11262–80. Прочность на изгиб, ударную прочность, соответственно, исследовали по ГОСТ 4648–71 и по ГОСТ 4647–80.

Результаты и их обсуждение. По данным дилатометрии введение 10 мас.% наночастиц в состав модифицированного УПС способствует некоторому снижению его удельного объема и повышению плотности во всем рассматриваемом интервале температур. Возрастание плотности наполненной композиции УПС однозначно свидетельствует о том, что после введения наночастиц, последние проявляют свойства структурообразователей. По всей вероятности, механизм структурообразования проявляется в том, что даже в аморфной среде макромолекулы полистирольной матрицы могут в определенной мере ориентироваться вокруг поверхности наночастиц с образованием своеобразных плотных слоев. При этом допускаем, что ориентироваться вокруг наночастиц могут не только макромолекулы гомополимера (полистирола или САН), но и макроцепи привитого сополимера.

Максимальные деформационно-прочностные свойства (за исключением ударной прочности) установлены в образцах ПС с 5—7 мас.% содержанием наночастиц. При использовании наночастиц,

максимальный эффект достигается при более низкой их концентрации, чем при использовании более грубодисперсных однопипных порошков. При концентрации наночастиц свыше 7 мас.% происходит резкое снижение прочностных характеристик ПС. По нашему мнению, это может быть связано с тем, что независимо от способа их получения, при сравнительно больших концентрациях наполнителя происходит их агрегация сопровождаемая нарушением процесса формирования глобулярной структуры полистирольной матрицы, что незамедлительно сказывается на снижении ее прочностных показателей. Разрушающее напряжение в этих образцах снижается от своего максимального значения (34,0 МПа) до минимума (12 МПа), т.е. в 2,8 раза, прочность на изгиб в 3,5 раза, ударная прочность в 4,3 раза. Все это объясняется в целом хрупкостью исходной полистирольной матрицы.

Для композитов на основе УПС и АБС максимальные значения разрушающего напряжения и прочности на изгиб наблюдаются при содержании наночастиц в пределах 10 мас.%. Объясняется это тем, что в отличие от ПС в составе УПС и АБС имеется свободный бутадиеновый каучук, а также привитой сополимер бутадиенового каучука (БДК) со стиролом или бутадиенового каучука с САН. В совокупности эти компоненты способствуют перераспределению наночастиц в их составе преимущественно в каучуковой области. Следует при этом отметить, что общее содержание каучуковой фазы в составе УПС и АБС составляет примерно 12—15 мас.%. Своеобразные островки, образованные эластомерными частицами, фактически блокируют или гасят процесс дальнейшего разрастания трещины в полимерном объеме. Полагаем, что с термодинамической точки зрения наночастицы преимущественно распределяются в местах с наименьшей плотностью, т.е. в эластомерной фазе УПС и АБС, что, собственно, и объясняет их сравнительно лучшие деформационно-прочностные характеристики в широком интервале концентраций наполнителя. При этом важную компатибилизирующую роль играют графтсополимеры, которые, локализуясь и восстанавливая поверхностное натяжение в межфазной области полистирола и БДК, ведут себя, как «поверхностно-активное вещество». Есть полное основание считать, что это обстоятельство, собственно, и является одной из главных причин повышения ударной прочности стирольных пластиков.

ТЕРМОПЛАСТЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ НАНОЧАСТИЦАМИ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ

А.В. Кравцевич

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

Одним из перспективных направлений создания новых полимерных композиционных материалов является использование в качестве модификаторов наночастиц различной природы [1, 2]. Разработка нанокomпозиционных материалов осложняется склонностью наночастиц к агрегированию, следствием чего является недостаточный уровень межфазных взаимодействий в зоне контакта гетерогенных фаз, а зачастую и ухудшение некоторых технических характеристик композитов.

Целью работы являлось изучение технических характеристик термопластичных материалов, модифицированных наночастицами диоксида кремния. Основными объектами исследований являлись композиционные литые образцы, экструзионные пленки, а также металлополимерные адгезионные соединения.

В качестве модификаторов термопластов использовали наночастицы диоксида кремния марок «Таркосил» Т50 и Т150 (удельная поверхность $50 \div 70$ и $130 \div 150$ м²/г соответственно), полученные испарением чистого кварцевого песка с последующей конденсацией высокотемпературного (около 3000 °С) пара [3]. Наночастицами модифицировали термопластичные полимеры: полиамид 6 (ПА6) марки 210/310, полиэтилен низкой плотности (ПЭНП) марки 10803-020, сополимер этилена с винилацетатом (СЭВА) марки 11708-210. Литые образцы композитов на основе ПА6 или ПЭНП с содержанием $0,1 \div 5,0$ мас.% наночастиц Т150 получены с помощью двушнекового экструдера с последующей отливкой образцов на термопластавтомате. Деформационно-прочностные характеристики литых образцов при растяжении определены в соответствии с ГОСТ 11262. Композиционные пленки на основе ПЭНП с содержанием $0,05 \div 0,5$ мас.% наночастиц Т50 получены на промышленном экструзионном оборудовании. Деформационно-прочностные характеристики пленок при растяжении определены в соответствии с ГОСТ 10354. Также у композиционных пленок определены паропроницаемость согласно стандартам ASTM E 96 и ISO 2528, кислородопроницаемость согласно стандартам ASTM D1434, ISO 2556, ISO 15105-1. Для исследования адгезионных характеристик металлополимерных соединений методом двушнковой экструзии получили композиционные образцы на основе СЭВА, мо-

дифицированные $0,1 \div 4,0$ мас.% наночастицами Т50 или Т150. Подготовка образцов адгезионных соединений и определение их прочности при сдвиге проведено по ГОСТ 14759. В качестве металлического субстрата для склеивания выбрана оцинкованная сталь, которую склеивали расплавом СЭВА с температурой 170 °С.

Установлено увеличение прочности при растяжении литых композиционных образцов на основе ПА6 до 16%. Также отмечено незначительное увеличение прочности для литых композиционных образцов на основе ПЭНП до 10%. Экструзионные композиционные пленки на основе ПЭНП характеризовались увеличенной до 25% прочностью при растяжении, сниженными значениями паропроницаемости и кислородопроницаемости на 13 и 20% соответственно. Композиционные образцы на основе СЭВА позволяли получать металлополимерные адгезионные соединения с увеличенной прочностью при сдвиге до 1,6 раз при использовании наночастиц Т50 и до 2-х раз при использовании наночастиц Т150.

Прочность рассмотренных композиционных систем увеличивалась в порядке возрастания у литых образцов, пленок, адгезионных соединений, что определяется снижением влияния агрегации частиц наполнителя на механические свойства композиционных систем в связи с различной плотностью распределения концентраторов напряжений в плоскости сечения ортогональной направлению разрушающей силы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект Т12СО-033).

1. Свириденко А., Лысенко В., Кравцевич А., Микулич С., Игнатовский М. Модификация полипропилена комплексом наночастиц // Наноиндустрия. — 2014, № 2, 58—66
2. Свириденко А.И., Кравцевич А.В., Лысенко В.И., Микулич С.И., Игнатовский М.И., Бардаханов С.П. Фрикционные свойства тонких покрытий на основе эпиламов, наномодифицированных диоксидом кремния // Трение и износ. — 2014 (35), № 3, 225—235.
3. 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.

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА КАРБОКСИЛИРОВАННОГО ПОЛИАКРИЛАМИДА НА ПРОЦЕССЫ ДЕСТРУКЦИИ И ДЕКАРБОКСИЛИРОВАНИЯ МАКРОМОЛЕКУЛ ПРИ РАДИАЦИОННОМ СШИВАНИИ В РАСТВОРЕ

Л.П. Круль¹, Т.Г. Данилович², Л.И. Сальников³

¹Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь; krul@bsu.by

²Учреждение Белорусского государственного университета

«Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», Минск, Беларусь

³Объединенный институт энергетических и ядерных проблем — Сосны НАН Беларуси, Минск, Беларусь

В настоящее время в Республике Беларусь с использованием радиационно-химических технологий производятся полиэлектролитные гидрогели (ПЭГГ) растениеводческого назначения на основе карбоксилированного полиакриламида (КПАА), отличающиеся высокой водопоглощающей способностью и хорошей адгезией к поверхности семян сельскохозяйственных культур и различных частей вегетирующих растений [1—3]. Молекулярная структура КПАА, определяющая выбор условий облучения водных растворов КПАА и свойства ПЭГГ, изменяется в процессе облучения. Однако детальное исследование протекающих при этом побочных радиолитических превращений исходного полимера, которые оказывают влияние на длину макромолекул и химический состав полимера, не проводилось, хотя изменения молекулярной структуры полимера могут сказаться как на самом процессе получения ПЭГГ, так и на их свойствах, определяющих возможность их практического использования.

Цель

Целью работы явилось совершенствование радиационно-химического способа получения ПЭГГ растениеводческого назначения на основе КПАА с учетом протекания побочных радиолитических процессов.

Материалы и методы

Использовали КПАА двух марок: препарат ВРП-3, полученный щелочным гидролизом полиакрилонитрильного волокна нитрон Д (ОАО «Лесохимик», г. Борисов, Беларусь) и полиакриламид марки FR-07 производства фирмы SNF Floerger (Франция). Радиационное сшивание водных растворов полимеров проводили при комнатной температуре γ -лучами ⁶⁰Со при мощности дозы 0,22 Гр/с. Величину поглощенной дозы варьировали от 2 до 60 кГр. ПЭГГ подвергали термическому старению в воздушной среде при 85 °С.

Содержание карбоксилатных групп в КПАА определяли методом потенциметрического титрования, длину цепи — вискозиметрическим методом. Реологические свойства определяли методом динамической вискозиметрии на приборе «Rheotest 2», величины гель-фракции и водопоглощения ПЭГГ — гравиметрическим методом.

Результаты и их обсуждение

Показано, что воздействие γ -излучения на водные растворы препарата ВРП-3, полимерная основа которого представлена относительно короткими цепями (средневязкостная молекулярная масса M около $7,1 \cdot 10^4$) с высоким содержанием карбоксилатных групп (около 70%), приводит к частичному декарбоксилированию макромолекул. Степень снижения содержания карбоксилатных групп увеличивается при возрастании дозы облучения от 2 до 30 кГр, достигая почти 50% при 30 кГр, но практически не зависит от концентрации раствора полимера при ее изменении от 1,0 до 20,0 мас.%. Для полимера марки FR-307 с низким содержанием карбоксилатных групп (7,8%) и высокой M (около $5,6 \cdot 10^6$) декарбоксилирование при облучении протекает более интенсивно. Показано также, что декарбоксилирование сопровождается уменьшением длины цепи, а также изменением ее конфигурации от линейной к разветвленной и сшитой. Термоокислительное старение ПЭГГ также сопровождается декарбоксилированием, деструкцией, разветвлением и сшиванием макромолекул.

Таким образом, установлено, что нежелательные процессы декарбоксилирования деполимеризации, протекающие при облучении и приводящие к снижению водопоглощения ПЭГГ на основе КПАА, в большей степени выражены для высокомолекулярного полимера с низким содержанием карбоксилатных групп, чем для низкомолекулярного полимера с высоким содержанием карбоксилатных групп, что позволяет рекомендовать отечественный препарат ВРП-3 в качестве исходного сырья для производства ПЭГГ сельскохозяйственного назначения.

1. Мамаев О.И., Гринюк Е.В., Круль Л.П. Технологические особенности радиационно-химического процесса получения полиэлектролитных гидрогелей на основе карбоксилированного полиакриламида // *Материалы. Технологии. Инструменты.* — 2012 (17), № 3, 79—82
2. Krul L.P., Nareiko E.I., Matusevich Yu.I., Yakimtsova L.B., Matusevich V., and Seeber W. Water super absorbents based on copolymers of acrylamide with sodium acrylate // *Polymer Bulletin.* — 2000(45), no. 2, 159—165
3. Круль Л.П., Рыбак А.С., Нарейко Е.И., Поликарпов А.П., Климец Т.Г. Полиэлектролитные гидрогели на основе гидролизата полиакрилонитрильного волокна // *Журнал прикладной химии.* — 2003 (76), № 7, 1006—1008

ВЛИЯНИЕ АНИОННЫХ ПАВ НА ВЯЗКОСТЬ СЛАНЦЕВЫХ ФЕНОЛОВ

М.А. Ксенофонтов, Л.Е. Островская, В.С. Васильева

НИИПФ им. А.Н. Севченко БГУ, Минск, Беларусь; lab_dozator@mail.ru

В последние годы растет интерес к исследованиям горючих сланцев, являющихся потенциальным топливно-энергетическим и химическим сырьем. Основные продукты термической переработки горючих сланцев — сланцевое масло, горючие газы с высокой теплотой сгорания, смолы, полукоксы и сланцевая зола. Одни из них используются в качестве топлива, а другие — являются ценным химическим сырьем для получения фенолов, мастик, модификаторов резины, клеевых веществ, синтетических дубителей и других ценных химических продуктов [1, 2].

Представленная работа посвящена исследованию закономерностей формирования макромолекулярной структуры газонаполненных полимеров, полученных из композиций на основе сланцевых фенолов в присутствии анионных ПАВ. Исследованные сланцевые фенолы представляли собой высоковязкую ассоциированную смесь алкиламещенных двухатомных фенолов в составе: 5-метилрезорцин, 2,5-диметилрезорцин, 4,5-диметилрезорцин, 5-этилрезорцин, резорцин и другие алкилрезорцины. В качестве ПАВ были использованы технические эмульгаторы, состав, мас. %: диталан-OTS-45 (Alk-CH₂-OSO₃NH₄ — 40; полиэтиленгликоль — 2; мочевины — 5; полифосфат аммония — 2; вода — 51); прогресс (Alk-(CH)-OSO₃Me — 30; сульфаты К и Na — 4; изопропиловый спирт — 3,5, остальное вода); волганат (R-CHSO₃Na — 40—45; остальное вода — 50); неионогенное ПАВ — “ОП-10”.

Вязкость исследуемых систем измеряли в изотермических условиях с помощью ротационного вискозиметра “Reotest-2”. На рис. 1 приведены закономерности изменения вязкости сланцевых фенолов от количества ПАВ.

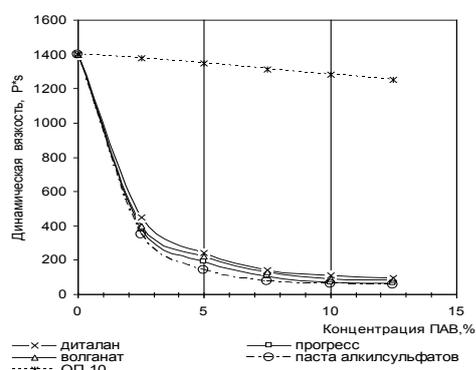


Рис. 1. Зависимость вязкости сланцевых фенолов от количества эмульгатора

Анализ полученных результатов показывает, что вязкость исследованных систем экспоненциально снижается с увеличением концентрации анионного ПАВ, в то время как, количество неионогенного ПАВ (ОП-10) практически не влияет на вязкость сланцевых фенолов.

Наблюдаемое снижение вязкости сланцевых фенолов происходит, по-видимому, за счет разрушения существующих ассоциатов под воздействием анионных ПАВ и образованием более мелких стабильных агрегатов (мицелл). Подтверждением этого вывода может служить тот факт, что смеси сланцевых фенолов с анионным эмульгатором являются термодинамически устойчивыми, вязкость их при постоянной температуре остается неизменной неограниченное время. На рис. 2 представлены зависимости свободной энергии активации вязкого течения и динамической вязкости исследованных смесей от концентрации алкилсульфата аммония. Из рисунка видно, что и энергия активации и вязкость симбатно снижаются при увеличении содержания анионного ПАВ. Изломы на обеих кривых наблюдаются приблизительно при одних и тех же концентрациях алкилсульфата аммония (0,014; 0,024 мол.д.), соответствующим ККМ₁ и ККМ₂ при которых изменяются размеры (или форма) мицелл.

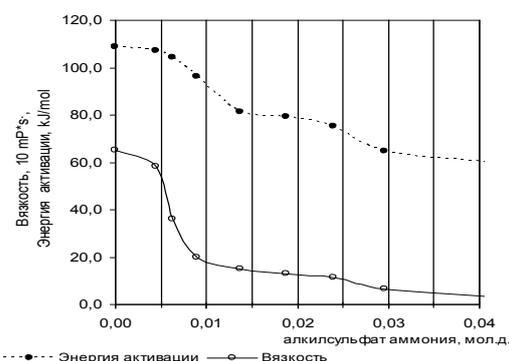


Рис. 2. Изменение энергии активации и вязкости сланцевых фенолов от содержания алкилсульфата аммония

Обнаруженный эффект значительного снижения вязкости сланцевых фенолов в 7—8 раз в присутствии анионных эмульгаторов был использован при разработке технологии получения фенольного пенопласта, что позволило снизить температуру промежуточной композиции (на основе фенолов) на 15—25 °С, тем самым увеличить индукционный период начала реакции поликонденсации и улучшить условия смешения компонентов. Кроме того, пенопласт, полученный из композиций с анионными ПАВ, обладает в два раза большей прочностью на изгиб, степень поликонденсации увеличивается на ~ 10% [3].

1. Пещенко А.Д., Мычко Д.И. Горючие сланцы Беларуси: ресурсы и перспективы использования // Хімія і ўстойлівае развіццё. Хімія: праблемы выкладання. — 2011, № 8, 3—13
2. Стрижакова Ю.А., Усова Т.В. Экологические проблемы сланцеперерабатывающего производства // Химия твердого топлива. — 2007, № 3, 53—59
3. Композиция для фенольного пенопласта: Пат. РБ 2148. — 1997 / М.А. Ксенофонтов и др.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СМАЗКИ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕР-МИНЕРАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ПЛАСТФОРМОВАНИЯ

К.С. Носов, Е.М. Лапшина

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

В процессе переработки полимер-минеральных материалов и изготовления на их основе различных изделий возникает проблема получения материала с однородной структурой, что связано, главным образом, с равномерностью распределения компонентов смеси в расплаве. Это, в свою очередь, затрудняет процесс прессования расплава в прессформах, обусловленный повышением внутреннего трения кварцевых частиц в расплаве. Как следствие наблюдается ограничение его перемещения в прессформе, вследствие достаточно высоких усилий сдвига как между компонентами расплава, так и между расплавом и прессформой, что не способствует формированию однородности материала и увеличивает энергозатраты при реализации процесса. Одним из путей устранения этого недостатка является регулирование реологических свойств материала при его переработке. В связи с этим исследование влияния стеаратов кальция и цинка и их смесей на реологические свойства полимер-минеральных композиций является актуальной задачей.

Материалы и методы исследования

В качестве наполнителя использовали строительный (ГОСТ 8736–93), формовочный (ОАО «Гомельский литейный завод «Центролит»») песок с размером частиц 315 и 500 мкм. и дефекат — отход сахарного производства ОАО «Слуцкого сахарорафинадного завода», имеющий состав, мас. %: CaCO_3 — 65,5—77,8; MgCO_3 — 3,4—8,6; Al_2O_3 — 0,2—3,8; P_2O_5 — 0,9—1,3; Fe_2O_3 — 0,2—1,0; органические вещества 12,0—15,0.

В качестве полимерного связующего применяли вторичные крупнотоннажные полиолефины в частности ПЭВД (ВУ 490315959.013.2011), ПЭНД (ТУ ВУ 490315959.013.2011) и ПП (ТУ РБ 500055085.011-2004).

В качестве лубриканта (технологической смазки) использовали смесь стеарата кальция (ТУ 34767516-003:2008) и цинка (ТУ 2432-062-56856807-06).

Композиции получали путем гомогенизации исходных компонентов в плавильносмесительном агрегате при температурах переработки используемых полимеров.

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

Механические свойства композитов исследова-

ли на автоматизированном стенде INSTRON 5567 (Великобритания) по стандартной методике (ГОСТ 11262–80).

Показатель текучести материала определяли по приведенному диаметру путем раздавливания таблетки полимер-минерального материала между обрабатываемыми плитами при температуре в пределах 100—170 °С.

Результаты и их обсуждение

В результате проведенных исследований установлено, что наиболее эффективно для улучшения текучести полимер-минеральных материалов с использованием кварцевых песков является смесь стеаратов кальция и цинка в соотношении 1:0,5—1,0 соответственно при ее содержании в материале в пределах 1,5—2,5 мас.%. Это позволило увеличить показатель текучести материала на 30—35%. При этом прочностные характеристики материала возрасли на 20%. Улучшение прочности материала обусловлено возможностью формирования в нем однородной структуры вследствие повышения реологических свойств расплава полимера. В результате этого происходит более равномерное распределение полимера между частицами наполнителя в агрегате и прессформе. При этом наблюдается снижение сдвиговых напряжений между компонентами расплава и между расплавом и прессформой, что отражается на показателях усилия прессования и качестве поверхности изделия. Однородность материала подтверждена микроскопическими исследованиями. На основе полученных данных разработана оптимальная рецептура полимер-минеральной смеси, включающая: вторичный полимер (20 мас.%), формовочный песок с размером частиц 315 и 500 мкм (69 мас.%), дефекат (10 мас.%) и технологическую добавку (1 мас.%). Показано, что наилучшие показатели прочности образцов получены при переработке материала в интервале температур 115—130 °С.

Проведена апробация оптимизированных рецептур и выбранных технологических параметров переработки в опытно-промышленных условиях при изготовлении изделий (тротуарная плитка, бордюрный камень, дренажные и ливневые системы, коммуникационные колодцы, кровельные материалы различного эксплуатационного назначения) для жилищно-коммунального хозяйства и строительства.

ОГНЕПРЕГРАЖДАЮЩИЙ БАРЬЕР ИЗ ВСПЕННОГО ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

М.М. Тихонов, О.В. Рева, А.Л. Бейтюк

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

Введение. В настоящее время ограничение распространения пожара по кабельным шахтам гражданских зданий достигается заделкой мест пересечения строительных конструкций с электрической сетью негорючими строительными смесями. Однако использование данных материалов сопряжено с конструктивными недостатками заделки и постепенным ее разрушением, что в случае возникновения пожара способствует подосу воздуха в зону возгорания и распространению пожара по кабельным шахтам.

Альтернативой используемым материалам могут явиться огнезащищенные полимерные вспениваемые конденсированные пены, в частности, жесткие пенополиуретаны (ППУ), обладающие высокой упругостью, механической прочностью и теплоизолирующей способностью. Однако введение замедлителей горения в ППУ, которые подбираются эмпирически [1—3], непредсказуемым образом влияет на закономерности формирования твердой пены и ее физико-механические свойства.

Цель данной работы — исследовать свойства и закономерности формирования огнезащищенной пенополиуретановой композиции марки «Изолан-125», быстро образующей теплоизоляционную пену. Исследуемые замедлители горения: синтетические нетоксичные аммонийные фосфаты двух- и/или трехвалентных металлов, свойства которых возможно регулировать изменением природы металла и соотношения компонентов.

Результаты и их обсуждение. Методом полнофакторного эксперимента установлено, что оптимальная рецептура неорганического замедлителя горения имеет следующее массовое соотношение компонентов: $\text{NH}_3:\text{P}_2\text{O}_5:\text{SO}_3:\text{CaO}:\text{MgO}:\text{Cl} = 0,44:2,72:1,67:1,28:6:1,06$.

Экспериментально доказано, что при массовом соотношении компонентов: фосполиол : изоцианат : антипирен = 1:1:0,35 наблюдается оптимальный баланс между физико-химическими, эксплуатационными и огнестойкими свойствами ППУ марки «Изолан-125».

В связи с отсутствием в литературе данных о процессах, оказывающих определяющее влияние на прекращение горения ППУ, для нахождения факторов, обуславливающих достижение нормативных параметров огнезащищенного ППУ (потеря массы (Δm) не выше 60%, максимальное приращение температуры отходящих газов (Δt_{max}) не выше 60 °С), проведен комплекс исследований. Найдено, что композиционный ППУ материал является трудногорючим, если содержание азота либо азота и хлора

в огнезащитной композиции составляет не менее 0,7—1,6 мас.%, фосфора не менее 1,25 мас.%.

Ведение неорганических антипиренов в состав фосполиольной композиции существенно замедляет вспенивание и затвердевание ППУ, при хранении суспензии происходит седиментация твердых частиц. Нами была предпринята попытка стабилизировать модифицированную полиольную композицию введением поверхностно-активных веществ в количестве не более 1 мас.%. Установлено, что наблюдается существенное замедление расслоения стабилизированной ПАВ огнезащищенной композиции: по мере ее хранения происходит уменьшение размеров частиц твердой фазы и более равномерное их распределение по объему фосполиола, чем в свежеприготовленной суспензии, рис. 1.

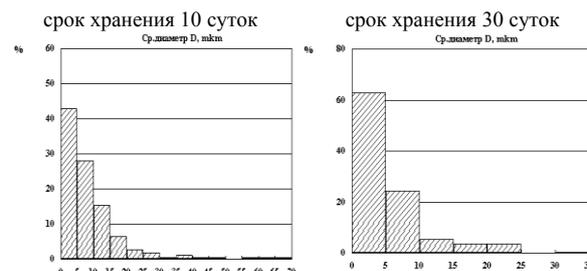


Рис. 1. Распределение по размерам частиц антипирена в фосполиольной композиции, стабилизированной гексадециловым спиртом

Данный эффект вызван агрегацией слипшихся частиц порошка вследствие медленного формирования плотной сольватной оболочки в вязкой среде. В результате испытаний огнезащищенного ППУ в кабельных шахтах гражданских зданий не наблюдалось достижения критических показателей (потеря целостности и теплоизолирующей способности материала и превышения критической температуры на поверхности полимерной оболочки кабеля) в течение проведения испытаний. Таким образом, полученный трудногорючий композиционный материал на основе ППУ активно препятствует распространению пламенного горения в кабельной шахте.

1. Weil R.D. and Levchik S.V. Commercial Flame Retardancy of Polyurethanes // J. Fire Sci. — 2004, no. 22, 183—210
2. Лучкина Л.В. и др. Влияние концентрации антипирена и химической структуры жестких пенополиуретанов на их пожароопасность // Полимерные материалы пониженной горючести: тр. VI междунар. конф., Вологда, 14—18 мая 2011. — Вологда. — 2011, 43—45
3. Feske E.F. and Brown W.R. Flame Retardant Pentane Blown Polyisocyanurate Foams for Roofing // Polyurethane. — 2002, 32—40

ЭПОКСИЦИКЛОПРОПАНЫ В КАЧЕСТВЕ РЕАКЦИОННОСПОСОБНЫХ РАЗБАВИТЕЛЕЙ И МОДИФИКАТОРОВ ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ

Э.Н. Ахмедов¹, Г.А. Рамазанов¹, А.М. Гулиев²

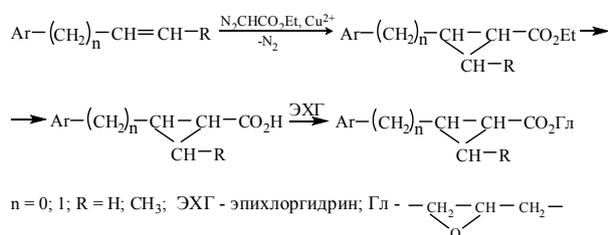
¹Сумгаитский Государственный Университет, Сумгайыт, Азербайджан

²Институт полимерных материалов НАН Азербайджана, Сумгайыт, Азербайджан: abasgulu@yandex.ru

Низкомолекулярные эпоксидные соединения, используемые в качестве разбавителей эпоксидных смол, одновременно являются и модификаторами, изменяющими свойства отвержденных систем и поэтому могут быть применены в целях повышения или снижения температуры тепловой деформации, избирательного повышения химстойкости и придания композициям ряда специфических свойств.

В данной работе приводятся результаты синтеза моноэпоксидных соединений ароматического ряда, являющихся хорошими разбавителями и представляющие интерес для технологии эпоксидных смол.

С этой целью вначале реакцией алкенилароматических углеводов с этоксикарбонилкарбенами, генерированными каталитическим разложением этилдиазоацетата были синтезированы этоксикарбонилзамещенные алкил(арил) циклопропаны, которые затем омылением были превращены в соответствующие кислоты, на основе которых были получены глицидиловые эфиры алкилциклопропанкарбоновых кислот:



Состав и структура полученных эпоксициклопропанов были установлены данными спектрального (ИК и ПМР), химического и элементного анализов, а чистота и изомерный состав контролировались методом ГЖХ-анализа.

Установлено, что синтезированные эпоксициклопропаны оказывают растворяющую способность и хорошо совмещаются с эпоксидной смолой марки ЭД-20. Причем, разбавляющая способность синтезированных эпоксициклопропанов существенно зависит от химического строения активного разбавителя, определяющего его совместимость с эпоксид-

ной смолой. Динамическая вязкость композиции ЭД-20 с эпоксициклопропанами при всех соотношениях компонентов несколько ниже, чем для исходной ЭД-20.

Было показано, что использование синтезированных эпоксициклопропанов в количестве 5—15 мас.% в качестве разбавителей и модификаторов промышленно производимых эпоксидных смол приводит к уменьшению относительной вязкости композиций с ЭД-20 в 1,5—2,8 раза. Для отвержденных композиций найдено, что степень сшивки соответствует 96—98%. Исследован процесс отверждения изготовленных из ЭД-20 и эпоксициклопропанов композиций методом ИК-спектроскопии. Показано, что интенсивность характерных полос поглощения для валентных колебаний —C=O— группы (1720 см^{-1}), скелетных колебаний циклопропанового кольца (1040 см^{-1}) и простой эфирной связи (1180 см^{-1}) имеющих в ИК-спектре композиций, падает по мере отверждения этих композиций. Это свидетельствует о химическом связывании модификаторов с ЭД-20. Экстракция отверждения компаундов в аппарате Сокслета подтверждает сказанное. В результате проведенных исследований доказана возможность регулирования свойств эпоксидных композиций, обеспечивающих придание высоких физико-механических и теплофизических свойств материалам, изготовленным из ЭД-20 и синтезированных эпоксициклопропанов.

Одновременно было установлено, что повышение прочностных, теплофизических и адгезионных показателей.

Таким образом, синтезированные соединения являются эффективными активными разбавителями эпоксидной смолы ЭД-20. Они положительным образом влияют как на технологические, так и на эксплуатационные свойства эпоксидных композиций.

1. Ли Х., Невилл К. Справочное руководство по эпоксидным смолам. — М.: Энергия. — 1973
2. Хозин В.Г. Усиление эпоксидных полимеров. — Казань: Изд-во ПИК «Дом печати». — 2004

ИЗУЧЕНИЕ ВОДОДЕГРАДАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТИЧЕСКИХ ЭПОКСИДИАНОВЫХ СМОЛ

В.С. Безгин

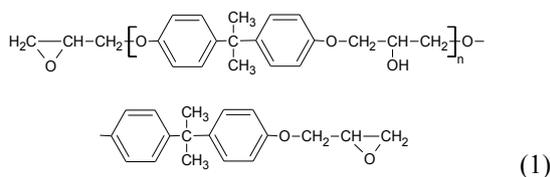
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев, Украина; vsbezgin@gmail.com

Цель

Целью работы является изучение процесса влияния воды на термопластические линейные полимеры и исследования их процесса разрушения, а так же поиск модификатора для ускорения деградации.

Материалы и методы

Термопластичные эпоксидиановые смолы [ТЭДС] стабилизируемые синтетическими полисульфидными каучуками [СПК] имеют высокие физико-механические характеристики и хорошую химическую стойкость [1, 23—26]. Общая формула ТЭДС (1):



Исходные композиции представлены в табл. 1, они описаны в работе [1, 11—15]. Для придания вододegradационных характеристик используем картофельный крахмал ГОСТ 7699–78. Данный модификатор был выбран исходя из доступности и из-за его физических характеристик.

Таблица 1. Характеристики исходных ТЭДС, модифицированные СПК

Смола	Концентрация ПС-каучука на 100 ММ смолы	Рабочий температурный диапазон, °С
ЭД-3	40	-20—160
ЭД-4к	60	-30—120
ЭД-8	10	-20—80
Диапласт	10	-30—210

Водопоглощение (W) определяли по изменению массы образцов после погружения в холодную дистиллированную воду на сутки и 90 суток, после чего рассчитывали его по формуле (2).

$$W_t = \frac{m_t - m_0}{m_0} \cdot 100\% \quad (2)$$

где m_0 — начальная масса образца; $m(t)$ — масса образца после пребывания в воде в течение времени t . Также были проведены исследования вододegradации полученных композиций при внесении исследуемых образцов в кипящую воду в течение часа.

Результаты и их обсуждение

После проведения исследований построим график зависимости водопоглощения от концентрации

крахмала в композиции ТЭДК и СПК. На рис. 1 изображены данные водопоглощения при внесении образца в холодную воду на сутки, а на рис. 2 — на 90 суток. Результаты исследования водопоглощения в кипящей воде представлены на рис. 3.

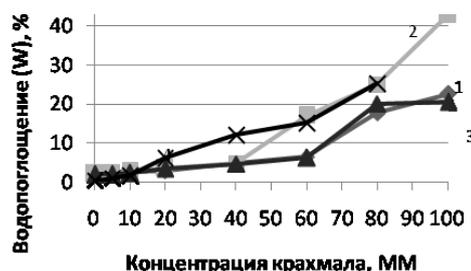


Рис. 1. Зависимость водопоглощения от концентрации крахмала в композиции в течении суток: 1 — ЭД-3/СПК; 2 — ЭД-4к/СПК; 3 — ЭД-8/СПК; 4 — ПГЭ/СПК

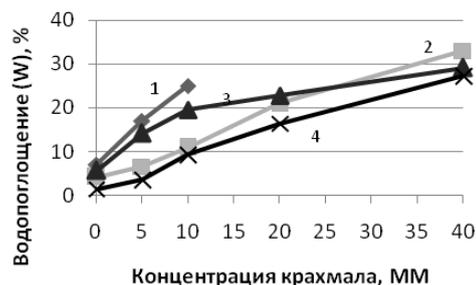


Рис. 2. Зависимость водопоглощения от концентрации крахмала в композиции в течении 90 суток: 1 — ЭД-3/СПК; 2 — ЭД-4к/СПК; 3 — ЭД-8/СПК; 4 — ПГЭ/СПК

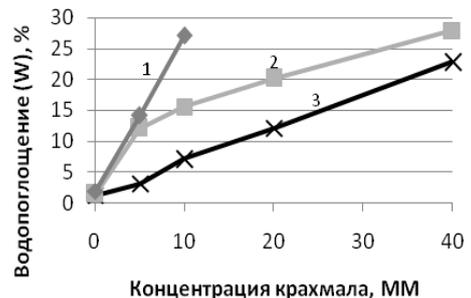


Рис. 3. Зависимость водопоглощения от концентрации крахмала в композиции в кипящей воде в течении суток: 1 — ЭД-3/СПК; 2 — ЭД-4к/СПК; 3 — ПГЭ/СПК

1. Безгин В. С., Конструкционные клеи-расплавы с повышенными потребительскими свойствами // Вестник ДонНАБА 2013. — Макеевка. — 2013, 23—26
2. Безгин В. С. Адгезионные свойства композиций на основе твердых эпоксидных смол. // Сб. докл. Всеукраинской конференции высокомолекулярных соединений, Киев. — 2013, 11—15

МОЛЕКУЛЯРНАЯ СТРУКТУРА ПОЛИМЕРА L-МОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ, ПОЛУЧЕННОЙ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИМ СИНТЕЗОМ

Г.В. Бутовская¹, В.П. Прокопович¹, И.А. Климовцова¹,
Е.Д. Скаковский², Л.Ю. Тычинская²

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

²Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Молочная кислота (МК) и получаемый из нее циклический диэфир (лактид) представляют интерес как мономеры для синтеза полилактидов (ПЛ), которые широко используются в качестве основы биоразлагаемых полимерных композиционных материалов [1]. Основным способом получения МК является микробиологический, основанный на ферментации молочнокислыми бактериями полисахаридов, содержащихся в возобновляемом растительном сырье [2]. Особый интерес представляют ПЛ, синтезируемые из индивидуальных D(-)- или L(+)-стереоизомеров МК или лактида, обладающие способностью к кристаллизации и комплексом ценных физико-химических свойств, который в первую очередь зависит от содержания L- и D-звеньев в макромолекулах и молекулярно-массовых характеристик

Цель

Цель работы заключалась в определении параметров молекулярной структуры (средней длины цепи и ее тактичности) в полимере, синтезированном исходя из отечественной L-МК, получаемой микробиологическим способом.

Материалы и методы

L-МК [3] синтезирована в лаборатории молочнокислых и бифидобактерий Института микробиологии НАН Беларуси (зав. лаб. к.б.н. Н.А. Головнева). Путем культивирования бактерий *Enterococcus faecalis* с использованием мелассы в качестве субстрата получали культуральную жидкость, из которой после очистки выделяли L-МК путем вакуумной перегонки. При превращении очищенной L-МК в L-лактид I в качестве катализатора применяли металлический цинк. Для сравнения использовали L-лактид II производства фирмы Sigma-Aldrich.

Полимеризацию вели при 150—170 °С при давлении 20—60 кПа в течение 2—3 ч в присутствии 2-этилгексаноата олова в качестве катализатора.

Среднечисловую молекулярную массу полимера $\langle M_n \rangle$ определяли методом спектроскопии ЯМР ¹H, содержание L- и D-звеньев в цепи — методами спектроскопии ЯМР ¹³C. Кроме того, по данным спектроскопии ЯМР ¹H определяли конверсию мономера при синтезе ПЛ. Спектры ЯМР растворов полимеров в CDCl₃ регистрировали на спектрометре Bruker-500 при рабочих частотах 500 и 125,8 МГц при комнатной температуре.

Совмещенный термический анализ проводили с помощью термоанализатора STA 449C фирмы

«Netzsch-Geratebau GmbH» (Германия) в режиме дифференциальной сканирующей калориметрии/термогравиметрии на воздухе в интервале температур 30—300 °С со скоростью нагрева 5 °/мин.

Результаты и их обсуждение

Установлено, что выход ПЛ при переходе от высокоочищенного мономера производства фирмы Sigma-Aldrich к мономеру, полученному из L-МК отечественного производства, снижается незначительно (от 93 до 83%). Остаточный L-лактид I после переосаждения полимера из петролейного эфира в ацетон не обнаруживается.

Величины $\langle M_n \rangle$ ПЛ, синтезированных исходя из L-МК, которая была получена микробиологическим способом и из L-лактида II, составляют 6,1·10³ и 1,1·10⁴ соответственно. В спектре ЯМР ¹³C ПЛ, полученного из L-лактида II, в карбоксильной области наблюдается только одиночный сигнал при 171,0 м.д., относящийся к *iiii* последовательности L-звеньев макромолекулы [4], что означает отсутствие D-звеньев в макромолекулах. В то же время в спектре ЯМР ¹³C ПЛ, полученного исходя из L-МК отечественного производства, в карбоксильной области наряду с сигналом при 171,0 м.д. появляются два слабых сигнала при 170,6 м.д. (*isii*) и 170,79 (*iisii*, *sisii*, *sisis*), которые относятся к последовательностям L- и D-звеньев [4], что свидетельствует о наличии некоторого количества D-звеньев в макромолекуле синтезированного П-L-Л. Однако и П-L-Л, полученный на основе микробиологической L-МК, оказывается способным к кристаллизации, хотя по температуре плавления он на 40° уступает П-L-Л, синтезированному из L-лактида II.

Таким образом, доказано, что микробиологическим способом действительно получена L-МК мономерной чистоты, на основе которой удалось синтезировать П-L-Л с таким высоким содержанием L-звеньев, которое обеспечивает возможность кристаллизации его макромолекул.

1. Auras R., Lim L.T., Selke S.E.M., and Tsuji H. Poly(Lactic Acid): Synthesis, Structures, Properties, Processing, and Applications. — N.Y.: Wiley. — 2010
2. Смирнов В.А. Пищевые кислоты. — М.: Легкая и пищевая промышленность. — 1983
3. ТУ ВУ 100235722.233-2014 (проект). Кислота L-молочная мономерной чистоты
4. Buchatip S., Petchsuk A., and Kongsuwan K. Synthesis and Mechanical Properties of Poly (LLA-co-DLLA) Copolymers // Journal of Metals, Materials and Minerals — 2008 (18), 175—180

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ НА РАСТЯЖЕНИЕ СВМПЭ ВОЛОКОН,
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ ЕМКОСТНЫМ РАЗРЯДОМ**

А.Р. Гарифуллин, И.Ш. Абдуллин, К.Н. Галямова, Е.А. Скидченко

Казанский национальный исследовательский технологический университет «КНИТУ», Казань, Россия;
darin-loko@yandex.ru

Сверхвысокомолекулярные полиэтиленовые (СВМПЭ) волокна являются перспективным материалом для волокнистых полимерных композитов, благодаря высокими техническими свойствам. СВМПЭ обладает высокой стойкостью к агрессивным химическим веществам, за исключением окисляющих кислот, характеризуются предельно низким поглощением влаги и очень низким коэффициентом трения. Создание композиционных материалов на основе СВМПЭ расширяет границы его использования. С целью повышения прочности композиционного материала на основе СВМПЭ проводится его модификация высокочастотной емкостной (ВЧЕ) плазмой при пониженном давлении [1].

Для экспериментальных исследований использовалась ВЧЕ плазменная установка с плоскопараллельными электродами [2]. Исследование прочности при растяжении проводили на универсальной испытательной машине Shimadzu AGS-5kNX.

В качестве объектов исследования рассмотрено две марки СВМПЭ волокон D-800 (Китай) и Дунгеета SK-75 (Голландия).

В качестве плазмообразующего газа использовался воздух. После плазменной обработки прочность образцов волокна увеличилась до 13% для SK-75 и до 15% для D-800 прочности на растяжение (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1. Результаты испытания волокон на растяжение после плазменной ВЧЕ обработки

Волокно	Режим	Ср. нагрузка, Н	Ср. деформация, %
SK-75	контроль	339,73	2,69
	модификация	386,62	3,68
D-800	контроль	158,86	3,21
	модификация	181,84	3,42

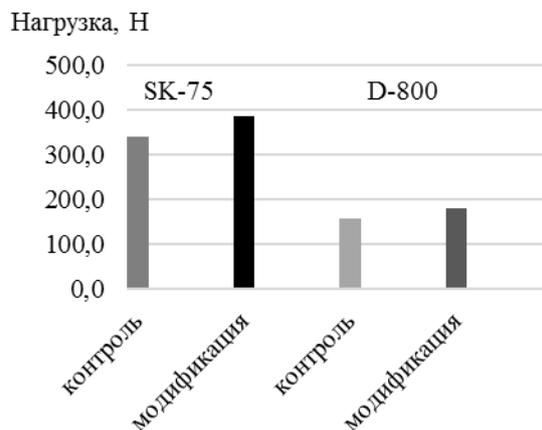


Рис. 1. Изменения разрывной нагрузки образцов после ВЧЕ плазменной модификации

Объяснить полученный эффект можно явлением освобождения свободных радикалов при окислительной обработке в среде воздуха и образованием поперечных связей в волокнах.

Таким образом, изучено воздействие ВЧЕ плазмы на прочность при растяжении СВМПЭ волокон двух марок. На основе полученных данных следует, что данный метод является одним из более перспективных в модификации волокон этой природы.

1. Гришанова И.А., Сергеева Е.А., Илюшина С.В., Шаехов М.Ф. Влияние природы и состава плазмообразующей среды на физико-механические свойства высокомолекулярных полиэтиленовых волокон // Вестник Казанского технологического университета. — Казань. — 2010, № 10, 231—236
2. Абдуллин И.Ш., Желтухин В.С., Сагбиев И.Р., Шаехов М.Ф. Модификация нанослоев в высокочастотной плазме пониженного давления. — Казань: Изд-во Казанского технологического университета. — 2007

ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ АДГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ ТОНКИХ ПЛЕНОК

А.А. Глазунова

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Цель

Целью исследования является разработка метода экспресс-анализ адгезионной прочности тонких пленок из полимерных композитов, имеющих толщину менее 0,2 мм.

Методы исследований

Адгезия твердого тела определяется как величина внешнего воздействия при отрыве адгезива от субстрата [1]. При исследовании адгезионных свойств тонких пленок могут применяться прямые (отрыв пленки от подложки) или косвенные (отслаивание пленки после надреза) методы исследования. В основном применяют механические методы испытаний тонких пленок, например такие как: царапание пленки, истирания пленки определение адгезии при изгибание пленки с подложкой до удаления пленки; сдавливание подложки; удар по пленке; вдавливание до момента растрескивания пленки; образование вздутий (в подложке вытравливается полость, в которую нагнетается воздух до удаления пленки); метод перегрузок (пленку осаждают на ротор центрифуги); отрыв пленки от подложки с помощью ультразвука; нагрев и отпуск (что способствуют отрыву из-за термических деформаций). Однако эти методы не всегда применимы при исследовании тонких полимерных покрытий, в которых толщина составляет менее 0,2 мм.

Для решения этой задачи разработан способ экспресс-анализа адгезионной прочности пленок, условная схема реализации которого показана на рис. 1.

В соответствии с этой схемой на металлический образец 1 наносится краска 2 в виде полос или сетки. Затем на эту поверхность наносят полимерное покрытие 3, которое посредством клеевой композиции 4 соединяется с контрообразцом 5.

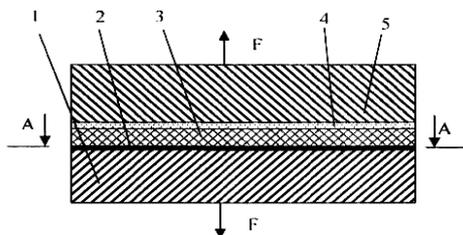


Рис. 1. Схема реализации экспресс-анализа

Для реализации данного метода экспресс-анализа подбирается как краска, так и клеевая композиция. С использованием зависимости (1) рассчитывается площадь поверхности S_{p0} металлического

образца 1 под, непосредственно взаимодействующее с полимерным покрытием 3

$$S_{p0} < S_0 \frac{\sigma_K - \sigma_E}{\sigma_K - \sigma_E}, \quad (1)$$

где S_0 — площадь поверхности металлического образца 1; σ_K — адгезионная прочность подобранной клеевой композиции 4; σ_R — прогнозируемая адгезионная прочность полимерного покрытия 3; σ_E — наименьшее из значений адгезионной прочности подобранной краски 2 с поверхностью металлического образца 1 и адгезионной прочности подобранной краски 2 с полимерным покрытием 3;

Затем определяется площадь S_{E0} поверхности металлического образца 1 для нанесения краски 2

$$S_{E0} = S - S_{p0}, \quad (2)$$

Краску 2 наносят на поверхность металлического образца 1 в виде полос или сетки, на эту же поверхность наносят полимерное покрытие 3. Методом неразрушающего контроля определяют действительное значение площади S_p соединения металлического образца 1 с полимерным покрытием 3 и действительное значение площади S_E контакта поверхности металлического образца 1 с краской 2. Затем с помощью клеевой композиции 4 к поверхности металлического образца 1 с полимерным покрытием приклеивают контрообразец 5, осуществляют равномерный отрыв полимерного покрытия 3 от металлического образца 1 путем воздействия на контрообразец 5, определяют силу отрыва F полимерного покрытия 3 от металлического образца 1 и рассчитывают адгезионную прочность σ_0 полимерного покрытия 3 с поверхностью металлического образца 1 из выражения (3):

$$\sigma_0 = \frac{(F - \sigma_E \cdot S_{E0})}{S_p}, \quad (3)$$

Результаты и их обсуждение

Разработанный метод экспресс-анализа позволяет с более высокой, по сравнению с существующими методами, достоверностью определить адгезионную прочность тонких пленок из полимерных материалов.

1. Способ определения адгезионной прочности газотермических покрытий: пат. 2146044 RU, МПК 7 G01N19/04 / А.Б. Коберниченко. — № 98109310/28; заявл. 13.05.1998; опубл. 27.02.2000.

СИНТЕЗ И ЛИТОГРАФИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОПОЛИМЕРА НА ОСНОВЕ 2-ГЕМДИХЛОР-ПАРА-ЦИКЛОПРОПИЛСТИРОЛА — ГЛИЦИДИЛМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА

К.Г. Гулиев, А.А. Гараева, Г.З. Пономарёва, Т.Н. Гусейнова, Ф.И. Гусейнова

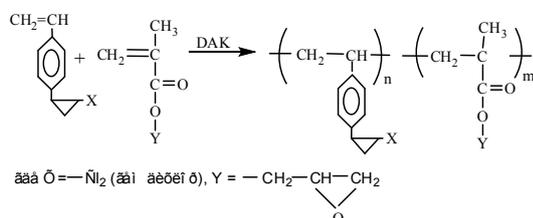
Институт полимерных материалов НАН Азербайджан, Сумгайыт; quliyev.kazim.pm

Данная работа является продолжением исследований, проводимых ранее в области сополимеризации функциональнозамещенных циклопропилстиролов [1—4].

В качестве объекта исследования сополимеризации были выбраны мономеры 2-гемдихлор-пара-циклопропилстирола- (ДХЦПС) M_1 и глицидилметакрилат (ГМА) M_2 . Выбор данного соединения (ДХЦПС) в качестве мономера для изучения его полимеризационной активности и свойств был обусловлен наличием заместителя у циклопропанового кольца, изменяющего степень сопряжения в мономере и влияющего на течение процесса сополимеризации в данных условиях.

Синтез ДХЦПС был осуществлён путём взаимодействия п-дивинилбензола с хлороформом в условиях межфазного катализа в присутствии 50%-го раствора NaOH и триэтилбензиламмонийхлорида.

Сополимеризацию ДХЦПС с ГМА проводили в присутствии динитрилазоизомаляной кислоты (ДАК) в массе и в растворе бензола при 70 °С:



ИК- и ПМР- спектроскопией установлено, что сополимеризация ДХЦПС с ГМА протекает по двойной связи винильной группы с сохранением без изменения циклопропанового кольца и заместителей.

Состав сополимеров определяли по данным элементного анализа и анализа функциональных групп. ИК-спектры — на спектрофотометре «Spectrum UV».

Для количественной оценки реакционной способности исследуемых мономеров определены константы относительной активности сомономеров M_1 и M_2 ($r_1 = 1,35$ и $r_2 = 0,55$) рассчитаны факторы удельной активности мономеров и полярности ра-

дикалов в рамках схемы Q-e Алфрея-Прайса. Из значений величин r_1 и r_2 ($r_1 > r_2$) очевидно, что ДХЦПС обладает большей активностью при сополимеризации, чем ГМА, что вероятно, связано с различной степенью сопряжения в этих мономерях.

На основании рассчитанных констант сополимеризации были получены данные о микроструктуре сополимера. Установлено, что подбором определённых составов мономерных смесей можно осуществить направленное формирование микроструктуры сополимера.

Синтезированный сополимер представляет собой перспективный класс высокомолекулярных соединений, обладающий широким спектром практически ценных свойств. Увеличение в боковой цепи сополимера хромофорных групп, таких как фенольных, циклопропановых и карбонильных способствуют их структурированию при воздействии УФ-облучения. Из-за наличия в макромолекуле сополимера сильнопоглощающих световую энергию фрагментов сополимер является высококачественным светочувствительным материалом (54—58 см²/Дж). Под воздействием УФ-облучения синтезированный сополимер легко подвергается фотохимическим превращениям с образованием сшитых сетчатых структур и потерей растворимости, что позволяет использовать полученный сополимер в литографических процессах в качестве фоторезистивных материалов.

1. Гулиев К.Г., Пономарёва Г.З., Маммедли С.Б. Сополимеризация 2-алкоксиметил-1-(п-винилфенил)циклопропанов со стиролом // Процессы нефтехимии и нефтепереработки — 2009 **2** (38), № 10, 183—186
2. Гулиев К.Г., Пономарёва Г.З., Гулиев А.М. Синтез и свойства эпоксисодержащих полициклопропилстиролов // Высокомолекулярные соединения — 2007 (49), № 8, 1577—1581
3. Гулиев К.Г. Сополимеризация п-(2-гемдихлор)циклопропилстирола с метилакрилатом и свойства полученных сополимеров // Журнал прикладной химии — 2011 (84), № 12, 2030—2033
4. Функциональные мономеры и полимеры (сб. научн. тр. ИПМ НАН Азербайджана). — Сумгайыт: Билик. — 2012, 168—175 / Гулиев К.Г., Пономарёва Г.З., Гулиев А.М. Сополимеризация некоторых функциональнозамещённых циклопропилстиролов со стиролом

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ФРИКЦИОННО-ИЗНОСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ ПАР ТРЕНИЯ

А.Х. Джанахмедов, Н.Г. Джавадов, М.Я. Джавадов

Азербайджанская инженерная академия, Баку, Азербайджан; dzhanakhmedov@yahoo.com

Приводится концептуальный подход к оценке закономерности изменения износо-фрикционных свойств поверхностных слоев металлополимерных пар трения с учетом интенсивности их электротермомеханического взаимодействия.

При трении происходят специфические электро- и теплодинамические процессы физико-химической механики в поверхностных и приповерхностных слоях элементов трения металлополимерных пар, без изучения которых нельзя решить две основные задачи внешнего трения (при работе материалов полимерной накладки в зоне температур, ниже допустимой) и внешнего и внутреннего трения (при работе материалов полимерной накладки в зоне допустимой температуры и выше) при сопутствующих эффектах, явлениях и процессах на электронно-ионном уровне. Смысл задач состоит в рациональном подборе фрикционных материалов для пар трения, обеспечивающих прогнозируемые износо-фрикционные характеристики при регламентируемой эффективности и энергоемкости в любых видах тормозных устройств.

Подтверждена концепция импульсного взаимодействия электронов и ионов (внутреннего) в приповерхностных и поверхностных слоях элементов трения металлополимерных пар, а также контактно-импульсного взаимодействия микровыступов (внешнего) их поверхностей в едином электротермомеханическом поле. Она опирается на градиентную теорию пары трения «металл—полимер», находящуюся в квази- и метастабильном состоянии.

На основе градиентной теории единого поля взаимодействия теоретическим и экспериментальным путем подтверждено изменение износо-фрикционных свойств поверхностных слоев элементов трения металлополимерных пар.

Особенности и закономерности динамического протекания износо-фрикционных процессов в поверхностных слоях элементов трения металлополимерных пар до настоящего времени не были полностью объяснены. Знание этих закономерностей позволит:

– объяснить многочисленные эксперименталь-

ные данные, касающиеся механической, электрической и тепловой нагруженности металлополимерных пар трения;

– судить об износо-фрикционных свойствах поверхностных слоев полимерных накладок, работающих в зоне допустимой температуры и выше, проводить крупномасштабное моделирование внутренних и внешних параметров пары трения, используя при этом теорию межфазного слоя (градиентную теорию), являющуюся составляющей единого поля взаимодействия;

– широко использовать градиентную теорию межфазного слоя, которая является теорией микроструктурного среза с сохраняющимися дислокациями из-за наличия в поверхностных слоях полимерной накладки электролитной составляющей и электрических и термических очагов микровыступов, обладающих различными энергетическими уровнями;

– использовать градиентную теорию межфазного слоя применительно к полимерным накладкам как моста между электронно-ионным (атомистическим) моделированием и континуальной теорией.

Практическое значение данной работы заключается в том, что на его основе представляется возможным:

– разрабатывать структурные схемы механических, электрических и тепловых моделей металлополимерных пар трения тормозных устройств с целью оценки износо-фрикционных свойств их поверхностных слоев;

– учитывать градиенты единого поля не только энергетического взаимодействия микровыступов поверхностей трения, но и их износо-фрикционные свойства для рационального выбора материалов пары трения;

– установить закономерности изменения износо-фрикционных свойств слоев полимерной накладки, что позволит решать вопросы о необходимости их армирования короткими волокнами с целью улучшения механических свойств (увеличения прочности и жесткости, уменьшения деформации и снижения концентрации напряжений)

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО-РЕОЛОГИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ БИТУМНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ**В.П. Дубодел¹, Е.А. Шутова¹, О.Е. Пантюхов², А.М. Валенков³¹Мозырский государственный педагогический университет им. И.П. Шамякина, Мозырь, Беларусь,
dubodelvp @tut.by²Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь³Институт механики металлополимерных систем им В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

Эффективным способом повышения эксплуатационных свойств и долговечности битумно-полимерных композиций является целенаправленное регулирование структурно-реологических свойств битума. Особое значение приобретает разработка битумно-полимерных композиций, обладающих устойчивостью к процессам термоокислительной деструкции и высокой адгезией к бетонным поверхностям. Повышение термостабильности и адгезионных свойств путем введения стандартных модификаторов (поверхностно-активных веществ, адгезионных присадок) не обеспечивает необходимой прочности, трещино- и водостойкости. Указанные проблемы можно эффективно решить только путем модифицирования битума полимерами, в первую очередь вторичными. Однако введение полимеров приводит к значительному увеличению вязкости и снижению текучести таких композиций. С целью снижения вязкости в разрабатываемые композиции предполагается вводить отходы нефтепереработки — нефтешламы Мозырского нефтеперерабатывающего завода.

В настоящее время для изучения вязкостных свойств битумных композиций используют такие стандартные методы: определение глубины проникновения иглы (метод пенетрации) при разных температурах, а также определение температуры размягчения.

С использованием стандартных методик были определены свойства битумно-полимерных композиций следующего состава:

композиция № 1: нефтяной битум + 5 мас.% полиэтиленового воска;

композиция № 2: нефтяной битум + 5 мас.% вторичного полиэтилена.

Установлено, что введение в битум указанных полимеров в одинаковой степени способствует улучшению их свойств. Показатели температуры размягчения увеличиваются на 20% при введении полиэтиленового воска и на 54% при введении вторичного полиэтилена. Однако одновременно происходит увеличение вязкости композиции и снижение ее растяжимости. Для снижения ее вязкости в композицию вводили нефтешлам в количестве 8 мас.% для композиции № 1 и 12 мас.% для композиции № 2. Было обнаружено, что введение нефтешлама пластифицирует композицию, не снижая заметно ее температуру размягчения.

Сравнительный анализ физико-механических свойств композиций до и после термоокисления в течение 5 часов в атмосфере воздуха при температуре 160 °С показал, что после введения нефтешлама показатели композиции снижаются незначительно. Повышение стойкости композиций к термоокислению после введения нефтешлама свидетельствует о том, что нефтешлам является перспективным ингибитором термоокислительной деструкции битумно-полимерных материалов.

Как следует из полученных данных введение в нефтяной битум нефтешлама, несмотря на некоторое снижение теплостойкости и механической прочности (снижение температуры размягчения и увеличение глубины проникновения иглы при заданной нагрузке), способствует повышению растяжимости битума, т.е. снижается его хрупкость. Кроме того введение отходов снижает стоимость битумных композиций и помогает частично решать проблему утилизации нефтешлама.

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ В ПОРАХ ДРЕВЕСИНЫ

Н.С. Камалова, В.И. Лисицын, В.В. Саушкин, Н.Ю. Евсикова

Воронежская государственная лесотехническая академия, Воронеж, Россия; gc@icmail.ru

Получение и преобразование энергии лежит в основе существования цивилизации. Как показало время, наиболее удобной для практического использования формой энергии является энергия электромагнитного взаимодействия, а самой распространенной — тепловая. Поэтому актуальным является вопрос о методах создания термоэлектрических преобразователей. Особенно были бы удобны твердотельные преобразователи. Спектр материалов для таких устройств пока неширок. В данной работе проводится анализ механизмов, которые могут лечь в основу методов использования природной древесины для изготовления термоэлектрических преобразователей.

В основе работы термоэлектрического преобразователя лежит известный эффект Пельтье. Эффективность такого преобразователя в неоднородном температурном поле определяется величиной его добротности [1]:

$$ZT = \frac{\alpha^2}{\lambda \sigma} T, \quad (1)$$

где $ZT = \frac{\alpha^2}{\lambda \sigma} T$, α — термоэдс (коэффициент Зеебека) материала; $T = (T_1 + T_2)/2 = T_1 + \Delta T/2$ — средняя температура преобразователя, определяемая через температуры его холодного и горячего контактов.

Природная древесина представляет собой довольно сложный пористый биокompозит. Установлено [1, 2], что в древесине в неоднородном температурном поле за счет различий в тепловом расширении ее составляющих, пьезо- и пьезоэлектрических свойств целлюлозы и поляризации свободных боковых групп молекул целлюлозы возникает электрическое поле. В обычном состоянии поры древесины заполнены раствором необходимых для жизнедеятельности растения солей. Если поместить такой раствор во внешнее электрическое поле с разностью потенциалов U , в нем появится ионный ток, обусловленный макроскопическим перемещением ионов солей в растворе.

Простейшей математической моделью механизма взаимодействия иона и молекулы воды является неупругий удар. В электрическом поле ион массой m_i и зарядом q_i приобретает кинетическую энергию:

$$W_k = \frac{1}{2} m_i v_i^2 \approx q_i U. \quad (2)$$

Согласно закону сохранения импульса для неупругого удара импульс системы «молекула воды + ион» после взаимодействия с молекулой воды массой m_0 будет равен p_i . С учетом (2) кинетическая энергия будет определяться выражением:

$$W = \frac{1}{2} m_0 v_i^2. \quad (3)$$

Выражение (3) показывает, что кинетическая энергия молекулы воды, на которую адсорбируется ион, зависит от характеристик внешнего электрического поля. Следовательно, при определенных значениях этих характеристик увеличивается вероятность перехода молекулы воды в свободное состояние в результате десорбции. Распределение вероятности такого события носит пороговый характер, поэтому его удобно моделировать как

$$F(W; T) = \frac{1}{1 + \exp((W - W_0(R - r))/kT)}, \quad (4)$$

где $W_0(R - r)$ — необходимая для десорбции молекулы энергия, зависящая от радиуса поры R и расстояния от центра поры до центра масс молекулы r . В приближении сильного поля ($W - W_0 > kT$):

$$F(W; T) \approx \exp(-(W - W_0(R - r))/kT). \quad (5)$$

Поскольку $W_0(R - r)$ зависит от радиуса поры и величины сорбционного слоя, то вероятность перехода молекулы воды в свободное состояние и, следовательно, концентрация ионов в поре будет неравномерной, что приведет к возникновению диффузионных потоков, которые, в свою очередь, сильно зависят от распределения температуры в поре.

Таким образом, в природном биокompозите (подобно эффекту Пельтье в полупроводниках) различие средней энергии носителей заряда может быть связано с неравномерностью концентрации ионов солей в порах. В заключение отметим, что результаты исследований термоэлектрических явлений в древесине могут лечь в основу создания принципа работы датчиков по контролю влажности древесины во время сушки.

1. Лисицын В.И., Камалова Н.С., Саврасова Н.А., Бирюкова И.П., Кумицкий Б.М., Саушкин В.В. Термополяриционный эффект в полостных структурах гетерогенных систем // Известия РАН. Серия физическая. — 2013 (77), № 8, 1180
2. Камалова Н.С., Евсикова Н.Ю., Лисицын В.И., Матвеев Н.Н., Саушкин В.В. Мониторинг микроструктуры целлюлозы в древесине в неоднородном температурном поле // Полимерные композиты и трибология (ПОЛИКОМТРИБ-2013). — Гомель. — 2013, 235

ОСОБЕННОСТИ СВОЙСТВ ШИННЫХ РЕЗИН С КОМПОЗИЦИОННЫМ АКТИВАТОРОМ ВУЛКАНИЗАЦИИ

С.Н. Каюшников¹, Н.Р. Прокопчук², К.В. Вишневецкий²

¹Открытое акционерное общество «Белшина», Бобруйск, Беларусь

²Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь, vik@belstu.by

Введение

В шинной промышленности, как правило, в качестве активаторов используется оксид цинка в комбинации с жирной кислотой (стеариновой или олеиновой). В присутствии активаторов кинетика вулканизации практически не меняется, но уменьшается сульфидность поперечных связей, вследствие чего возрастает концентрация поперечных связей при одинаковом содержании связанной серы [1]. В связи с дефицитом оксида цинка в промышленности в настоящее время прослеживается тенденция к снижению его концентрации и поиску возможности применения композиционных соединений, содержащих комбинацию первичного и вторичного активаторов [1, 2].

Цель

Установление влияния композиционного активатора «Вулкатив» на упруго-прочностные свойства шинных резин.

Материалы и методы

Композиционный активатор «Вулкатив» представляет собой органо-минеральную композицию, содержащую оксид цинка, соли жирных кислот растительного происхождения и целевые добавки (ТУ 2294 001-31273447-2010 производства ООО «Совтех» г. Воронеж). Использовались эластомерные матрицы на основе натурального каучука и комбинации НК+СКД. Содержание оксида цинка в смеси на основе НК составляло 3,5 мас.ч., а в смеси на основе комбинации каучуков — 3,0 мас.ч. Композиционный активатор вводился в резиновые смеси в индивидуальном виде и в комбинации с оксидом цинка.

Определение стойкости резин к термическому старению определяли по изменению физико-механических показателей в соответствии с ГОСТ 270–75 и ГОСТ 9.024–74. Плотность поперечной сшивки макромолекул исследуемых композиций оценивали по данным равновесного набухания с применением уравнения Флори-Ренера [3].

Результаты исследования

Определение основных физико-механических свойств вулканизатов показало, что при введении композиционного активатора в индивидуальном виде и в соотношении с оксидом цинка 3:1 происходит снижение показателей прочностных характеристик резин, при этом значение относительного удлинения

при разрыве для всех исследуемых эластомерных композиций практически не изменяется. Поскольку изменения в структуре вулканизатов могут происходить и без значительного ухудшения прочностных свойств, интерес представляли испытания по определению стойкости исследуемых резин к тепловому старению на воздухе.

Результаты исследований резин после воздействия повышенных температур показали, что при частичной замене (до 50%) оксида цинка на композиционный активатор характер изменения свойств резин аналогичен вулканизатам, содержащим традиционную систему активаторов (оксид цинка + стеариновая кислота).

Наибольшее влияние на изменение структуры и ухудшение свойств каучуков оказывают протекающие в них процессы старения, обусловленные, как правило, деструкцией полимерных цепей. Для резин определяющим фактором, наряду со строением макромолекул, является структура вулканизационной сетки [4]. Активаторы вулканизации, участвуя в процессе вулканизации, оказывают влияние не только на количество, но и на параметры образующихся поперечных связей. В результате исследований структуры вулканизатов выявлено, что наиболее существенные изменения показателей структуры наблюдаются только при использовании в составе эластомерных композиций «Вулкатива» в индивидуальном виде, что может быть обусловлено природой нового активатора, содержащего в своем составе меньшее количество оксида цинка.

Заключение

Таким образом, на основании полученных данных установлены наиболее приемлемые соотношения композиционного активатора и оксида цинка, позволяющие получать резины не уступающие по упруго-прочностным свойствам эластомерным композициям, содержащим традиционный активатор вулканизации и обладающие несколько большей устойчивостью к тепловому старению.

1. Пичугин А.М. Материаловедческие аспекты создания шинных резин. — М.: Машиностроение. — 2008
2. Мухутдинов А.А. О возможности снижения дозировки цинка в резиновых смесях // Каучук и резина. — 1994, № 1, 38—47
3. Аверко-Антонович И.Ю. Методы исследования структуры и свойств полимеров. — Казань: КГТУ. — 2002
4. Грасси Н., Скотт Дж. Деструкция и стабилизация полимеров. — М: Мир. — 1988

ОСОБЕННОСТИ СВОЙСТВ РЕЗИН, СОДЕРЖАЩИХ КОМПОНЕНТЫ ИЗ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ

А.В. Лешкевич, Ж.С. Шашок

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

Введение

В настоящее время, в связи с недостатком нефтепродуктов, большое внимание уделяется переработке отработанного масла, с целью дальнейшего использования продуктов на его основе в резиновой промышленности. Это относится не только к моторным маслам, но и к индустриальным, компрессорным, трансформаторным, турбинным и другим маслам. Отработанные масла, попадающие в окружающую природную среду, лишь частично удаляются или обезвреживаются в результате природных процессов. Основная же их часть является источником загрязнения почвы, водоемов и атмосферы. Поскольку все эти масла являются очень ценным сырьем, они собираются и подвергаются регенерации для их повторного использования [1].

Целью работы являлось исследование влияния продуктов переработки отработанных масел (ДВЧ-1, ДВЧ-2) в сравнении с промышленными маслами (И-20 и ПН-6) на технические свойства эластомерных композиций на основе этилен-пропиленового (СКЭПТ) каучука.

Материалы и методы

Исследуемые пластификаторы производства ИООО «ДВЧ-Менеджмент» представляют смесь углеводородов C_{16} – C_{20} , отличающиеся между собой содержанием линейных и разветвленных парафинов. Процесс очистки масел включает в себя стадии: удаление присадок, отделение основной части эмульгированной воды; полное удаление воды и легколетучих фракций; фильтрация продукта.

Стойкость к термическому старению определяли по изменению физико-механических показателей в соответствии с ГОСТ 270–75 и ГОСТ 9.024–74. Для определения концентрации поперечных связей использовали методику равновесного набухания с применением уравнения Флори-Ренера.

Определение упруго-прочностных свойств резин на основе СКЭПТ с продуктами, полученными из вторичного сырья показали, что характер изменения данных показателей не имеет значительных различий по сравнению с композициями, содержащими промышленные пластификаторы.

Результаты и их обсуждение

Под действием повышенных температур происходят необратимые изменения в структуре вулканизата. Определение стойкости резин к тепловому

старению показало, что использование в эластомерных композициях в качестве пластификаторов исследуемых компонентов ДВЧ-1 и ДВЧ-2 в большей мере (на 15—20%) позволяет сохранить эластические и прочностные свойства резин по сравнению с композициями, содержащими промышленные пластификаторы — масла ПН-6 и И-20.

Характер изменения свойств резин при воздействии повышенных температур в первую очередь определяется структурой вулканизата и типом поперечных связей. Воздействие температуры и кислорода воздуха приводит к распаду полисульфидных связей, при этом данный процесс происходит несоизмеримо быстрее окислительного распада макромолекул каучука [2]. Введение пластификаторов может оказывать влияние на плотность пространственной сетки резин и природу вулканизационных связей, образующихся в процессе сшивания макромолекул.

Исследования по определению концентрации поперечных связей выявили, что введение всех пластификаторов в эластомерные композиции на основе СКЭПТ практически не оказывает влияния на плотность поперечной сшивки пространственной сетки. Ранее проведенные исследования показали, что применение в составе резиновых смесей продуктов из вторичного сырья приводит к изменению кинетики вулканизации эластомерных композиций. Повышение стойкости вулканизатов с ДВЧ-1 и ДВЧ-2 к тепловому старению, возможно обусловлено образованием в процессе вулканизации более термостойких поперечных связей.

Заключение

Таким образом, результаты исследований показали, что замена промышленных пластификаторов на продукты из вторичного сырья в резиновых смесях на основе СКЭПТ способствует получению резин, обладающих повышенной стойкостью к воздействию высоких температур. Помимо этого, применение промышленных отходов и полупродуктов нефтехимических производств в резиновой промышленности содействует решению экологических проблем в области загрязнения окружающей среды.

1. Саркисов О.Р. Экологическая безопасность и эколого-правовые проблемы в области загрязнения окружающей среды. — М.: Юнити-Дана. — 2012
2. Корнев А.Е. Технология эластомерных материалов: учеб. для вузов. — М.: Эксим. — 2000

ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТЫ — ТЕРМОСТАБИЛИЗАТОРЫ ПОЛИОЛЕФИНОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

А.Ф. Мануленко, Н.Р. Прокопчук

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь; a.f.manulenko@mail.ru

Цель

Целью работы является проведение исследования по изучению термостабилизирующего действия термоэластопластов различной природы в составе композиций на основе полиолефинов

Полимерные композиционные материалы находят широкое применение во всех сферах деятельности человека. Надежность работы изделий из полимерных композиций и длительность их эксплуатации при сохранении основных свойств в значительной мере зависят от стойкости полимерной матрицы к термоокислительной деструкции.

Термоэластопласты (ТЭП) достаточно часто применяются в составе полимерных композиций для улучшения деформационно-прочностных свойств — повышение эластичности, морозостойкости, стойкости к воздействию динамических знакопеременных нагрузок [1, 2].

Материалы и методы исследований

В качестве базовых полимерных матриц при проведении исследований использовали полиэтилен высокой плотности низкого давления (ПЭНД) и полипропилен (ПП). Модифицирующими добавками выступали бутадиен стирольные термоэластопласты типа СБС — стирол-бутадиен-стирол и СЕБС — стирол-этилен-бутадиен-стирол.

Термостабилизирующее действие термоэластопластов оценивали по изменению энергии активации термоокислительной деструкции согласно СТБ 1333.0-2002 Изделия полимерные для строительства и по результатам испытания на ускоренное старение и теплостойкость по ГОСТ ISO 188-2013.

Химические процессы, протекающие в объеме полимерной композиции при переработке литьем под давлением, исследовали на ИК-Фурье микроскопе Nikolet N10i.

Результаты и их обсуждение

Проведенными исследованиями установлено, что применение в составе композиций на основе ПЭВД и ПП термоэластопластов позволяет несколько повысить значения энергии активации термо-

окислительной деструкции (табл. 1).

Таблиц 1. Значение энергии активации термоокислительной деструкции (E_d)

Показатели	Материалы, композиции			
	ПЭВП	ПЭВП + 5%СЕБС	ПП	ПП + 5% СЕБС
E_d , кДж/моль	154	159	100	108

Отмечено также сохранение деформационно-прочностных показателей композиций при испытании на ускоренное тепловое старение (табл. 2).

Таблица 2. Изменение значений относительного удлинения материалов от времени экспозиции при 150 °С

Материалы	Относительное удлинение (ϵ), % / время экспозиции			
	0 ч	24 ч	48 ч	72 ч
ПП	34	32	33	28
ПП+ 5% СЕБС	59	60	73	50
ПЭВП	200	67	56	45
ПЭВП + 5% СБС	170	79	70	68

По нашему мнению, проявление термостабилизирующего действия термоэластопластов в составе полиолефиновых композиций обусловлено пластифицирующим эффектом модификатора и как следствие снижением внутренних напряжений в объеме композиции, способствующих повышению устойчивости химических связей в макромолекулах матричного полимера к действию тепла и кислорода.

Важную роль в подавлении процессов термоокислительной деструкции в объеме композиции принадлежит так же дезактивирующему действию макрорадикалов термоэластопласта. Образующиеся при термомеханическом воздействии на композицию макрорадикалы термоэластопласта, рекомбинируя с активными центрами матричного полимера способствуют подавлению процессов термоокислительной деструкции.

1. Холден Д., Крихельдорф Х.Р., Куирк Р.П. Термоэластопласты / под ред. Б.Л. Смирнова — СПб.: Профессия. — 2011
2. Пол Д.Р., Бакнелл К.Б. Полимерные смеси / под ред. В.Н. Кулезнева. — СПб.: Научные основы и технологии. — 2009

СОПОЛИМЕРЫ МЕТИЛМЕТАКРИЛАТА С МЕТАКРИЛАМИДОМ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВЫ КОМПОЗИЦИОННЫХ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ю.И. Матусевич

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

В регистрирующих системах для записи голографических изображений часто используют полимерные регистрирующие среды на основе полиметилметакрилата (ПММА), содержащего 9,10-фенантренхинон (ФАХ) в качестве фоточувствительной добавки. Для повышения термической устойчивости регистрирующих сред и улучшения их адгезии к силикатному стеклу вместо ПММА целесообразно использовать сополимеры (СП) метилметакрилата (ММА) с другими полярными мономерами. Ранее было установлено, что скорость записи голографических решеток в этих СП при сравнимой с ПММА молекулярной массе (10^5 — 10^6) определяется, главным образом, величиной межмолекулярного взаимодействия. Чем оно больше, тем дольше длится процесс записи. Известно, что межмолекулярное взаимодействие в полимерах зависит не только от их химического состава, но и молекулярно-массовых характеристик.

Цель

Целью настоящей работы являлось изучение особенностей формирования голографического изображения в полимерной регистрирующей среде на основе СП, существенно отличающейся по молекулярной массе от ПММА и других его СП ММА.

Материалы и методы

Для исследований был выбран СП с метакриламидом (ММА) близкой к ним химической природы, но имеющий на несколько порядков более низкую молекулярную массу ($\sim 10^3$). Сополимеризацию проводили в растворах сомономеров. Мольная доля ММА в исходной смеси с ММА (α) составляла от 0,2 до 0,8. Для оптических исследований использовали пленочные образцы СП размером 10×15 мм, содержащие ФАХ. ФАХ в количестве 6 мол.% вводили в раствор полимера в процессе получения пленок. В качестве источника монохроматического света при записи голографических решеток использовали аргоновый лазер (514 нм). Дифракционная эффективность (DE), записанной в среде голографической решетки, рассчитывалась как отношение интенсивности луча после прохождения дифракционной решетки к интенсивности входящего луча, падающего на решетку.

Результаты и их обсуждение

Фоточувствительная добавка ФАХ, вводимая в ПММА и его СП, под воздействием светового излучения химически связывается с ним. К СП ММА с ММА состава, соответствующего $\alpha = 0,5$, ФАХ присоединяется в наибольшем количестве. После воздействия лазерного излучения на этот СП интенсивность его поглощения в спектральном диапазоне 400—500 нм, характерного для ФАХ, уменьшается. При этом максимум поглощения смещается в низковолновую область, указывая на появление продукта взаимодействия СП с ФАХ. Величина DE записываемой в рассматриваемом СП голографической решетки достигает максимума за 10 с экспозиции и практически не зависит от продолжительности дальнейшей записи. Максимум DE решетки, записываемой в ПММА, достигается за 90 с, а в СП ММА с МАК и АК с оптимальным содержанием полярного сомономера — за 150 и 600 с соответственно. Можно предположить, что низкая молекулярная масса способствует формированию в СП мало упорядоченной надмолекулярной структуры, обладающей большим количеством дефектов. В результате процессы, связанные с диффузией фоточувствительной добавки, сопровождающие образование голографической решетки в СП ММА с ММА, начинаются и заканчиваются значительно быстрее, чем в других СП.

Записать голографическую решетку в СП ММА и ММА, но другого состава (при α отличном от 0,5) практически невозможно. Спектр его поглощения в процессе записи практически не изменяется и еще до воздействия лазерного излучения соответствует ФАХ, химически связанному с СП. Из-за неоднородности надмолекулярной структуры, обусловленного низкой молекулярной массой этого СП, диффузия ФАХ и его взаимодействие с полимером происходят настолько быстро, что практически весь ФАХ еще до записи голографического изображения успевает химически связаться с СП.

Установлено, что адгезия СП к силикатному стеклу также зависит от его молекулярной массы. У СП ММА с МАК и АК, имеющих высокую молекулярную массу, она значительно выше, чем у ПММА, а у низкомолекулярного СП ММА с ММА практически такая же.

СИНТЕЗ И АНАЛИЗ НОВЫХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ РОТОРОВ НА ОСНОВЕ BODIPY — ПЕРСПЕКТИВНЫХ СЕНСОРОВ ИЗМЕНЕНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ ВЯЗКОСТИ

Д.А. Меркушев, А.В. Бобров, Ю.С. Марфин, Е.В. Румянцев

Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново, Россия
ununnamed911@gmail.com

Молекулярные соединения — это вещества, молекулы которых способны к внутримолекулярному переносу заряда возбужденного состояния. При возбуждении такая молекула переходит в т.н. «скрученное» состояние, когда один из объёмных заместителей поворачивается относительно массового остова. Обратный переход в основное состояние обуславливает безызлучательную возможность рассеяния энергии возбужденного состояния, и данная возможность зависит от реологических характеристик среды, и, в значительной мере, от вязкости. Изменение вязкости наблюдается при конформационных переходах, процессах полимеризации, поликонденсации. Одним из перспективных направлений является мониторинг процессов золь-гель синтеза — одного из эффективных способов получения современных гибридных материалов с органическими красителями. Молекулярные роторы активно изучаются, но до сих пор нет общей теории, объясняющей изменение их свойств в зависимости от природы заместителя и от свойств среды.

В работе были синтезированы 3 комплекса борфторидных комплексов дипирролилметена (BODIPY), с разными заместителями в мезо-положении. 1 — 4,4-дифтор-8-фенил-1,3,5,7-тетраметил-2,6-диэтил-4-бор-3а,4а-диаза-*s*-индацен, 2 — 4,4-дифтор-8-(4-диметиламинофенил)-1,3,5,7-тетраметил-2,6-диэтил-4-бор-3а,4а-диаза-*s*-индацен, 3 — 4,4-дифтор-8-(3,5-диметилфенил)-1,3,5,7-тетраметил-2,6-диэтил-4-бор-3а,4а-диаза-*s*-индацен. Анализ роторных свойств проводили в ряде полярных и неполяр-

ных органических растворителей, а также их смесей с разной вязкостью в условиях варьирования температуры. Анализ роторных свойств проводили на основе рассчитанных величин квантового выхода.

Все исследованные комплексы проявляют роторные свойства, причём, изменение высокой степени отзывчивости к изменениям локальной вязкости позволяет отнести их к интенсивным молекулярным роторам. Было показано, что соединение 2 значительно ухудшает свои роторные свойства при работе в полярных растворителях, что, как мы предполагаем, связано с наличием неподеленной электронной пары на атоме азота в заместителе. Увеличение вязкости раствора приводит к уменьшению роторного отклика, что, скорее всего, связано с изначальным затруднением вращения ротора. Роторные свойства BODIPY ослабевают и в растворах с низкой вязкостью, что связано с недостаточным влиянием среды на процесс вращения объёмного заместителя. Таким образом, было установлено, что для каждого молекулярного ротора существует оптимальный диапазон вязкостей, в котором роторные свойства соединения проявляются лучше всего.

Работа выполнена при поддержке стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам, осуществляющим перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики (2013-2015 г.) № СП-1742.2013.1 и гранта РФФИ № 14-03-31888.

ПОЛИБРОМСОДЕРЖАЩИЕ НЕНАСЫЩЕННЫЕ ПОЛИЭФИРЫ — МОДИФИКАТОРЫ ДЛЯ ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ

А.М. Мустафаев, И.А. Гусейнов, Н.А. Назарова,
Р.И. Исмаилова, Э.А. Рамазанов, А.А. Мамедова

Институт полимерных материалов НАН Азербайджана, Сумгайыт, Азербайджан; ipoma@science.az

Отвержденные эпоксидные композиции на основе диановых смол имеют низкую термостойкость и хрупкость, что приводит к растрескиванию компаунда. Для улучшения этих эксплуатационных характеристик в состав компаунда вводят модифицирующие добавки [1, 2].

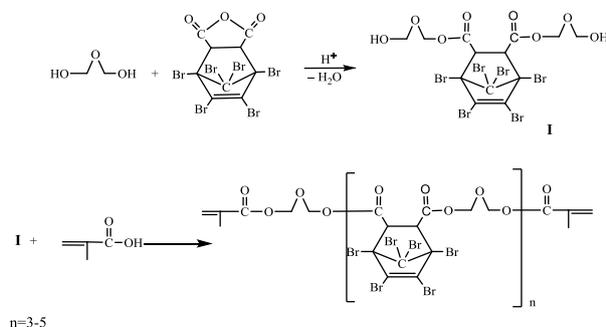
Целью настоящей работы является исследование и изучение синтеза полибромсодержащих ненасыщенных полиэфиров бициклической структуры, как модификатора для эпоксидных смол. Полибромсодержащие ненасыщенные полиэфиры (БНПЭ) получены на основе реакции поликонденсации ангидрида гексабромнорборненидикарбоновой кислоты, диэтиленгликоля и метакриловой кислоты в среде ксилола. Катализатором являлась пара-толуолсульфокислота, а в качестве ингибитора использовался гидрохинон при температуре 135—140 °С.

БНПЭ синтезировались двумя способами.

Первый — одностадийная поликонденсация, т.е. в реакционную колбу помещали все исходные компоненты и проводили реакцию до образования БНПЭ-1.

Следует отметить, что в результате этого метода получают смешанные ненасыщенные полиэфиры нерегулярной структуры, которые плохо смешиваются со смолой. Композиции на их основе имеют низкие физико-механические показатели.

Второй способ заключается в проведении реакции между диэтиленгликолем и бромэндиковым ангидридом. Полученные соединения взаимодействуют с метакриловой кислотой в молярных соотношениях 0,5:1:0,5. Применение двухстадийного метода приводит к образованию БНПЭ-2 с более регулярным строением по схеме:



Структура синтезированных БНПЭ-2 доказана ИК-, ЯМР спектроскопией и элементным анализом

Синтезированные БНПЭ-2 применялись в качестве модификатора эпоксидной композиции на основе ЭД-20. Изучались эпоксидные композиции, содержащие модификатора (БНПЭ-2) в количестве 10, 20 и 30 мас.ч. на 100 мас.ч. смолы. В качестве отвердителя использовался полиэтиленполиамин (ПЭПА). Образцы в виде лопаточек получали по следующей методике: в нагретую до 80 °С смолу при перемешивании малыми порциями добавляли БНПЭ-2. После этого к смеси добавляли необходимое количество (10 или 20%) ПЭПА. Смесь заливали в формы и отверждали 24 часа при комнатной температуре, далее отверждали 2 часа при 80 °С и 2 часа при 120 °С. После этого изучали физико-механические свойства полученных композиций.

В результате исследований было доказано, что БНПЭ, полученные двухстадийным методом, лучше смешиваются с эпоксидной смолой, а композиции на их основе имеют высокие физико-механические свойства.

Таблица. Физико-механические показатели композиции

Показатель	Содержание БНП в смоле, %			Немодиф. композиция
	10	20	30	
Предел прочности при растяжении, МПа	85	99	83	43
Относительное удлинение при разрыве, %	8	12	7	1,8
Теплостойкость по Вика, °С	235	260	225	91
Твердость по Бринеллю, МПа	70	75	63	—

Из таблицы видно, что структура БНПЭ-2 влияет на физико-механические свойства отвержденных компаундов. Все показатели, по сравнению с чистой отвержденной смолой, повышаются. Композиции обладают самозатухающими свойствами. Синтезированные БНПЭ-2 могут найти применение в качестве модификатора для эпоксидной смолы.

1. Молотков Р.В., Ликова Т.А. Совмещение ненасыщенных полиэфиров и эпоксидных смол // Пласт. массы. — 1960, № 12, 16—19
2. Гусейнов И.А., Ищенко Н.Я., Мустафаев А.М., Бекташи Н.Р., Караева А.М., Мустафаев С.Г. Модификация эпоксидиановых смол ненасыщенными полиэфирами // Пласт. массы. — 2008, № 11, 8—9

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОПОЛИМЕРА ЭТИЛЕНА С ВИНИЛАЦЕТАТОМ ДЛЯ КОМПАТИБИЛИЗАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ

В.Д. Мышак, В.В. Семиног

Институт химии высокомолекулярных соединений НАН Украины, Киев, Украина; seminogv@ukr.net

Значительные площади земли загрязняются промышленными и бытовыми отходами. К числу наиболее актуальных проблем можно отнести переработку, утилизацию и рециклинг отходов полиолефинов, а также отходов резиновой промышленности, которые являются одним из важнейших видов вторичных материальных ресурсов. Создание композиционных полимерных материалов на основе отходов полиолефинов и эластомеров, с одной стороны, помогает сохранять первичные ресурсы, с другой — привлечение в производство полимерных отходов, существенно помогает решению проблем по защите окружающей среды.

При получении композиционных материалов на основе вторичного сырья, содержащего различные функциональные группы, в присутствии модифицирующих добавок, можно ожидать улучшения совместимости компонентов исходной композиции и физико-механических свойств конечных композитов — резинопластов. Введением в смесь различных компатибилизаторов можно повысить адгезионное взаимодействие между компонентами композиционного материала.

Цель работы — получение композиционных материалов из полимерных и эластомерных отходов с улучшенными свойствами. Исследование влияния сополимера этилена с винилацетатом (СЭВА) на структурные и прочностные характеристики резинопластов.

В данной работе для получения композитов использовали вторичный полиэтилен (ВПЭ) высокого давления из отработанной сельскохозяйственной плёнки, СЭВА марки 11306-075 и резиновую крошку (РК), полученную измельчением амортизированных шин методом высокотемпературного сдвигового измельчения. Композиционные материалы на основе ВПЭ, севилена и РК получали смешением на одношнековом лабораторном 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.

Полифункциональность вторичных термопла-

стов (ВПЭ) и эластомеров (РК), совместимость химической природы звеньев СЭВА с компонентами полимерной матрицы, их молекулярное расположение в составе сополимера, даёт возможность целенаправленно регулировать таким компатибилизатором структуру и свойства композиционных материалов.

При изучении физико-механических свойств резинопластов на основе ВПЭ и дисперсной РК (соотношение 50:50 мас.%) были получены результаты, которые показали, что введение добавок СЭВА приводит к увеличению разрывной прочности σ_r и относительного удлинения при разрыве $\Delta\epsilon$. Так, показатель $\Delta\epsilon$ повышается с 15,3% для исходной композиции до 61,4% (увеличение в 4 раза), при содержании СЭВА в композиции 1 мас.%, и соответственно 164,9% — при содержании СЭВА 11306 в композиции 10 мас.%. При увеличении содержания сополимера-добавки до 20 мас.% σ_r композиции составляет 8,2 МПа, что на 30% превышает разрывную прочность не модифицированной композиции, что свидетельствует об эффективности использования СЭВА 11306 в качестве компатибилизатора и его модифицирующее действие для композитов на основе ВПЭ и РК. Повышение деформационных характеристик и разрывной прочности композиций в присутствии СЭВА связано с увеличением адгезионной прочности на границе разделения фаз и взаимодействием функциональных групп ВПЭ, резины с полярными винилацетатными группами компатибилизатора.

Проведённые исследования показали, что использование СЭВА в качестве компатибилизаторов композиционных материалов на основе ВПЭ и РК позволяет улучшить процесс их смешения, гомогенизации, способствует совместимости и химическому взаимодействию компонентов полимерной матрицы. Определены эффективные концентрации СЭВА как компатибилизаторов и их влияние на физико-механические характеристики композитов. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования СЭВА, в качестве компатибилизаторов полимерных композиций при создании новых технологий по утилизации и рециклингу вторичного полиэтилена и резиновой крошки.

ВЛИЯНИЕ ТИПА И ДОЗИРОВКИ ИЗМЕЛЬЧЕННОГО ВУЛКАНИЗАТА НА СВОЙСТВА РЕЗИН НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКА

В.В. Мяделец¹, А.В. Касперович¹, Ж.С. Шашок¹, А.Г. Мозырев², А.Н. Солопова²

¹Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь; myadelets.vadim@gmail.com

²Тюменский государственный нефтегазовый университет, Тюмень, Россия

Введение

Сложность переработки вулканизированных резиновых отходов обусловлена как сбором и сортировкой, так и особенностями самого материала. Эластичность, стойкость к действию различных агрессивных сред, нерастворимость в большинстве жидкостей обуславливают высокие затраты и сложность процессов по утилизации резин [1].

При переработке отходов важно сохранить первоначальную структуру и свойства содержащихся в них полимеров. С данной позиции наилучшим способом для переработки резиновых отходов является механическое измельчение. Получаемые измельченные вулканизаты (ИВ) находят применение в качестве наполнителей резиновых смесей для изготовления функциональных изделий. При этом наилучший эффект наблюдается при возврате вулканизированных отходов производства в те же композиции в небольших (порядка 10%) дозировках [2].

Однако, любое производство старается минимизировать свои отходы, поэтому для удешевления изделий целесообразно использовать измельченный вулканизат (ИВ), полученный из изношенных шин.

Цель данной работы — исследовать влияние типа и дозировки измельченного вулканизата на свойства эластомерных композиций на основе бутадиен-нитрильного каучука.

Материалы и методы

Объекты исследования — эластомерная композиция на основе бутадиен-нитрильного каучука марки БНКС-18 А с серной вулканизирующей системой, содержащая в качестве наполнителя неактивный технический углерод.

В работе в качестве наполнителя в композицию дополнительно вводился ИВ двух типов:

1) полученный из отходов производства формовых РТИ (облоя) на основе бутадиен-нитрильного каучука — ИВ-1;

2) из изношенных шин — ИВ-2.

ИВ был получен на дробильных вальцах. В исследованиях использовали измельченный вулканизат с размером частиц 0,63—1,00 мм в дозировках 10—50 мас.ч.

В качестве образца сравнения использовали производственную эластомерную композицию на основе БНК, которая не содержала ИВ.

Результаты и их обсуждение

Установлено, что вязкость по Муни эластомерных композиций возрастает с увеличением дозиро-

ки измельченного вулканизата. Следует отметить, что при введении ИВ-2 вязкость резиновых смесей увеличивается в меньшей степени в сравнении с композициями, содержащими ИВ-1. Так, при введении 50 мас.ч. ИВ для композиции, наполненной шинной крошкой показатель вязкости по Муни составляет 107,9 усл. ед., а наполненной ИВ из облоя формовых РТИ — 113,5 усл. ед.

С увеличением дозировки ИВ наблюдается незначительное увеличение времени достижения оптимальной степени вулканизации. Для всех исследуемых композиций данный показатель находится в интервале 5,39—6,77 мин., при этом оптимум вулканизации образца сравнения составляет 6,27 мин.

Условная прочность при растяжении уменьшается при введении измельченных вулканизатов в сравнении с образцом сравнения. Следует отметить, что при использовании в качестве наполнителя ИВ-1, происходит незначительное снижение прочности — на 0,7—6,5%. При наполнении резин ИВ-2 прочность уменьшается в большей степени — на 0,8—19,7%.

Твердость по Шору А вулканизатов исследуемых композиций незначительно уменьшается с увеличением дозировки измельченного вулканизата. Так, для дозировки 50 мас.ч. шинного ИВ данный показатель составляет 77,1 усл.ед., что на 10,1% меньше, чем у образца сравнения, а при использовании в качестве наполнителя ИВ-1 — 80,0 усл.ед. (уменьшение на 6,8%). Следует отметить, что при дозировке 10 мас.ч. твердость по Шору А практически не зависит от типа измельченного вулканизата (83,1 усл.ед. — для ИВ-1; 82,9 усл.ед. — для ИВ-2)

Заключение

Таким образом, применение шинного ИВ в композициях на основе бутадиен-нитрильного каучука приводит к ухудшению основных свойств эластомерных композиций в большей степени в сравнении с ИВ на основе БНК. Однако, в небольших дозировках (10 мас.ч.) тип применяемого в качестве наполнителя ИВ практически не влияет на такие свойства как условная прочность при растяжении и твердость вулканизатов.

1. Макаров В. Использование амортизированных шин и отходов производства резиновых изделий. — Л.: Химия. — 1986
2. Шведов Р. Е. Теория и практика рециклинга некондиционных резинотехнических изделий / под общ. ред. В.А. Струка. — Гродно: ГрГУ. — 2006

НАНОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ СВМПЭ И СЛОИСТЫХ СИЛИКАТОВ

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

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия; nikiforov_1@outlook.com

Цель

Целью данной работы является разработка полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) и исследование зависимости его свойств от содержания дисперсных природных наполнителей (каолинит и бентонит) и способов их модификации.

Материалы и методы

В качестве полимерной матрицы был использован СВМПЭ марок GUR 4120 и 4022 (Ticona, China). Средняя молекулярная масса составляет $5 \cdot 10^6$. Наполнителями были выбраны слоистые силикаты: каолинит и бентонит. Каолинит принципиально отличается своим строением. Бентонит, в отличие от каолинита, обладает катионами обмена в межслоевом пространстве [1, 2]. Данный факт является ключевым моментом при модификации ПАВ. В случае каолинита затруднительно интеркалировать молекулы ПАВ в межслоевое пространство каолинита обработкой слоистого силиката раствором ПАВ. Был предложен механохимический метод модификации слоистого силиката ПАВ путем совместной механоактивации в планетарной мельнице. ПКМ были получены методом горячего прессования при давлении 10 МПа и температуре 175 °С. Для исследования влияния предложенного метода были проведены микроскопические исследования методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и физико-механические испытания.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 и 2 представлены результаты физико-механических испытаний. По результатам исследований было выявлено, что наполнение СВМПЭ механоактивированным бентонитом сохраняет физико-механические характеристики ПКМ на уровне исходного полимера. Модификация поверхности наполнителя ПАВ приводит к ухудшению эксплуатационно-прочностных характеристик. Это вызвано тем, что молекулы ПАВ находятся в объеме полимера, а не на поверхности наполнителя. Возможно, это связано с наличием катионов обмена в межслоевых пространствах силиката, которые не позволяют адсорбироваться молекулам ПАВ на поверхность силиката.

В случае каолинита зарегистрировано существенное улучшение физико-механических характеристик. Возможно, происходит адсорбция ПАВ на месте трещин и искажений кристаллической структуры каолинита, возникших в процессе механоактивации.

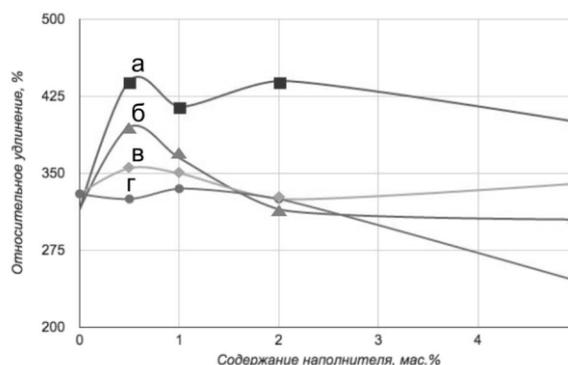


Рис. 1. Зависимость относительного удлинения ПКМ от содержания наполнителя и метода обработки поверхности: а — GUR 4120 + каолинит + ПАВ; б — GUR 4120 + каолинит; в — GUR 4022 + бентонит; г — GUR 4022 + бентонит + ПАВ.

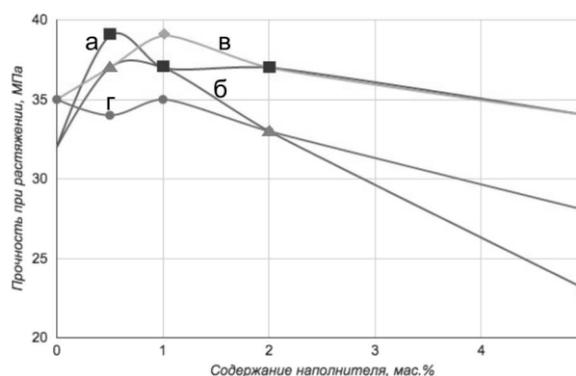


Рис. 2. Зависимость прочности при растяжении ПКМ от содержания наполнителя и способа модификации поверхности: а — GUR 4120 + каолинит + ПАВ; б — GUR 4120 + каолинит; в — GUR 4022 + бентонит; г — GUR 4022 + бентонит + ПАВ.

Структура ПКМ, полученных с использованием ПАВ сильно отличается от ПКМ, наполненных механоактивированными силикатами. При использовании ПАВ уменьшается размер структурных единиц. В отличие от бентонита, обработка каолинита ПАВ показала свою эффективность.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского (Российского) фонда фундаментальных исследований (код проекта 02-01-12345).

1. Пенкаля Т. Очерки кристаллохимии / пер. с польск. под ред. проф. Франк-Каменецкого В.А. — Л.: Химия. — 1974
2. Герасин В.А., Зубова Т.А., Бахов Ф.Н., Баранников А.А. Структура и нанокомпозитов полимер/ Na^+ -монтмориллонит, полученных смешением в расплаве // Российские нанотехнологии. — 2007 (2), № 1, 90—105

ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПОЛИСУЛЬФОНА, ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МЕМБРАН

Т.В. Плиско, А.В. Бильдюкевич

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

Полимерные системы на основе полисульфона (ПСФ) широко используются для получения мембран для разделения жидкостей и газов. Основным методом получения полимерных мембран является метод инверсии фаз, в основе которого лежит процесс фазового разделения формовочной композиции, посредством которого полимер контролируемым способом переводится из раствора или расплава в твердое состояние [1]. Целью данной работы являлось исследование фазовых состояний полимерных систем на основе ПСФ с добавками полиэтиленгликоля (ПЭГ) и поливинилпирролидона (ПВП) для регулирования скорости инверсии фаз при получения мембран, что позволяет направленно изменять структуру и транспортные свойства мембран.

В качестве исходных реагентов для получения растворов были использованы ПСФ марки Ultrason S 6010 ($M_w = 45000\text{--}55000$ г·моль⁻¹, BASF), ПЭГ с $M_n = 400$ г·моль⁻¹ (ПЭГ-400, BASF), ПВП с M_n 10000, 40000, 1300000 г·моль⁻¹ (ПВП К-15, ПВП К-30, ПВП К-90 соответственно, Fluka) и N,N-диметилацетамид (ДМАА, BASF). Приготовление растворов ПСФ в ДМАА с добавками осуществляли на лабораторном стенде, включающем термостатируемую круглодонную колбу и верхнеприводную мешалку (IKA RW 20 Digital, Германия). Для измерения вязкости (η) растворов ПСФ использовали ротационный вискозиметр Brookfield DV III-Ultra. Точку помутнения растворов фиксировали визуально после выдерживания 5 мл раствора в сушильном шкафу в течение 90 мин при заданной температуре.

Капиллярные мембраны на основе ПСФ были получены методом инверсии фаз способом мокрого формования. Удельная производительность мембран измерялась на специально разработанном стенде [2].

Установлено понижение совместимости компонентов при повышении температуры в растворах состава 20% ПСФ, 30–39% ПЭГ-400, 0–8% ПВП, что свидетельствует о наличии нижней критической температуры смешения. Показано, что температура фазового перехода ($T_{ф.п.}$) данных систем зависит от концентрации и молекулярной массы ПВП и концентрации ПЭГ-400.

Установлено, что при увеличении концентрации ПЭГ-400 в 20% растворе ПСФ в ДМАА выше 39% наблюдается фазовое разделение жидкость-жидкость с образованием двух фаз, резко различающихся по вязкости. $T_{ф.п.}$ 20% растворов ПСФ в ДМАА уменьшается при увеличении концентрации ПЭГ-400 с 30% до 39%, причем для системы 20%

ПСФ 30% ПЭГ-400 $T_{ф.п.}$ лежит выше температуры кипения растворителя (ДМАА, $T_{кип.} = 164^\circ\text{C}$).

Показано, что при увеличении концентрации ПВП К-30 в системах с 30% и 35% ПЭГ-400 $T_{ф.п.}$ снижается (рис. 1). Растворы состава 20% ПСФ 35% ПЭГ-400 с концентрацией ПВП К-30 выше 5% представляют собой двухфазные системы при комнатной температуре (фазовый распад жидкость-жидкость), а при 38% ПЭГ-400 предел содержания ПВП К-30 составляет 1,5%.

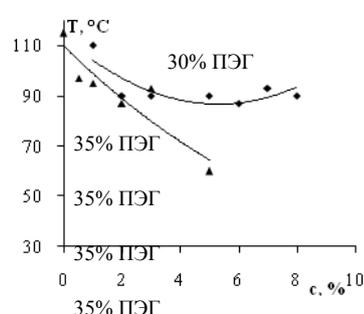


Рис. 1. Зависимость $T_{ф.п.}$ систем ПСФ-ПЭГ-400-ПВП К-30-ДМАА от концентрации ПВП К-30

Выявлено, что увеличение молекулярной массы ПВП сопровождается снижением $T_{ф.п.}$ и увеличением их вязкости (табл. 1).

Таблица 1. Зависимость $T_{ф.п.}$ систем состава 20% ПСФ, 35% ПЭГ-400, 0,5% ПВП К-30, ДМАА от M_n ПВП

M_n (ПВП), кДа	$T_{ф.п.}$, °C	η , Па·с
10	110	17,6
40	90	19,5
1300	70	23,0

Установлено, что повышение температуры внутреннего осадителя (воды) в процессе получения капиллярных мембран позволяет существенно повысить удельную производительность мембран по воде (320 л·м⁻²·ч⁻¹ при 40°C , 450 л·м⁻²·ч⁻¹ при 70°C , 490 л·м⁻²·ч⁻¹ при 90°C), что связано с увеличением скорости инверсии фаз при повышении температуры вследствие приближения системы к границе растворимости.

- Chakrabarty B., Ghoshal A. K., and Purkait M. K. Preparation, Characterization and Performance Studies of Polysulfone Membranes Using PVP as an Additive // J. Memb. Sci. — 2008 (315), 36–47
- Bil'dyukevich A. V., Plisko T. V., Branitskii G. A., Semenkovich N. G., and Zharkevich I. L. Investigation of the Morphology of Polymer-Inorganic Capillary Membranes Based on Polysulfone // Petroleum Chemistry. — 2013 (53), no. 7, 521–528

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА НОВЫХ СИЛЬНООСНОВНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ АНИОНИТОВ

С.Д. Филиппович, В.И. Грачек, А.А. Шункевич, А.П. Поликарпов

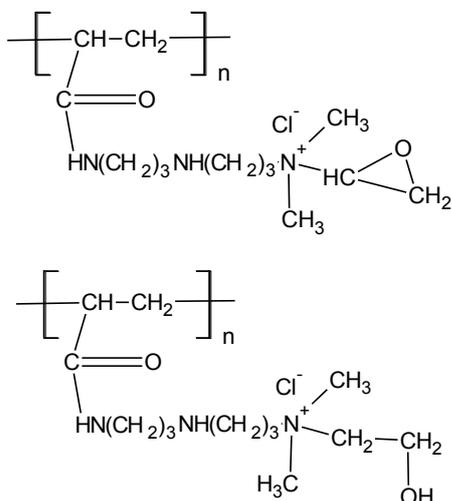
Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь; *grachek@ifoch.bas-net.by*

Цель

Разработать способ получения и изучить физико-химические свойства новых сильноосновных анионообменных волокон на основе полиакрилонитрильного волокна.

Для синтеза сильноосновных волокнистых анионитов использовано полученное ранее в водной среде слабоосновное волокно $E_{ам}$ 5,89 мг·экв/г. $COE_{соон}$ 0,31, набухание 1,57 гH₂O/г [1]. В качестве алкилирующих агентов выбраны эпихлоргидрин (ЭХГ) и этиленхлоргидрин (ЭТХГ). В дальнейшем сильноосновный анионит, полученный при использовании ЭХГ, называется ФИБАН А-13, а при использовании ЭТХГ, ФИБАН А-14. Обменную емкость сильноосновных волокон по аминогруппам определяли по Штамбергу [2], набухание волокон определяли центрифугированием на центрифуге ОПн-8.

Анализ ИК-спектров полученных анионитов показал, что в спектре остаются полосы поглощения, характеризующие амидную группу [1] и появляется полоса поглощения при 2512 ± 5 см⁻¹, характерная для четырехзамещенного аммония.



Исходя из структуры слабоосновного анионита (схема) максимальное теоретически возможное количество присоединенных молекул алкилирующего агента к одному структурному звену слабоосновного анионита равно 3. Поэтому диапазон мольного соотношения ЭХГ или ЭТХГ:NR₁R₂ (слабоосновного анионита) варьировался от 1 до 3. Полученные результаты исследований приведены в таблице.

Результаты показывают, что при алкилировании слабоосновного анионита ЭХГ, полученные

аниониты ФИБАН А-13 обладают большим количеством сильно- и слабоосновных аминогрупп.

Таблица 1. Физико-химические свойства анионитов ФИБАН А-13 и ФИБАН А-14

Мольное соотношение ЭХГ : NR ₁ R ₂	Набухание, гH ₂ O/г	E _{сл} , мг·экв/г	E _{сил} , мг·экв/г	E _{общ} , мг·экв/г
1,0	1,10	3,54	2,22	5,76
1,5	1,05	3,44	2,23	5,67
2,0	0,93	3,24	2,25	5,49
2,5	0,91	3,12	2,36	5,48
3,0	0,89	3,01	2,49	5,50
ЭТХГ : NR ₁ R ₂				
1,0	1,66	4,05	1,21	5,26
1,5	1,60	4,19	1,11	5,30
2,0	1,54	4,12	0,96	5,08
2,5	1,52	3,86	0,71	4,57
3,0	1,50	3,65	0,55	4,20

Для сравнения выпускаемый аналог ФИБАН А-6 имеет следующие характеристики: E_{сл} = 0,8 мг·экв/г, E_{сил} = 2,0 мг·экв/г, набухание 1,2 гH₂O/г. С увеличением мольного соотношения ЭХГ:NR₁R₂ уменьшается величина набухания анионитов, это объясняется сшиванием ЭХГ полимерных звеньев цепи анионита. Величина набухания сильноосновных анионитов меньше, чем у исходного слабоосновного анионита. При алкилировании слабоосновного анионита ЭТХГ, полученные аниониты ФИБАН А-14 обладают большим количеством слабоосновных и небольшим количеством сильноосновных аминогрупп, меньшим, чем у ФИБАН А-6 и ФИБАН А-13.

Варьирование времени, температуры реакции, и концентрации алкилирующих реагентов позволило определить оптимальные условия для синтеза сильноосновных волокнистых анионитов. Установлено, что оптимальные условия получения нового волокнистого сильноосновного анионита ФИБАН А-13 следующие: — время реакции 5 ч, мольное соотношение ЭХГ:NR₁R₂ (слабоосновного анионита) = 2,0—3,0, температура процесса 20—80 °С, концентрация ЭХГ 10%. При использовании ЭТХГ оптимальные условия получения — время реакции 5 ч, мольное соотношение ЭТХГ:NR₁R₂ (слабоосновного анионита) = 1,0—1,5, температура процесса 80—100 °С, концентрация ЭТХГ 10%.

1. Филиппович С.Д., Акулич З.И., Шункевич А.А., Грачек В.И. Новые волокнистые аниониты на основе полиакрилонитрильных волокон // Весці АН Беларусі. Сер. хім. навук. — 2014, № 2, 81—85
2. Полянский Н.Г., Горбунов Г.В., Полянская Н.Л. Методы исследования ионитов. — М.: Химия. — 1976

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ГИДРОЛИЗАТА ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНОГО ВОЛОКНА В ПРИСУТСТВИИ СОЛЕЙ D-ЭЛЕМЕНТОВ

Е.К. Фомина

Учреждение Белорусского государственного университета
«Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», Минск, Беларусь; famina@bsu.by

Цель

Водные растворы гидролизата полиакрилонитрильного волокна (ГПАН) широко применяются в РБ в качестве вспомогательных средств с высокими адгезионными свойствами в защитно-стимулирующих составах (ЗСС) для предпосевной обработки семян [1]. Компонентами таких составов также являются соли d-элементов, например, меди, цинка, марганца и др., используемые в растениеводстве в качестве микроэлементов. Целью работы было определение влияния добавок солей микроэлементов на реологические свойства ЗСС на основе ГПАН.

Материалы и методы

Использовался промышленно производимый препарат ВРП-3 (ТУ РБ 00280198.024-99), очищенный от низкомолекулярных примесей методом диализа. Содержание акрилатных и акриламидных звеньев в макромолекулярной цепи составляло соответственно 70 и 30 мол.%. Динамическую вязкость растворов ГПАН с солями микроэлементов измеряли на ротационном вискозиметре РЕОТЕСТ-2 при 20 °С. Использовали ацетаты Cu(II), Zn(II), Mn(II).

Результаты и их обсуждение

2% растворы ГПАН ведут себя как неньютоновские жидкости (рис. 1). При добавлении 0,04 моль ацетата Na, а также ацетатов Mg (II), Cu(II), Zn(II), Mn(II) и динатриевой соли Cu-ЭДТА в количестве 0,02 моль/л вид реологических кривых существенно не меняется, однако при всех скоростях сдвига наблюдается снижение динамической вязкости. Так как ГПАН содержит способные к диссоциации карбоксилатные группы и является полиэлектролитом, то введение в его водные растворы добавок любых низкомолекулярных электролитов приводит к экранированию заряда на макромолекулах, сворачиванию макромолекулярных цепей и, как следствие, к уменьшению вязкости. Однако в случае ионов d-элементов (Mn(II), Zn(II), Cu(II)) снижение вязкости гораздо более существенно (в 3 раза при использовании Cu(II), в 1,5 раза в случае Na⁺) вследствие образования растворимых хелатных комплексов этих металлов с карбоксилатными группами макромолекул ГПАН.

С увеличением концентрации ГПАН (рис. 2) возрастает динамическая вязкость растворов и становится более выраженной их псевдопластичность.

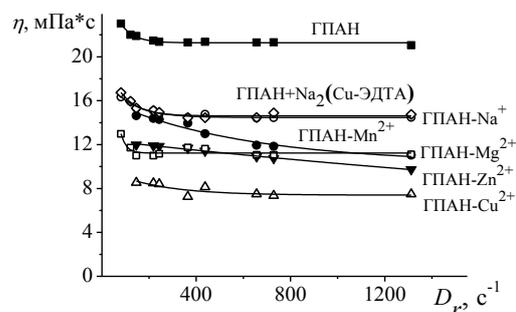


Рис. 1. Зависимость динамической вязкости от скорости сдвига 2% растворов ГПАН при добавлении солей различных металлов

Но добавление ацетата Cu(II) в количестве 0,01 моль/л вызывает уменьшение вязкости при любой из изученных концентраций полимера, хотя можно было бы ожидать, что при высоких концентрациях возможно протекание процессов сшивания макромолекул ионами d-элементов, сопровождающиеся увеличением вязкости, как это наблюдается в присутствии ацетата Cr(III)[1].

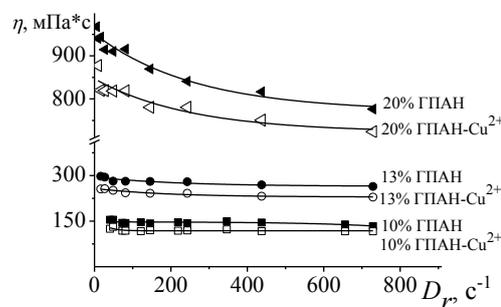


Рис. 2. Зависимость динамической вязкости от скорости сдвига для растворов ГПАН в присутствии Cu(II)

Таким образом, совместное использование солей микроэлементов и ГПАН будет вызывать снижение вязкости ЗСС в целом, однако не приведет к процессам сшивания макромолекул сополимера и потере текучести баковых смесей, что сделало бы невозможным использование таких ЗСС в оборудовании для инкрустирования семян.

1. Гринюк Е.В., Фомина Е.К., Якимцова Л.Б., Круль Л.П. Новые пленкообразующие биотехнические средства сельскохозяйственного назначения на основе химически сшитых функционализированных полиакриламидов / Редкол.: Т.Н. Воробьева и др. // Свиридовские чтения: Сб. ст. — Мн.: БГУ. — 2012, вып. 8, 194—201

ВЛИЯНИЕ КОНФИГУРАЦИИ МАКРОМОЛЕКУЛ ГИДРОЛИЗАТА ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНОГО ВОЛОКНА НА СОРБЦИЮ И ДЕСОРБЦИЮ ИОНОВ МЕДИ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

Е.К. Фомина¹, Е.В. Гринюк², О.В. Якименко², А.П. Поликарпов³, Г.Н. Шанбанович⁴

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

²Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

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

⁴Институт льна НАН Беларуси, п. Устье, Оршанский р-н, Витебская обл, Беларусь

Гидролизат полиакрилонитрильного волокна, известный как препарат ВРП-3, представляет собой водно-солевой раствор сополимера акриламида с акрилатом натрия, отличающийся высоким содержанием карбоксилатных групп. На его основе разработаны композиции растениеводческого назначения, эффективность которых определяется сорбционно-десорбционными свойствами сополимера по отношению к используемым добавкам, прежде всего к микроэлементам, способным хемосорбироваться на карбоксилатных группах макромолекул [1]. На сорбционную и удерживающую способность полимерной основы препарата по отношению к добавкам может влиять конфигурация цепей, которая при получении композиций меняется от линейной до сшитой.

Цель

Целью работы явилось выяснение влияния конфигурации макромолекул полимерной основы препарата ВРП-3 на сорбцию и десорбцию ионов одного из наиболее важных микроэлементов (меди) в водных растворах.

Материалы и методы

Концентрация препарата ВРП-3 по сухому веществу составляла 41 мас.%, содержание карбоксилатных групп в сополимере — 70 мол.%. Сорбцию ионов Cu^{2+} вели из водного раствора сульфата меди, десорбцию в воду — с поверхности пленок, приготовленных из растворов, в которых содержание сополимера составляло 10 мас.%, а меди 0,02 моль/л.

Конфигурацию макромолекул в препарате изменяли путем воздействия на него γ -излучением Co^{60} . Облучение вели на установке РХМ- γ -20. Величину поглощенной дозы варьировали от 2 до 40 кГр. О переходе макромолекул из линейной конфигурации в разветвленную судили по динамической вязкости раствора, которую измеряли на ротационном вискозиметре РЕОТЕСТ-2. Сшивание макромолекул исследовали методом золь-гель анализа. Величины степени набухания (α) и гель-фракции (δ) в сшитом полимере определяли гравиметрически.

Количество ионов Cu^{2+} , поглощаемых растворимыми и сшитыми формами, определяли методом атомно-адсорбционной спектроскопии.

Результаты и их обсуждение

Наиболее существенные изменения конфигурации цепи полимерной основы препарата ВРП-3 происходят при формировании пространственной сетки ковалентных углерод-углеродных связей между макромолекулами. При этом образуются полиэлектролитные гидрогели (ПЭГГ), отличающиеся высоким водопоглощением. Степень сшивания, а также величина набухания в водных средах для ПЭГГ, полученных в результате радиационного воздействия, определяется величиной поглощенной дозы. Установлено, что формирование ПЭГГ в исследуемом препарате происходит при дозах, превышающих 15 кГр. Величины δ возрастают при увеличении дозы, а зависимость величины α от дозы имеет экстремальный характер.

Показано, что наименьшее количество меди (2,67 ммоль/г) сорбирует сильно сшитый образец ПЭГГ. Слабо сшитый образец поглощает медь в несколько большем количестве (2,84 ммоль/г), в то время как исходный препарат с цепями линейной конфигурации отличается максимальной сорбцией по отношению к меди (3,57 ммоль/г).

При дозах, не превышающих 15 кГр, наблюдается только разветвление цепей. В исследованном растворе смеси препарата ВРП-3 с сульфатом меди, в котором на один моль $\text{Cu}(\text{II})$ приходилось 40 молей карбоксилатных групп, вместо не растворимых в воде ПЭГГ формировались растворимые макромолекулярные комплексы. Однако их растворимость снижалась при увеличении дозы, используемой для модифицирования сополимера. В результате количество $\text{Cu}(\text{II})$, переходящей в воду с поверхности пленок за равные промежутки времени, уменьшалось, что и обеспечивало пролонгирование действия микроэлементов.

Таким образом, изменяя конфигурацию полимерной основы препарата ВРП-3, можно регулировать концентрацию сорбированных микроэлементов и обеспечивать пролонгирование их действия.

1. Бутовская Г.В., Матусевич Ю.И., Жук А.В., Фомина Е.К., Привалов Ф.И. Защитные и защитно-стимулирующие полимерысодержащие композиции сельскохозяйственного назначения // Материалы. Технологии. Инструменты. — 2006 (11), № 2, 74–78

МОДИФИКАЦИЯ РЕЗИНЫ УПЛОТНИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ТЕРМОРАСШИРЕННЫМ ГРАФИТОМ

А.Р. Халдеева, М.Д. Давыдова, М.Д. Соколова

¹Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия; haldeeva-anna@mail.ru

Цель

Исследование влияния терморасширенного графита (ТРГ) на основные эксплуатационные свойства и структуру резины В-14-Д-НТА на основе бутадиен-нитрильного каучука БНКС-18.

Материалы и методы

В представляемой работе резина марки В-14-Д-НТА на основе БНКС-18 подвергалась модификации ТРГ. ТРГ вводили в резиновую смесь в количестве от 0,5 мас.% до 2 мас.%. ТРГ — высокотехнологичный материал нового поколения, имеет развитую пористую структуру, представленную порами с размерами меньше 1,0 нм.

Для анализа свойств модифицированных эластомерных материалов проведены следующие виды испытаний: упругопрочностные по ГОСТ 270–75, стойкость к воздействию углеводородных сред по ГОСТ 9.030–74, износостойкость при абразивном истирании по ГОСТ 23509–79, накопление остаточной деформации сжатия по ГОСТ 9.029–74, коэффициент трения на машине трения UMT-3СЕТР по схеме «палец—диск» при следующих параметрах: нагрузка — 10 Н, скорость вращения — 50 об/мин, режим трения — сухой, продолжительность испытания — 30 мин. Исследования структуры проводили на растровом электронном микроскопе JSM 7800F фирмы JEOLLV (Япония) и на рентгеновском порошковом дифрактометре ARLXTRA при излучении CuK_α ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$).

Результаты и их обсуждение

Результаты исследований физико-механических свойств модифицированных резин показали повышение значений относительного удлинения, коэффициента морозостойкости, снижение объемного износа при абразивном изнашивании и остаточной деформации после сжатия.

На рис. 1 представлены результаты исследования коэффициента трения резин. Коэффициент трения является основной фрикционной характеристикой резин для подвижных уплотнений. Высокий коэффициент трения может привести к срезанию отдельных участков поверхности уплотнительной детали, начавшей движение после длительного пребывания в неподвижном состоянии под давлением. Установлено, снижение коэффициента трения в 2,8 раза для резины, содержащей 2 мас.% ТРГ, по сравнению с исходной резиной. Можно предположить, что ТРГ, обладающий всеми присущими

свойствами графита и дополнительно, отличающийся пористой структурой, гибкостью, сжимаемостью, также как, и играет роль сухой смазки в эластомерной матрице.

Результаты структурных исследований показали, что введение ТРГ в эластомерную матрицу В-14Д-НТА прежде всего сказывается на морфологии матрицы: в ней появляются слоистые структуры, образованные частицами ТРГ. На дифрактограммах резин с ТРГ наблюдалось отсутствие некоторых базальных рефлексов ТРГ и смещение пика с максимумом при $2\theta 26,8^\circ$ в область малых углов, что свидетельствует об интеркаляции каучука в межслоевое пространство [1] терморасширенного графита.

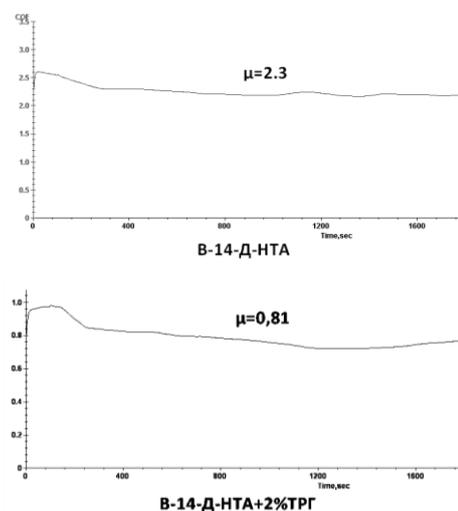


Рис. 1 Зависимость коэффициента трения резин от времени испытания

Таким образом, такое структурирование частиц ТРГ в эластомерной матрице, по всей видимости, и обуславливает повышение эластичности, более быстрое протекание релаксационных процессов вследствие того, что частицы ТРГ способствуют снижению межмолекулярного взаимодействия, более легкому скольжению макромолекул каучука относительно друг друга по направлению приложения нагрузки.

1. Asish Malasa, Chapal Kumar Dasa, Amit Dasb, and Gert Heinrichb. Development of Expanded Graphite Filled Natural Rubber Vulcanizates in Presence and Absence of Carbon Black: Mechanical, thermal and morphological properties // *Materials & Design*. — 2012 (39), 410—417

**КАРБОКСИЗАМЕЩЕННЫЕ ПОЛИПЕНТЕНАМЕРЫ —
МОДИФИЦИРУЮЩИЕ ДОБАВКИ К БСК**

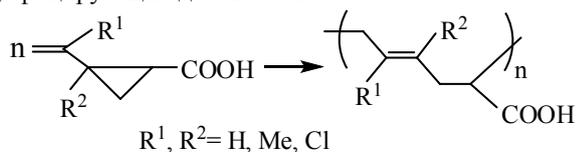
Р.З. Шахназарли, И.А. Исмаилов, А.М. Гулиев

Институт полимерных материалов НАН Азербайджана, Сумгайыт, Азербайджан: abasgulu@yandex.ru

Резины, полученные на основе бутадиенстирольного каучука (БСК), имеют хорошие эксплуатационные свойства, что делает их необходимыми и одновременно перспективными материалами для производства шин, резинотехнических и кабельных изделий и т.д. Несмотря на то, что такие каучуки обладают ценными свойствами, тем не менее, бурное развитие науки и техники требует производства резин и изделий из них с улучшенными эксплуатационными свойствами.

В решении данной проблемы главное место занимает модификация высокомолекулярных эластомеров олигомерными или полимерными соединениями, содержащими в макромолекулах двойные связи и функциональные группы. В частности, в условиях радикального инициирования в качестве модифицирующих добавок для каучуков были использованы олигоэфиракрилаты [1]. Было показано, что из-за структурной близости такие соединения хорошо совмещались с эластомерами, а наличие в их составе полярных групп обеспечивало повышение прочностных и теплофизических характеристик резин. В литературе имеются также сведения о том, что введение в состав каучука олигобутадиенов с концевыми карбоксильными группами, увеличивает пластичность смесей и снижает усадку [2].

В данной работе приводятся результаты использования полипентенамеров, содержащих в макромолекулах карбоксильные группы, в качестве модифицирующих добавок к БСК.



Было установлено, что благодаря структурной близости карбоксизамещенные полипентенамеры хорошо совмещаются с БСК. Полученные результаты показали, что введение в состав эластомерных композиций на основе БСК модифицирующей добавки повышает прочностные показатели, относительное удлинение и уменьшает склонность к преждевременной вулканизации. При оптимальном количестве модифицирующей добавки 5 мас.ч. возрастают: сопротивление разрыву на 8,4—9,4 МПа, от-

носительное удлинение на 70—140%, время начала подвулканизации на 12—16 мин. При этом также несколько улучшается напряжение при 300%-ном удлинении. Повышение напряжения вулканизатов при добавке карбоксипентенамеров свидетельствует об участии используемых полимеров в процессе образования пространственно сетчатых структур.

Установлено, что введение в состав резиновой смеси поликарбоксипентенамеров приводит к повышению устойчивости к тепловому старению. Коэффициент теплового старения при 373 °К за 72 часа по сопротивлению разрыву по относительному удлинению доходит до 0,92, в то время как резины без добавок имеют значения коэффициентов 0,61 и 0,73 соответственно. Наряду с этим, наблюдается также возрастание когезионной прочности резин до 0,90—0,94 МПа.

Повышение устойчивости к старению и прочностных свойств резин при введении поликарбоксипентенамеров может быть объяснено изменением надмолекулярной и вулканизационной структуры эластомер-полимерных композиций.

Показано, что в случае использования карбоксилированного полипентенамера (где R=H) в качестве модифицирующей добавки полученные резины имеют более высокие прочностные и другие теплофизические показатели, чем резины, изготовленные с использованием других полипентенамеров (где R=Me или Cl), что связано с повышением плотности вулканизационной сетки (наличие метильной группы или атома хлора у двойной связи экранирует ее и участие в процессе вулканизации несколько ухудшается).

Таким образом, используемые поликарбоксизамещенные пентенамеры могут быть использованы в качестве модифицирующих добавок к БСК, улучшая основные свойства как резиновых смесей, так и резин на их основе.

1. Кузьминский А.С., Берлин А.А., Аркина С.Н. Модификация каучуков полипентенамерными соединениями. Успехи химии и физики полимеров. — М.: Химия. — 1973, 239—257
2. Петров Г.Н., Шмарин В.Д., Белов И.Б. и др. Синтез и применение эластомеров на основе углеводородных олигомеров с концевыми функциональными группами. — М.: ЦНИИ ТЭ Нефтехим. — 1971, 58—66

СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция 2

Основы трибологии

**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ И ТРИБОЛОГИЯ
(ПОЛИКОМТРИБ-2015)**

23—26 июня 2015 г., Гомель, Беларусь

ЭКСПРЕСС-МЕТОДИКА КОСВЕННОЙ ОЦЕНКИ ЗАДИРОСТОЙКОСТИ АНТИФРИКЦИОННЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Б.Я. Сачек, А.М. Мезрин, Т.И. Муравьева, О.О. Столярова, Д.Л. Загорский

Институт проблем механики РАН, Москва, Россия; bsachek@mail.ru

Введение. Одна из тенденций в современном материаловедении применительно к подшипниковым материалам для цельнометаллических подшипников скольжения состоит в разработке новых алюминиевых антифрикционных сплавов, как альтернативы подшипниковым бронзам, главным образом из соображений экономии дефицитной меди.

Предварительный выбор подшипниковых бронз осуществляется обычно по традиционным показателям (HV , σ , ε , kC_V), характеризующим их объёмные механические свойства [1]. В то же время нормальная работа подшипникового узла в решающей степени зависит от свойств поверхностных слоёв сопряжённых материалов, тем более в условиях их несовершенной смазки, когда велика вероятность их схватывания в процессе эксплуатации. В связи с этим оптимизация составов вновь разрабатываемых сплавов и окончательный их выбор осуществляется по результатам традиционных длительных триботехнических испытаний на антифрикционность и прирабатываемость. [2].

Принимая во внимание существенно возросший уровень лабораторной техники, представляется возможным и целесообразным оценку служебных качеств экспериментальных алюминиевых материалов дополнить методами определения свойств непосредственно поверхностных слоёв, в частности, методами микротвёрдости и склерометрии, что позволит существенно сократить трудоёмкость испытания. При этом, достоверную оценку задиростойкости материала можно дать по контактным напряжениям, обуславливающим процесс микрорезания ($\sigma_{\text{мкр}}$) при склерометрировании опытных образцов.

Цель. Разработка методики косвенной оценки задиростойкости антифрикционных алюминиевых сплавов.

Материалы и методы. Образцы для исследований изготавливались из литейных сплавов, основой которых являлась алюминиевая матрица системы Al-Si-Cu-Sn-Pb. На первом этапе были подготовлены 8 типов образцов, различающихся по элементному составу и процентному содержанию легирующих элементов.

Склерометрирование проводилось на скретч-тестере REVETEST фирмы GSM (Швейцария) с постоянной глубиной царапания.

В процессе эксперимента регистрировалась зависимость коэффициента трения по длине царапания от нагрузки. Заметное увеличение коэффициента трения обычно связано с появлением царапин и вырывов на поверхности канавки и свидетельствует о развитии процесса микрорезания на фрикционном контакте. Производилась фотофиксация канавки и отсчёт величины

нормальной критической нагрузки ($N_{\text{кр}}$), действующей в этот момент. Ширина царапины (b) определялась по фотографии с учётом масштаба. Контрольные триботехнические испытания проводились на триботестере Т-05 по традиционной схеме «вал—вкладыш». В качестве контролбразца использовалось кольцо из стали Ст. 45 (HRc 45...48). В процессе испытаний непрерывно регистрировался коэффициент трения и износ образца в стационарном режиме, по которому расчётным путём определялась интенсивность изнашивания.

Результаты и их обсуждение. Анализ показывает (см. рис. 1), что наиболее вероятными кандидатами на замену свинцовистой бронзы БрОЦС 4-4-17 являются алюминиевые сплавы № 6 и № 8, поскольку, обладая практически одинаковой с ней твердостью, по контактному напряжению микрорезания ($\sigma_{\text{мкр}}$) они отличаются от неё не более, чем на 20%, в то время как остальные опытные сплавы — примерно на 30—60%.

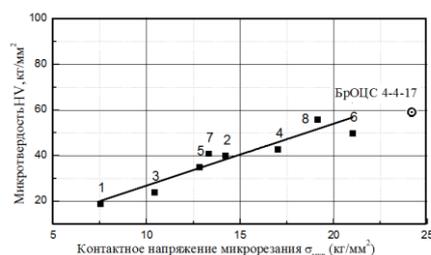


Рис. 1. Корреляция между микротвердостью и контактным напряжением микрорезания (№ 1—№ 8 — номера исследуемых образцов)

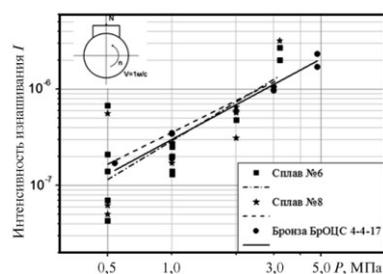


Рис. 2. Зависимость интенсивности изнашивания от давления

Контрольные испытания показали (см. рис. 2), что и по триботехническим характеристикам они оказались близки к бронзе БрОЦС 4-4-17.

Работа проведена при финансовой поддержке гранта РФФ 14-19-01033.

1. Миронов А. Е., Котова Е. Г. Разработка новых марок литейных алюминиевых антифрикционных сплавов для замены бронз в узлах трения // Известия Самарского научного центра РАН. — 2011 (13), № 4(3), 1136—1140
2. Хрушев М. М. Пластичные антифрикционные материалы. Трение и износ в машинах // Труды всесоюзной конференции. — М. Издательство АН СССР. — 1939 (1), 239—256

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИСПЕРСИЙ РАЗЛИЧНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОЧАСТИЦ В ХОЛЕСТЕРИЧЕСКИХ МЕЗОГЕНАХ

Н.В. Усольцева¹, М.В. Смирнова^{1,3}, А.В. Казак¹, А.И. Смирнова¹, С.О. Ильин²¹Ивановский государственный университет, НИИ наноматериалов, Иваново, Россия; nv_usoltseva@mail.ru²Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН,
Лаборатория реологии полимеров, Москва, Россия³Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Иваново, Россия

Введение

Одним из важнейших вопросов трибологии является установление взаимосвязи между химической структурой смазочных материалов (или присадок к ним) с их физическими свойствами. Ранее нами было установлено, что введение даже незначительных добавок эфиров холестерина (0,5—5,0 мас.%) снижает эффективную вязкость смазочного материала, что резко улучшает свойства смазочной композиции [1, 2].

Мезогенными соединениями не исчерпываются возможности применения наноматериалов в трибологии. Эффект синергизма был нами ранее установлен при использовании многостенных нанотрубок для улучшения антифрикционных характеристик смазочных материалов [3], которые обладают такими важными эксплуатационными свойствами, как стабильность при физических и химических воздействиях, высокая теплопроводность и др.

В аспекте изучения влияния углеродных наночастиц на физические свойства мезофаз, ранее мы исследовали дисперсии МУНТ в холестерических жидких кристаллах (ХЖК) [4]. В данной работе была поставлена цель сравнить влияние двух типов углеродных наночастиц (МУНТ и шунгита) на реологические свойства холестерических мезогенов в зависимости от типа наночастиц, их концентрации и температуры композиции.

Результаты и их обсуждение

Реологические характеристики тридецилата холестерина, содержащего 0, 0,005 и 0,020% многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) исследовались методом ротационной вискозиметрии на программируемом вискозиметре Brookfield DV- II + PRO (измерительная система «конус—плоскость» с погрешностью 0,02 сПз), предназначенном для измерения вязкости жидкости при заданных скоростях сдвига. Было установлено, что введение МУНТ в тридецилат холестерина приводит к смещению температур фазовых переходов в область низких температур и увеличению вязкости ЖК-матрицы.

Реологические свойства тридецилата холестерина, содержащего 0, 0,005 и 0,020% шунгита исследовали на ротационном реометре Physica MCR301 (Anton Paar, Австрия). Кривые течения получали при температурах 70, 85 и 100 °С с варьированием скорости сдвига. Температурные зависимо-

сти вязкости получали при скорости сдвига 300 с⁻¹ и скорости изменения температуры 3 °С/мин.

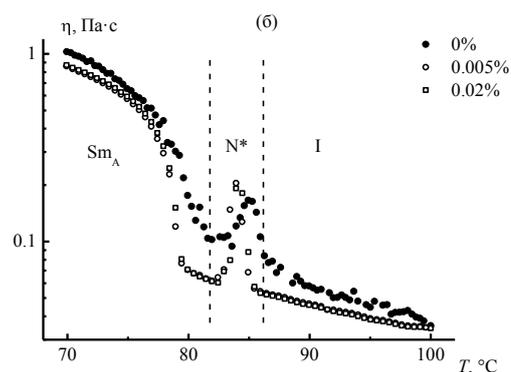


Рис. 1. Зависимость вязкости от температуры тридецилата холестерина, содержащего шунгит, при скорости сдвига 300 с⁻¹. Кривые получены в режиме охлаждения

Установлено, что введение шунгита приводит к незначительному снижению вязкостей тридецилата холестерина во всех состояниях и слегка смещает точки перехода N*-I и N*-Sm_A в сторону меньших температур.

Разные свойства дисперсий шунгита или МУНТ в ЖК мы объясняем особенностями структуры использованных углеродных наночастиц.

Работа поддержана программой Минобрнауки РФ в рамках государственного задания Ивановскому государственному университету для выполнения научно-исследовательских работ на 2014—2016 гг., грант № 4.106.2014/К.

1. Березина Е.В., Корсаков М.Н., Павлов А.С., Быкова В.В., Усольцева Н.В. Кривые течения пластичных смазочных материалов с жидкокристаллическими присадками // Жидкие кристаллы и их практическое использование. — 2010, № 2, 85—96
2. Березина Е.В., Корсаков М.Н., Павлов А.С., Усольцева Н.В. Вискозиметрия пластичных смазочных материалов с мезогенными присадками // Физика, химия и механика трибосистем. — 2009, № 8, 171—173
3. Усольцева Н.В., Якемсева (Смирнова) М.В., Смирнова А.И. Наноструктурированные системы мезогенов и композиции с углеродными частицами на их основе // Нанотехника. — 2014, № 1, 61—66
4. Usoltseva N.V., Smirnova M.V., Sotsky V.V., and Smirnova A.I. Physical Properties of Cholesteric Liquid Crystals — Carbon Nanotube Dispersions // Journal of Physics: conference series. — 2014 (558), no. 1, 12003—12012

**МОЛЕКУЛЯРНАЯ ДИНАМИКА СМАЗОЧНОГО СЛОЯ:
ПРЕДЕЛЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ**О.В. Блинов¹, В.А. Годлевский², С.А. Стулов²¹Ивановский государственный политехнический университет, Иваново, Россия²Ивановский государственный университет, Иваново, Россия; godl@yandex.ru

Применение методов молекулярной динамики для построения динамических моделей граничного смазочного слоя находится в начальной стадии [1, 2], поэтому необходимо на этом этапе обсудить возможности и ограничения данной модельной идеологии.

Как было показано в работе [1], программный комплекс для описания трибосистемы со слоем смазочного материала (СМ) удобно построить, используя готовый программный продукт, предназначенные для моделирования молекул.

Опыт наших расчетов показал, что время обработки одного «кадра» процесса, в течение которого происходит оптимизация молекулярной группировки, представляющей смазочный материал, зависит от производительности компьютера, и для выбранного числа итераций может занять несколько часов. Для больших молекулярных моделей времена счета может достигать несколько суток или недель. Следует предпринимать специальные меры для того, чтобы время обработки модели было приемлемым. При этом нужно принимать, что на производительность расчетов модели трибосистемы со смазочным слоем влияют следующие факторы.

А. Моделирование поверхностей трения:

1) Степень совершенства кристаллической решетки (моделирование дефектов структуры поверхностей), «глубина» модели твердой поверхности. 2) Моделирование неметаллических поверхностей (полимер, эластомер, текстильное волокно, композит и т.д.). 3) Моделирование молекулярной шероховатости поверхностей.

Б. Моделирование смазочного слоя: 1) Размеры молекулы трибоактивного компонента. 2) Количество частиц в модельном кластере смазочного материала (Объем рабочего пространства). 3) Учет молекулярных конформаций. 4) Наличие растворителя, концентрация трибоактивного компонента.

В. Программное обеспечение, расчетные алгоритмы: 1) Выбор метода оптимизации и его программная реализация. Возможности «параллелизации» вычислений. 2) Введение «эффективных радиусов взаимодействия» внутри кластера смазочного материала. 3) Величина шага дискретизации сдвигового процесса. 4) Учет температуры. 5) Учет скорости сдвигового процесса. 6) Выбор вида расчетного параметра для количественной оценки упорядоченности системы (параметра порядка).

Г. Параметры применяемой компьютерной техники: 1) Одно- или многопроцессорные компью-

теры. 2) Тактовая частота процессора.

Наиболее эффективными из этих подходов, по нашему опыту, были следующие:

1) При построении моделей твердых поверхностей нужно строить их не более, чем из двух слоев. При этом структуру виртуальной поверхности выстраивать «принудительно», располагая атомы и молекулы, например, согласно структурной схеме кристаллической решетки металла.

2) Молекулярная масса СМ, особенно для органических компонентов, должна быть существенно ограничена. На данном этапе пределом могут быть размеры типичных коллоидных ПАВ.

3) Расчет взаимодействия каждой частицы кластера со всеми другими частицами займет слишком много времени, поэтому расчет взаимодействий нужно ограничивать некоторым эффективным радиусом.

4) Расчет молекулярного «директора» для анизотричных частиц может отбирать значительную долю вычислительного ресурса, в особенности, если в расчетный цикл включена процедура определения трех пространственных углов каждой частицы. Поэтому следует, задавшись одним конформационным вариантом молекулы, «жестко привязать» позицию «директора» к частице.

Но возникают новые задачи молекулярной динамики, например, изучение роли концентрации трибоактивных присадок, что требует увеличение кластера до нескольких тысяч частиц. Пока это находится за пределами доступного нам вычислительного ресурса. «Однопоточные» приложения молекулярной динамики, не могут воспользоваться ресурсами многопроцессорных систем и программных средств, использующих параллельные вычисления [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (код проекта 9.700.2014/К).

1. Березина Е.В., Годлевский В.А., Кузнецов С.А. Молекулярное моделирование строения смазочного слоя // Трение и смазка в машинах и механизмах. — 2009, № 2, 4—12
2. Godlevskiy V.A., Kuznetsov S.A., Berezina E.V., and Bogomolov M.V. A Software Complex for Molecular Simulation of Boundary Lubrication Layers // Journal of Friction and Wear. — 2012 (33), no. 1, 5—10
3. Обжерин И.А., Ясинский Ф.Н., Соцкий В.В. Применение методов Монте-Карло в распараллеленных вычислениях молекулярных структур методом Хартри—Фока. Жидкие кристаллы и их практическое использование. — 2014, № 4, 91—96

ПОЛЯРИЗАЦИОННАЯ ТРИБОМЕТРИЯ СМАЗОЧНОГО СЛОЯ

Е.В. Березина, В.А. Годлевский, А.Г. Железнов

Ивановский государственный университет, Иваново, Россия; godl@yandex.ru

В литературе представлен ряд пространственных моделей граничного смазочного слоя, описывающих предположительные молекулярные конфигурации в ГС. В работах ряда авторов применены идеи физики жидких кристаллов для решения задач технической и биологической смазки [1]. Для продвижения этих идей необходимо было продвинуть поляризационно-оптическую методику исследования смазочных слоев *in situ*. Первые реализации этих идей привели к созданию прибора типа «поляризационный трибометр [2,3]. Трибометр с регистрацией оптических характеристик смазочного слоя в поляризованном свете лазерного источника при стационарном сдвиге был разработан авторами настоящей работы [4].

Разработано гидродинамическое описание процессов, происходящих в объёме СМ и граничных эпитропных жидкокристаллических (ЭЖК) слоях при стационарном течении СМ в поляризационном трибометре предлагаемой конструкции. Была рассмотрена задача о движении вязкой жидкости в зазоре толщиной d между неограниченными плоскостями, при их относительном вращении с постоянной угловой скоростью ω (рис. 1)

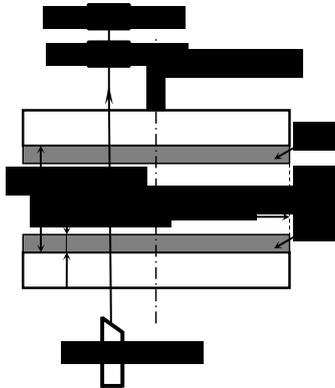


Рис. 1. Рабочая ячейка поляризационного трибометра: 1, 3 — ЭЖК-слои, 2 — СС, Л — лазер, А — поляризатор-анализатор, Ф — фотоприёмник

Движение жидкости описывается уравнением Навье-Стокса, которое применительно к цилиндрически симметричной задаче о движении вязкой несжимаемой жидкости для единственной ненулевой компоненты скорости $v = v_z$ записывается следующим образом:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v}{\partial r} \right) = \rho \nu \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \quad (1)$$

Граничные условия имеют вид:

$$\begin{aligned} v|_{z=0} &= 0 \\ v|_{z=d} &= \omega r \end{aligned} \quad (2)$$

Решение уравнения (1, 2) с граничными условиями (2, 3) позволило получить выражения поля скоростей в слое и момента сил вязкого трения:

$$v(r, z) = \omega \frac{r^2}{d} \left(\frac{z}{d} - \frac{z^3}{3d^2} \right) \quad (3)$$

$$M = \frac{4}{3} \eta \omega R^3 \quad (4)$$

где η — эффективная регистрируемая прибором вязкость СМ, R — радиус вращающегося диска.

При решении уравнения (1, 2) методом Фурье были найдены выражения для полей скоростей в каждой из областей 1, 2 и 3 (см. рис. 1), позволившие рассчитать напряжение силы вязкого трения и момент этой силы M , действующий на подвижный диск радиуса R :

$$\sigma_r = \frac{4}{3} \eta \omega R \left(\frac{z}{d} - \frac{z^3}{3d^2} \right) \quad (5)$$

откуда получим искомое расчётное выражение для толщины ЭЖК слоя в модели слоя постоянной вязкости:

$$d = \frac{1}{1 - \frac{4}{3} \frac{\eta}{\eta_0}} \quad (6)$$

Выражение (6) позволяет по известным значениям объёмной вязкости η и вязкости η_0 , измеренных на сверхтонких прослойках, когда в слое присутствуют только ЭЖК-слои, рассчитать толщину слоя, состоящего из адсорбированных поверхностями трения молекул трибоактивных присадок в случае течения двухфазного СМ между твердыми поверхностями.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (код проекта 9.700.2014/К).

1. Ермаков С.Ф. Трибология жидкокристаллических наноматериалов и систем. — Минск: Беларус. навука. — 2011
2. Левченко В.А. Нанотрибология // Современная трибология: итоги и перспективы. — М.: ЛКИ. — 2008, 320—326
3. Oswald P. and Pieranski P. Nematic and Cholesteric Liquid Crystals: Concepts and Physical Properties Illustrated by Experiments. — London: Taylor and Francis Group. — 2005
4. Березина Е.В., Годлевский В.А., Железнов А.Г. Исследование надмолекулярной структуры смазочного слоя *in situ* // Трение и износ. — 2015 (36), № 3, 244—251

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАДЁЖНОСТИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ ГТД

Е.Ф. Паровай¹, С.В. Фалалеев¹, И.Д. Ибатуллин²

¹Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет), Самара, Россия; kipdla@ssau.ru

²Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

Выполнение постоянно ужесточающихся требований к характеристикам ГТД невозможно без обеспечения надежной работы подшипниковых узлов. Эффективность подшипников скольжения определяется их ресурсными характеристиками, экономичностью, технологичностью и функциональными возможностями. Перспективные гидродинамические подшипники, рассматриваемые в работе, функционируют при высоких частотах вращения в условиях масляного голодания, при низких значениях минимальной толщины рабочего зазора (до 10 мкм в зависимости от типа смазки) [1]. Высокую эффективность их работы обеспечивает гидродинамический слой масла. Для повышения ресурсных характеристик подшипника, работающего в условиях недостаточного маслоснабжения, необходимо снизить влияние трибологических процессов, происходящих в двигателе, в особенности в период запуска и останова, а так же на форсированных режимах работы двигателя.

Первой проблемой является обеспечение запаса надежности при работе в условиях граничного трения (запуск — останов до «выхода на клин», малые обороты и повышенные нагрузки) и в необходимости снижения его последствий. Режиму граничного трения свойственны высокие значения коэффициента трения и повреждение поверхностей в зонах касания. На практике проблема граничного трения гидродинамических узлов решается за счет конструктивно-технологических мер: подбором материалов по критерию устойчивости узла к недопустимым видам трения и недопустимым формам изнашивания в условиях высоких температур. Функционирование подшипника на этом режиме сведено к минимуму благодаря расточке вкладышей в радиус вала, которая обеспечивает практически мгновенный выход на клин.

Вторая проблема связана с минимизацией потерь мощности на трение в подшипнике — при правильном проектировании именно они являются определяющими и приводят к потерям масла (повышенный потребный расход через подшипник, преждевременное старение (окисление) масла). Вследствие излишнего трения возникает необходимость отвода тепла. Также важным является обеспечение допустимого для назначенного ресурса износа, имеющего место при жидкостном трении (абразивный, эрозийный, коррозийный, кавитационный) при работе на основных режимах. Если избежать граничного трения на высоких режимах невоз-

можно, сохранить работоспособность подшипника могут высокие антифрикционные свойства покрытий — низкий коэффициент трения, высокая теплопроводность, термостойкость, контактная износостойкость. Таким комплексом свойств обладают, например, металлофторопластовые покрытия. Более того, их высокие антифрикционные свойства полезны при значительных динамических перекосах и нарушении маслоснабжения вкладышей, что особенно важно для условий «сухого картера». Высокими антифрикционными свойствами и плохой адгезией к загрязнениям обладают наноструктурированные беспористые хром-алмазные покрытия. Серебро выполняет роль твердой смазки, обеспечивает теплоотвод, хорошую прирабатываемость и низкий коэффициент трения [2]. При проектировании высокооборотных подшипников важны меры по снижению уровня разрушающих воздействий, включая тепло и уровень удельных статических и динамических нагрузок в контактной паре, поскольку в случае возбуждения в стыке резонансных частот будет наблюдаться аномальное снижение трения, сопровождаемое, тем не менее, повышенным износом поверхности трения.

Третья проблема заключается в необходимости использования масла с гарантированными показателями качества — отсутствием механических примесей и требуемыми антифрикционными свойствами для защиты контактной пары в условиях граничного и жидкостного трения. При дефиците антифрикционных присадок может произойти разрыв масляной пленки с резким увеличением коэффициента трения, перегревом и закоксовыванием поверхностей трения. Так как присадки в процессе эксплуатации постепенно вырабатываются, то непрерывный контроль масла по всем значимым параметрам становится необходимым условием обеспечения работоспособности подшипника. Для решения данной проблемы разработаны новые способ и устройство для оперативного контроля качества смазочных масел, используемых в двигателях [3].

1. Паровай Е.Ф. Проектирование малорасходных подшипников скольжения роторов турбомашин // Вестник СГАУ. — 2014, № 5 (47), ч. 2, 79—85
2. Gallyamov A.R. and Ibatullin I.D. New Technology, Properties and Application of Nanostructured Antifricition Electrochemical Coatings // LifeSciJ. — 2014, no. 11(12s), 586—591
3. Ненашев М.В., Ибатуллин И.Д. и др. Диагностическая система для контроля качества моторных масел // Известия Самарского научного центра РАН. — 2014 (16), № 1 (2), 464—467

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ПОЛИЭТИЛЕНА НА ПОЛУЗАКРЕПЛЕННОМ АБРАЗИВЕ

В.Р. Гумен, И.В. Князкина, Н.В. Бисерова, В.В. Коврига

Группа «ПОЛИПЛАСТИК», Москва, Россия; kovriga@polyplastic.ru

Цель и объекты исследования

1. В связи с широким использованием полиэтиленовых труб для транспортировки суспензий представляло интерес провести анализ износостойкости различных видов трубных полиэтиленов [1].

2. Для проведения исследования было выбрано 4 основных группы трубных полиэтиленов: ПЭ-80, ПЭ-100, сополимеры этилена с октеном, сшитый полиэтилен.

3. В качестве метода исследования был использован метод оценки износа полужакрепленным абразивом на приборе Табера по методике ISO 9352.

Результаты и их обсуждение

Значения износа представлены на рис. 1 для трех материалов (№ 1, 2, 3, табл. 1) при износе различными абразивами. Для того, чтобы сопоставить данные для износостойкости труб в одинаковых условиях было принято решение сопоставить значения износа при величине абразивного зерна 300 микрон. Эта точка обладает стабильным положением даже в тех случаях, когда зависимость износа от размера абразивного зерна меняет свой наклон. Сводные данные для 13 марок полиэтилена представлены в табл. 1.

Как видно из представленных данных минимальным износом обладают образцы сшитого и сверхвысокомолекулярного полиэтиленов. Для них характерны значения износа не более 0,7 мм³/м. Вторую группу материалов по износостойкости составляют материалы с модифицированной высокомолекулярной фракции типа Dowlex и полиэтилен 100RC, здесь среднее значение износа лежат в интервале 0,9—0,1. Третью группу материалов по износостойкости составляют полиэтилены марки 100, имеющие износ от 1 до 1,1. Четвертую группу составляют полиэтилены 80 и 63 с величиной износа от 1,1 и выше.

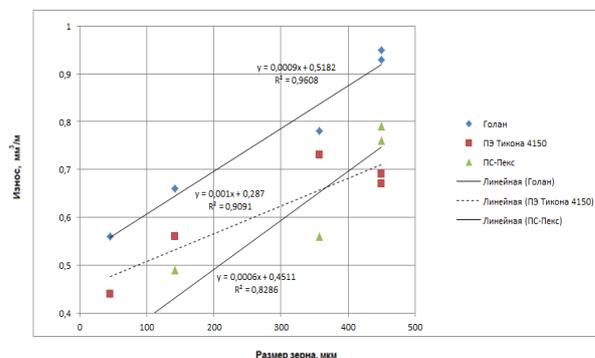


Рис. 1. Зависимость износа от размера истирающего зерна

Таблица 1. Данные по износу абразива с расчетным размером частиц 300 мкм

№	Наименование марки полиэтилена, производитель	Износ определенным весом методом мм ³ /м
		I, W
1	Полиэтилен перекисно-сшитый, ПОЛИПЛАСТИК	0,58
2	СВМПЭ GUR 4150, Тикона	0,63
3	Перекисно сшитый саже Наполненный полиэтилен Голан	0,67
4	Dowlex 2377, Dow	0,97
5	Hostalen CRP100RC, Basell	0,98
6	ПЭ 100 Borsafe 3494-LS, Borealis	1,01
7, 8	PE 100, Марка 2НТ 11-9, Казаньоргсинтез	1,02
9	Hostalen CRP100, Basell	1,07
10	ПЭ 100 марка 6006, Sabic	1
11	ПЭ 80 ПЭ4РР25В, Ставрополь полимер	1,1
12	Полиэтилен 273-83 ТУ022-11-0050236110	1,1
13	Полиэтилен 273-79 ГОСТ 16338-85, Ставрополь полимер	1,1
14	ПЭ 80 F3802В, Ставрополь полимер	1,12

1. Руководящие технические материалы, РТМ 48532278-001-2014, Расчет Дармштадтского ресурса износостойкости и данные по износу труб из различных видов полиэтилена, предназначенных для инженерных сетей, Часть 1. — Группа «ПОЛИМЕРТЕПЛО». — 2014

КИНЕТИКА ФОРМИРОВАНИЯ ГРАНИЧНОГО СМАЗОЧНОГО СЛОЯ В ЗОНЕ КОНТАКТА СТРУЖКА-ИНСТРУМЕНТ ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ

В.В. Новиков

Ивановский государственный университет, Иваново, Россия; novikov-ww@mail.ru

Целью работы было теоретически описать кинетику формирования граничного смазочного слоя трибоактивной присадки растворенной в инертной среде, например, минеральном масле.

В результате когезионного разрыва или вытеснения смазочного слоя на поверхности металла образовалась новая поверхность, на которой смазочный слой отсутствует. Тогда на нем будет формироваться новый смазочный слой за счет диффузии молекул трибоактивной присадки из окружающей поверхность смазки.

Примем, что все молекулы, достигшие поверхности встраиваются в данный смазочный слой и процесс десорбции молекул отсутствует. Тогда количество молекул, осевших в слой, будет определяться объемом пространства, из которого молекулы присадки смогут достигнуть поверхности за счет диффузии.

$$N_c \cdot C \tau = \gamma \frac{V}{V_m} = \gamma \frac{S}{ab} \frac{D\tau}{ab}, \quad (1)$$

где S — площадь ювенильной поверхности, длиной a и шириной b молекулы, C — концентрация присадки в растворе в мол.%, D — коэффициент диффузии, τ — время диффузии, V — объем смазки, V_m — объем одной молекулы.

Нами выделены три стадии формирования граничного слоя. Первая стадия, когда все молекулы присадки находятся на нем в горизонтальном положении. Вторая стадия — молекулы формируют монослой, наиболее плотно упаковываясь, т.е. располагаясь вертикально. Третья стадия — формируется мультислойный граничный смазочный слой.

Кинетику процесса формирования граничного смазочного слоя можно наглядно представить в виде диаграммы (рис. 1). Диаграмма построена с учетом того $a = 10^{-8}$ м, $b = 10^{-9}$ м, $D = 10^{-9}$ м²/с. Рассчитав время для формирования слоя для каждой из трех стадий, можно получить три линии, разделяющие диаграмму на четыре области: I — область, на которой граничный слой еще не сформировался; II — область граничного слоя 1-го типа, III — область с граничным слоем 2-го типа, IV — область с мультислойным граничным слоем. Соответственно зная концентрацию и время можно предсказать, какого типа будет граничный слой.

Например, расчеты показали, что при концентрации присадки 1 мол.% для образования смазочного слоя 1-го типа требуется время порядка микро-

секунд, смазочного слоя 2-го типа — сотни микросекунд, 3-го типа — миллисекунды.

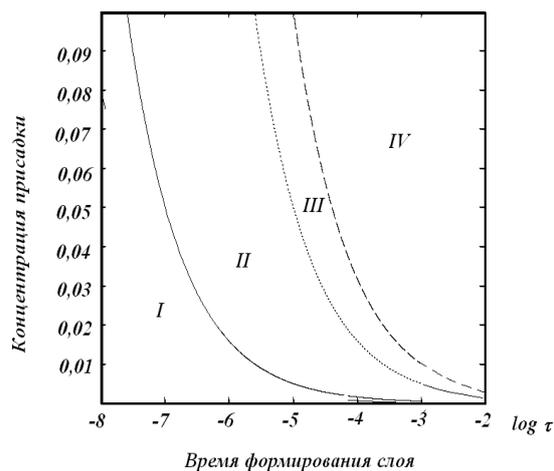


Рис. 1. Диаграмма C(τ)

Несмотря на столь быструю кинетику формирования слоя для процесса резания времени на формирования слоя может не хватить. Типичное время свободного движения микронеровности между актами контактного взаимодействия при резании τ_R инструментом из быстрорежущей стали составляет по нашим оценкам десятки микросекунд, что сопоставимо с кинетикой формирования граничного слоя.

Нами получена формула для оценки концентрации молекул присадки, достаточной для формирования слоя типа II в условиях такого резания:

$$C = \frac{\gamma}{2} \frac{1}{\sqrt{D\tau}}. \quad (2)$$

Данные наших экспериментов по подбору оптимальной концентрации присадок ПЖК в СОТС, показали, что именно в области данных концентрации присадок в СОТС, как дает выражение (2), и достигаются минимальные значения момента резания. Применение высоких скоростей обработки делает невозможным достижение оптимальных смазочных свойств СОТС из-за невозможности сформировать граничный слой с оптимальными свойствами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

ПОВЕРХНОСТНОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ АЛМАЗОПОДОБНЫХ УГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПРИРАБОТКИ В ПАРЕ ТРЕНИЯ

С.Н. Григорьев¹, В.Ю. Фоминский², М.А. Волосова¹, Р.И. Романов², М.В. Демин²

¹Московский государственный технологический университет «Станкин», Москва, Россия

²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Москва, Россия; vyfominskij@mephi.ru

Актуальность и цель

Покрытия из алмазоподобного углерода (а-С) принято характеризовать как износостойкие твердосмазочные, способные обеспечить очень низкий коэффициент трения. Однако особенностью поведения а-С покрытий в паре трения скольжения на воздухе, без смазки является высокое начальное значение коэффициента трения, которое медленно снижается в результате приработки контактных поверхностей. Представляется важным исследование возможности понижения коэффициента трения на начальной стадии скольжения (этапе приработки) контртела по а-С покрытию путем предварительного нанесения на это покрытие тонкой пленки на основе твердосмазочного диселенида молибдена (MoSe_2), а также изучение особенностей трения скольжения и изнашивания а-С покрытий с участием модифицирующих пленок, различающихся структурой и химическим составом.

Материалы и методы

Для получения а-С покрытия и модифицирующих пленок использовался метод импульсного лазерного осаждения в стандартной конфигурации и с использованием противокапельного экрана [1]. Сначала проводилось осаждение покрытия а-С из графитовой мишени, после чего лазерный луч направлялся на мишень MoSe_2 или быстро переводился с одной мишени на другую, так чтобы количество осаждаемого вещества за один цикл облучения мишени не превышала одного монослоя. В ряде случаев перед MoSe_2 мишенью устанавливался дисковый экран, который предотвращал осаждение наночастиц молибдена и крупных капель. При получении композитной модифицирующей пленки Mo-Se-C атомная концентрация углерода варьировалась от 0 до ~75%. Также создавались многослойные пленки, толщина слоев MoSe_x и а-С в которых составляла 3—20 нм.

Покрытия испытывались на машине трения по схеме неподвижный стальной шарик — вращающийся диск (стальная подложка с покрытием) без смазки на воздухе с пониженной и повышенной относительной влажностью. После испытаний поверхность покрытия и стального шарика исследовалась методом оптической микроскопии и профилометрии. Для анализа фазового состава пленок до и после трибоиспытаний использовалась спектроскопия комбинационного рассеяния света.

Результаты и их обсуждение

Характер трибо-индуцированных процессов во многом зависел от структуры модифицирующей пленки и ее химического состава. Многослойные пленки, состоящие из нанометровых по толщине слоев MoSe_x и а-С, могли вызывать развитие процессов интенсивного изнашивания элементов пары трения, так как разрушение таких пленок сопровождалось образованием твердых наночастиц алмазоподобного углерода, обуславливающих абразивный износ.

Влияние композитных пленок Mo-Se-C на приработку обуславливалось трибоиндуцированными изменениями их структуры. В сухом воздухе наиболее эффективное влияние обнаружено при нанесении пленки $\text{MoSe}_{1,5}$, которая обеспечивала низкий (~0,07) начальный коэффициент трения, и он слабо изменялся после ее изнашивания, т.е. при формировании контакта контртела с а-С покрытием. При этом отмечен самый низкий коэффициент износа стального контртела. При повышенной влажности воздуха пленка $\text{MoSe}_{1,5}$ подвергалась ускоренному изнашиванию и вызывала изнашивание а-С покрытия из-за формирования оксидов молибдена в трибопленке.

Окислительный процесс существенно замедлялся при скольжении контртела по композитной пленке Mo-Se-C , содержащей 50 ат.% углерода. Трибовоздействие на такую модифицирующую пленку вызывало формирование двухфазной трибопленки, содержащей наночастицы диселенида молибдена со слоистой структурой и нанографит. Коэффициент трения при скольжении контртела по такой композитной пленке слабо зависел от влажности воздуха и составлял примерно 0,04—0,07. Также при всех условиях испытаний такой модифицирующей пленки зафиксирован относительно слабый износ покрытия и контртела.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке со стороны Министерства науки и образования РФ в рамках базовой части госзадания (направление «Организация научных исследований»).

1. Fominski V.Yu., Grigoriev S.N., Gnedovets A.G., and Romanov R.I. Pulsed Laser Deposition of Composite Mo-Se-Ni-C Coatings Using Standard and Shadow Mask Configuration // Surf. Coat. Technol. — 2012 (206), 5046—5054

ВЛИЯНИЕ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДА НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИУРЕТАНА

А.М. Дворак¹, М.А. Попова¹, В.П. Казаченко², А.Н. Попов¹

¹Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь; m.a.popova.belgut@gmail.com

²Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Большой интерес резинотехнические изделия (РТИ) представляют при использовании их в качестве уплотнений. В настоящее время одной из основных проблем в развитии уплотнительной техники является повышение ресурса работы уплотнений и улучшение их эксплуатационных характеристик. С развитием новых технологий в машиностроении, в электронной промышленности, в вакуумной технике, появилась возможность решения этой проблемы путем применения различных вариантов модифицирования РТИ [1, 2].

В настоящее время полиуретан может быть хорошей заменой резины различных классов. Одним из возможных методов повышения функциональных свойств полиуретана, применяемого при изготовлении уплотнительных колец, является его поверхностная модификация.

Цель — исследование структуры и триботехнических свойств полиуретана с покрытиями на основе углерода.

Материалы и методы

Нанесение углеродных покрытий осуществлялось на серийной вакуумной установке УРМЗ.279.070 с помощью источника плазмы импульсного катодно-дугового разряда с центральным электродом из графита, испаряющегося в процессе сильноточного дугового импульсного разряда.

Триботехнические характеристики покрытия исследовались на возвратно-поступательном микро-трибометре по схеме трения сфера — плоскость при скорости скольжения 0,016 м/с при нагрузке 1 Н. Исследования проводились на образцах до и после выдержки в машинном масле в течение 72 часов.

Результаты и их обсуждение

Были получены следующие образцы из полиуретана: без покрытия; с ионной обработкой, с алмазоподобным покрытием легированным азотом с и без подслоя титана.

Триботехнические испытания показали, что ионная очистка существенным образом не влияет величину и характер поведения коэффициента трения, кроме приработки. Возможно, ионная обработка активизирует поверхность, что увеличивает силу трения на начальных стадиях. После поведение коэффициента трения образца, обработанного ионами и исходного — аналогично.

Установлено, что нанесение различных типов покрытий снижает коэффициент трения с 1,2...1,3 до 0,2...0,5.

При испытании образцов с алмазоподобным по-

крытием на начальном этапе наблюдается плавный рост коэффициента трения до величины, характерной для полиуретана без покрытия. Износ покрытия сопровождается скачками коэффициента трения, что вероятно связано с усталостным механизмом износа. На стальном контртеле (шарике) наблюдается пятно износа, характерное для абразивного изнашивания.

Нанесение покрытия на подслоя титана существенно влияет на триботехнические характеристики. Коэффициент трения образца при этом монотонно возрастает с последующей стабилизацией. После 20 тысяч циклов истирания износ контртела не наблюдался.

Исследовано влияние толщины подслоя титана триботехнические свойства. Показано, что зависимость износостойкости покрытия имеет экстремальную зависимость от толщины подслоя.

Показано, что углеродное покрытие на полиуретане имеет блочную структуру. С увеличением толщины подслоя титана до 20 мкм увеличиваются размеры блоков структуры покрытия, которые могут достигать 100 мкм. На дорожке трения происходит дробление блоков вследствие деформаций.

Исследовано влияние смазки на трение образцов с покрытием. Показано, что влияние нанесенного покрытия в этом случае невелико. Покрытие снижает коэффициент трения только после 10 тысяч циклов. Установлено, что присутствие смазки не снижает стойкости покрытия.

У образца, предварительно выдержанного в масле коэффициент трения снижается до 0,3...0,5. Образец, предварительно обработанный в ультразвуке, обладает наименьшим коэффициентом трения, по-видимому, благодаря наибольшему количеству впитавшегося масла. На начальном этапе испытания в зоне трения имеется достаточное количество масла для поддержания низкого коэффициента трения, а по мере уменьшения его количества вследствие выноса его шариком за зону трения начинает увеличиваться значение коэффициента трения.

Образцы с покрытием так же имеют низкий коэффициент трения. По-видимому, масло в этом случае выделяется по границам блоков.

1. Попов А.Н., Казаченко В.П., Новиков А.А. Модифицирование поверхности резины покрытиями на основе углерода // МНТК «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии». — Могилев, 18—19 апреля 2013. — 2013, ч. 1, 140—141
2. Pei Y.T., Bui X.L., van der Pal J.P., Martinez-Martinez D., and De Hosson J.Th.M. Flexible Diamond-Like Carbon Film Coated on Rubber // Progress in Organic Coatings. — 2013 (76), no. 12, 1773—1778

ДЕФОРМАЦИОННО-АКТИВИРОВАННОЕ МАРТЕНСИТНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ В ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЯХ ИЗ ВЫСОКОХРОМИСТЫХ СТАЛЕЙ ПРИ СУХОМ ТРЕНИИ

А.Н. Григорчик, В.А. Кукареко, М.А. Белоцерковский

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

Материалы и методы

Исследовались газотермические покрытия из проволочных сталей 40X13 и 95X18, нанесенные методом гиперзвуковой металлизации. Скорость полета напыляемых частиц составляла 400—500 м/с, размер частиц 5—40 мкм.

Образцы для структурно-фазовых исследований и триботехнических испытаний (10×6×5 мм) вырезались из пластин (100×50×6 мм), изготовленных из стали 45 с напыленными слоями из проволочных сталей 40X13 и 95X18.

Проводился металлографический и рентгеноструктурный анализ покрытий, а также измерение их твердости и триботехнических свойств.

Рентгеновская съемка осуществлялась на дифрактометре «ДРОН-3», в монохроматизированном (СоK_α) излучении.

Сравнительные испытания триботехнических свойств образцов проводились в режиме трения без смазочного материала (удельная нагрузка испытаний составляла $p = 1,5$ МПа). Измерение величины износа призматических образцов осуществлялось весовым методом. Путь трения составлял ≈ 1200 м.

Измерения твердости и микротвердости по Виккерсу проводились на твердомере DuraScan 20 при нагрузке на индентор 10 кг (98 Н), 25 г (0,24 Н).

Результаты и их обсуждение

Напыленные покрытия имели толщину $\sim 0,6 \div 0,8$ мм. В результате напыления формируется волнистая микроструктура с остаточной пористостью, не превышающей ~ 5 об.%, и повышенным содержанием оксидов на границах напыленных частиц (~ 25 об.%).

Фазовый состав газотермического покрытия из стали 40X13 после механической шлифовки включает в себя: α -Fe (55 об.%), аустенит γ -Fe (11 об.%), оксиды Fe₃O₄ и FeO (34 об.%) (табл. 1). Газотермическое покрытие из стали 95X18 имеет следующий фазовый состав: α -Fe (7 об.%), γ -Fe (68 об.%), оксиды Fe₃O₄ и FeO (25 об.%).

Можно отметить, что в шлифованном покрытии из стали 95X18, содержится относительно большее количество γ -фазы по сравнению с покрытием из стали 40X13. Это связано с явлением термической стабилизации аустенита за счет повышенного содержания углерода в напыляемой стали 95X18, а также с низкой скоростью охлаждения покрытия в интервале M_n—M_k при напылении. Вследствие низкой концентрации углерода в стали 40X13 мартенситное пре-

вращение в процессе охлаждения напыленного покрытия происходит более полно и в нем регистрируется относительно пониженное содержание остаточного аустенита по сравнению с покрытием из стали 95X18. Вследствие этого покрытие из стали 40X13 имеет высокое значение твердости поверхностного слоя 600 HV 10, в то время как твердость покрытия из стали 95X18, имеющего преимущественно аустенитную структуру, составляет 350 HV 10 (табл. 1).

Таблица 1. Микротвердость и интенсивность массового изнашивания газотермических покрытий

Материал напыляемого покрытия	Твердость HV 10, кгс/мм ²	Интенсивность массового изнашивания I _q · 10 ³ , мг/м	Микротвердость покрытия после трения HV 0,025, кгс/мм ²
40X13	600	4,5	700—800
95X18	350	1,1	800—850

Интенсивность массового изнашивания газотермического покрытия из стали 40X13 составляет I_q = 4,5 · 10⁻³ мг/м. Покрытие из стали 95X18 характеризуется более высокой износостойкостью по сравнению с покрытием из стали 40X13, и интенсивность массового изнашивания составляет I_q = 1,1 · 10⁻³ мг/м. Такая высокая износостойкость покрытия из стали 95X18 достигается за счет деформационно-активированного $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения в поверхностном слое в при трении. При этом на поверхности трения газотермического покрытия из стали 95X18 образуется тонкий слой с пониженным содержанием аустенита (V_γ \approx 22 об.%, V_α \approx 53 об.%), характеризующийся высокой микротвердостью (≥ 800 HV 0,025) и износостойкостью.

Заключение

Проведено исследование структурно-фазового состояния и трибомеханических свойств гиперзвуковых газотермических покрытий из высокохромистых коррозионностойких сталей 40X13 и 95X18. Отмечено, что в покрытии из стали 95X18 регистрируется повышенное количество γ -фазы (68 об.%), по сравнению с покрытием из стали 40X13 (V_γ \approx 11 об.%). Показано, что покрытие из стали 95X18 имеет твердость ~ 350 HV 10, а для покрытия из стали 40X13 значение твердости составляет ~ 600 HV 10. Износостойкость покрытия из стали 95X18 в ~ 4 раза выше износостойкости покрытия из стали 40X13, и интенсивность массового изнашивания составляет I_q = 1,1 · 10⁻³ мг/м. Высокая износостойкость покрытия из стали 95X18 достигается в результате $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения в поверхностном слое в процессе трения.

СТЕНД ОЧИСТКИ ШАРИКОПОДШИПНИКОВ ОПШ

А.Л. Житницкий, Р.Е. Костюник, В.А. Радзиевский, А.В. Куцев, А.В. Стельмах

Национальный авиационный университет, Киев, Украина; kostynik@ukrpost.net

Постановка задачи

Недостаточная эффективность существующих методов очистки подшипников качения от разного рода загрязнений поставила вопрос о создании новых методов и способов очистки.

Результаты и их обсуждение

В лаборатории Нанотриботехнологий НИЧ НАУ разработаны и созданы стенды очистки шарикоподшипников ОПШ, которые позволяют эффективно удалять с поверхностей элементов конструкции неразборных подшипников качения загрязнения микро- и наноразмеров ферромагнитной и другой природы.

Стенд предназначен:

- для предэксплуатационной подготовки новых подшипников, как завершающий этап расконсервации, перед непосредственной установкой в изделие;
- для очистки подшипников от продуктов изнашивания, образующихся в процессе эксплуатации, на этапе ремонта изделий;
- для очистки подшипников после их сборки и перед консервацией в процессе их производства.

Внешний вид стенда и микрофотография фильтра с удаленными из подшипника загрязнениями представлены на (рис. 1).

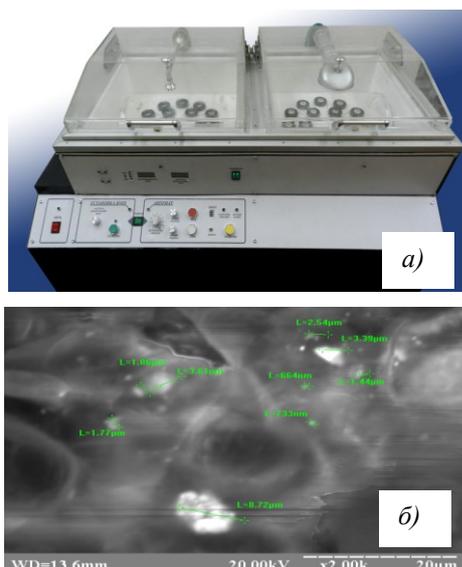


Рис. 1. Внешний вид стенда ОПШ *a)* и микрофотография фильтра с удаленными из подшипника загрязнениями *б)*

Стенд имеет ряд преимуществ по сравнению с известными методами и способами очистки:

- практически полное удаление ферромагнитных частиц и, что особенно важно — абразивно-

металлических продуктов шлифовки, удерживаемых на границах доменной структуры ферромагнитных деталей шарикоподшипников и хорошая визуализация процесса;

- бесконтактное односторонне-реверсивное вращение свободных колец с телами качения и сепараторами;

- возможность одновременной очистки шарикоподшипников различных типоразмеров;

- наличие автоматической системы управления стендом очистки позволяет сократить длительность и повысить эффективность процесса;

- модуль размагничивания обеспечивает нормализацию уровня намагниченности деталей подшипника и является завершающим этапом процесса очистки;

- доступная визуализация и возможность отбора нано- и микрочастиц загрязнений.

В настоящее время стенды ОПШ прошли широкую апробацию на шарикоподшипниках, используемых в изделиях предприятий авиационного двигателестроения, в подразделениях ремонта эскалаторных служб метрополитена, на предприятиях-изготовителях двигателей внутреннего сгорания наземных и водных видов транспорта, аудио- и видео- специальной техники. Один опытный образец стенда ОПШ поставлен во всемирно-известное конструкторское бюро «ЗМКБ «ИВЧЕНКО-ПРОГРЕСС» (разработчики ГТД для самолетов «Мрия», «Руслан» и других самолетов АНТК им. О.К. Антонова, а также для вертолетов), который успешно эксплуатируется в ходе разработки технологий изготовления и ремонта ГТД последнего поколения. Другой специальный стенд ОПШ поставлен в ремонтное подразделение эскалаторной службы Киевского метрополитена, где убедительно хорошо себя зарекомендовал.

Выводы

Учитывая недостаточную эффективность существующих методов очистки неразборных шарикоподшипников, как то: ультразвуковые, гидравлические и комбинированные, можно с уверенностью утверждать, что стенд очистки ОПШ, реализующий ряд новых эффектов защищенных патентами имеет все шансы для внедрения в различных областях машиностроительной индустрии: авиационное и космическое двигателестроение, подшипниковые предприятия, эксплуатационные подразделения метрополитена, ремонтные предприятия авиационных и других двигателей.

ТРИБОФИЗИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТОВН.К. Мышкин¹, М. Браунович², В.В. Кончиц¹¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь;
nkmyshkin@mail.ru²Компания “A.G.S. “Taron Technologies”, Канада

Роль электрических контактов в современной технике чрезвычайно высока благодаря тому обстоятельству, что вся электрическая энергия, производимая человечеством, передается через них как минимум единожды. С каждым годом их значимость еще более возрастает в связи с тенденцией к миниатюризации устройств управления и контроля, появлением огромного количества портативных устройств. При этом номинальные площади электрического контакта сократились, приблизившись к микрометровому и нанометровому диапазонам размеров, а количество контактов в единице объема увеличилось на порядки. Соответственно, резко возросли требования к надежности и износостойкости электрических контактов. Необходимость снижения переходного сопротивления и трения, а следовательно, тепловыделения в контактной зоне стала очень актуальной. Сегодня, очевидно, что надежность электрических контактов в конечном счете определяет надежность многих технических систем (контроля, связи и др.).

Ключевым фактором функционирования многих типов электрических контактов является трение и изнашивание в зоне контактирования [1, 2]. Все скользящие и большинство коммутирующих контактов по сути дела являются специфическими трибосистемами, в которых электрический ток проявляет себя как дополнительный эксплуатационный фактор. Поэтому анализ работы электрических контактов требует рассмотрения таких основных процессов из области трибофизики, как формирование фактической площади контакта, трение в условиях действия электрического тока, изнашивание под действием механических и электрических факторов.

В работе рассмотрены возможности применения современных достижений в области трибофизики для повышения эффективности работы электрических контактов. Особое внимание уделено решению новых проблем, связанных с упомянутой выше миниатюризацией устройств элек-

троники, автоматики и робототехники за счет использования достижений микро- и нанотрибологии. Дан обзор теоретических концепций контактной механики и физики поверхности применительно к шероховатым твердым телам, приведены новые данные по контактными явлениям в нанометровом диапазоне. Проанализировано формирование реальной площади контакта и ее корреляция с электрической проводимостью.

Рассмотрены трибофизические методы решения проблемы работоспособности электрических контактов, включающие конструктивные (изменение геометрии контакта и топографии поверхностей), материаловедческие (разработка электроконтактных материалов, покрытий и смазок) и диагностические аспекты. Показано, что используя данные о соотношении контактной проводимости и топографии можно дать рекомендации по конструированию контактов. В частности, проанализирован один из выводов фундаментальных исследований проводимости, свидетельствующий о целесообразности использования регулярного микрорельефа контактирующих поверхностей для равномерного распределения пятен контакта по всей площади контакта. Показано, что в настоящее время практическая реализация этого положения возможна в результате прогресса в области поверхностной инженерии и, в особенности, в результате создания 3D принтеров.

Также рассмотрены методы снижения трения и изнашивания в электрических контактах. Дан обзор практических приложений трибофизики к различным типам электрических контактов. Освещены возможные тенденции в развитии исследований и производстве эффективных контактов для жестких условий эксплуатации (вакуум, экстремальные температуры).

3. Braunovic M., Konchits V.V., and Myshkin N.K. Electrical Contacts: Fundamentals, Applications and Technology. — New York: CRC Press. — 2007

4. Мышкин Н.К., Кончиц В.В., Браунович М. Электрические контакты. — М.: Издательский дом «Интеллект». — 2008

ПРЕЦИЗИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ФРИКЦИОННЫМИ УСТРОЙСТВАМИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ТРАНСМИССИЙ: ИТОГИ 50 ЛЕТ РАЗВИТИЯ

Л.Г. Красневский, С.Н. Поддубко

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь; krasnevski_1@tut.by

За прошедшие 50 лет в теории и конструкциях автоматических трансмиссий (АТ) произошли кардинальные изменения. Совершенно изменился подход к управлению буксованием фрикционных пар и принципам организации процесса переключений ступеней. К сожалению, значительная часть этого периода на постсоветском пространстве пришлось на годы застоя, так что даже русскоязычная актуальная информация о зарубежном опыте в данной области практически отсутствует. В связи с этим представляется, что изложенная в докладе оценка современного состояния комплексной проблемы функционирования фрикционных устройств в составе АТ будет интересна трибологам — участникам Симпозиума

За последнее десятилетие мировое автомобилестроение достигло небывалых результатов в развитии массового производства классических и создании новых конструкций АТ. Одна из главных причин — успехи в совершенствовании фрикционных устройств (сухих и «мокрых» двухдисковых и многодисковых фрикционов) и их мехаторных систем управления (МСУ).

Сегодня к основным типам массовых АТ можно отнести [1]: многоступенчатые гидромеханические передачи (ГМП), бесступенчатые с механическими вариаторами, автоматизированные механические, гибридные электромеханические, коробки передач с двумя сцеплениями на входе. Все они имеют фрикционные устройства.

Из названных АТ самые совершенные и массовые — ГМП. Для них были впервые отработаны *теория и техника прецизионного управления фрикционными устройствами*, позволившие решить одну из самых сложных задач — обеспечение высокого качества переходных процессов при переключениях ступеней без разрыва потока мощности и ударных нагрузок (в частности, довести до производства многие модели АТ).

В начале пятидесятилетия — в середине 70-х годов — существовал единственный вид АТ — ГМП с гидравлической автоматикой, и начиналось внедрение дистанционного электрпривода ручного управления ГМП. Крупнейшая компания по производству ГМП для тяжелой техники — Аллисон (входящая в Дженерал Моторс) — только в 1971 г. внедрила свою первую МСУ ГМП под названием SPG (Shift Pattern Generator). С 2012 г. она выпуска-

ет МСУ пятого поколения — АТЕС (Allison Transmission Electronic Control) [2]. А компания Тойота, представляя новую восьмиступенчатую ГМП [3], отметила, что в последней достигнуто «драматическое улучшение ощущения» процесса переключения ступеней в результате применения новой технологии управления (так в оригинале).

Необходимость прецизионного управления обусловлена тем, что длительность автоматического переключения пары фрикционов на движущемся автомобиле лежит в пределах от 2...2,5 секунд в тяжелых АТ и до 0,4...0,5 в легковых. При этом в разных фазах процесса необходимы разные законы управления, а у включаемого они должны автоматически изменяться несколько раз за одно срабатывание. Задержка исполнения очередной команды хотя бы на 0,1 секунды способна привести к несанкционированному разгону или торможению двигателя и к некомфортному переключению. С развитием техники эти требования стали легко выполнимы на отдельно взятой АТ, но оказались неизмеримо сложнее в условиях массового производства. Разброс размеров в пределах полей допусков в партиях различных деталей приводит к ощутимым для работы МСУ различиям характеристик (например, регуляторов давления, подаваемого в гидроцилиндры фрикционов). Характеристики также изменяются по мере износа в процессе эксплуатации АТ. Это потребовало дальнейшего повышения точности и быстродействия устройств МСУ и перехода к принципам адаптивного управления уже к середине 90-х годов. В итоге в современных АТ обеспечивается высочайшая плавность переключений (ставших практически неощутимыми для человека).

В докладе приведены примеры законов, алгоритмов, характеристик и конструкций устройств управления фрикционных устройств лучших зарубежных АТ моделей последних лет, которые целесообразно осваивать нашему машиностроению.

1. Красневский Л.Г. Состояние и перспективы развития автоматических трансмиссий мобильных машин // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. — Минск: ОИМ НАН Беларуси. — 2012, вып. 1, 115—121
2. Robert C. Boyer. Digital Electronic Controls for Detroit Diesel Allison Heavy Hauling Transmissions // SAE 1986-09-01
3. Takaaki Tookura, et al. Development of Smooth Up-Shift Control Technology for Automatic Transmissions with Integrated Control of Engine and Automatic Transmissions // SAE 2007-01-1310

ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ

М.В. Чернец^{1,2}, Ю.М. Чернец¹

¹Дрогобычский государственный педуниверситет, Дрогобыч, Украина, chernets@drohobych.net

²Люблинский политехнический институт, Люблин, Польша

Одним из методов повышения долговечности трибосопряжений является улучшение свойств смазочного материала, приводящее в частности к снижению коэффициента трения скольжения f . В условиях граничного или смешанного трения исследование его влияния на долговечность зубчатых передач является практически важной задачей.

Целью работы является проведение анализа его влияния на долговечность цилиндрической прямозубой передачи электровоза с высотным корригированием зацепления с использованием обобщенного метода расчета износа и долговечности зубчатых передач [1, 2]. Здесь учитывается, что вследствие износа зубьев в процессе эксплуатации передачи, происходит снижение контактных давлений, а также реализуется дву–одно–двупарное зацепление зубьев. В литературе отсутствуют результаты оценки влияния вариации f на долговечность зубчатых передач с учетом эксплуатационного (износа) и конструкционного (корригирования) факторов, а также условий взаимодействия зубьев.

Продолжительность работы передачи t_B для предельного числа оборотов n_{1s} либо n_{2s} колес вычисляется так:

$$t_B = \dots = \dots, n_{2s} = \dots, \quad (1)$$

где n_{1s}, n_{2s} — обороты шестерни и колеса, при которых достигается допустимый износ зубьев.

Исходные данные: $z_1 = 24$ — количество зубьев шестерни; $b_w = 230$ мм — ее ширина; $P = 670$ кВт — номинальная мощность передачи; $K_g = 1,6$ — коэффициент динамичности работы; $m = 16$ мм — модуль зацепления; $u = 4$ — передаточное отношение передачи; $n_1 = 400$ об/мин — количество оборотов шестерни; $h_{1*} = 1,4$ мм — допустимый износ зубьев шестерни; $h_{2*} = 2,0$ мм — допустимый износ зубьев колеса; $f = 0,05; 0,07; 0,09; 0,11$ — коэффициент трения скольжения при граничном либо смешанном трении; смазка — масло для передач локомотива ОС — Л с $v_{+} = 7...12$ сСт; коэффициенты смещения: $x_1 = \dots = 0; 0,1; 0,2; 0,3$; $a_w = 960$ мм — межосевое расстояние.

Материалы колес: шестерня — сталь 20ХНЗА цементация на глубину 1,6...2,4 мм, 58 ± 3 HRC; $C_1 = 5,5 \cdot 10^6$, $m_1 = 1,9$ — характеристики износостойкости; колесо — сталь 55Ф объемная закалка с высоким отпуском, 280—321 НВ; $C_2 = 0,4 \cdot 10^6$, $m_2 = 2,2$; $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа — модуль Юнга, $\nu = 0,3$ — коэффициент Пуассона.

На рисунке представлена минимальная долговечность $t_{B\min}$ передачи для точки зацепления, где быстрее достигается допустимый износ зубьев колеса.

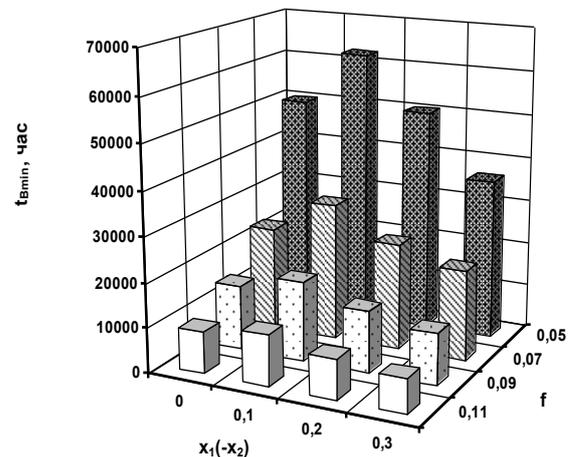


Рис. 1. Минимальная долговечность передачи

Наибольшая долговечность достигается при $x_1 = \dots = 0,1$ при всех значениях f . Она превышает долговечность некорригированной передачи соответственно в 1,245; 1,321; 1,218; 1,217 раза. Увеличение f в 2,2 раза приводит к снижению долговечности в указанном оптимальном случае в 5,46 раза.

- Чернец М.В., Ярема Р.Я. Узагальнений метод оцінки впливу коригування зубів на ресурс, зношування та контактну міцність циліндричних евольвентних передач // ФХММ. — 2011, № 4, 115—121.
- Чернец М.В., Ярема Р.Я., Чернец Ю.М. Метод оцінки впливу коригування і зношування зубів евольвентної циліндричної передачі на довговічність та міцність. Част. 1. Довговічність і зношування // ФХММ. — 2012, № 3, 30—39

EVALUATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF FRICTION LINING BY LASER VIBROMETER

V.V. Kozhushko¹, S.N. Bukharov¹, V.P. Sergienko¹, E. Barkanov²

¹V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute, National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus

²Institute of Materials and Structures, Riga Technical University, Riga, Latvia; vkozhushko@mail.ru

Transport is a main source of noise in the cities. The ecological demands require decreasing of the noise level produced by vehicles this is why the vibration and noise are topical issue of automotive and aerospace mechanical engineering [1]. The engines, transmissions and brakes combine moving gears, which induce undesirable vibrations and acoustical noise. Finite element method is a common simulation technique for academic and industrial investigations of brake noise [2]. The method can calculate the vibrations' modes of the complex constructions comprised of several parts if the properties of each component, such as Young's modulus, Poisson's ratio and loss factors as well as their changes with the temperature are known. When the modes and eigenfrequencies are established, the damping and sound absorbing materials can be applied. The variety of polymers and composite materials on their base can be employed for damping of the vibrations in wide temperatures' ranges and covering several decades of frequencies [3].

The wide range of temperatures and mechanical loads are typical condition of brakes' operation. The friction linings consist of numerous functional components, which influence mechanical and thermophysical properties. The aim of our work is nondestructive determination of the Young's modulus and loss factors of the frictional lining.

The scanning laser vibrometers are state of the art technique, which allows noncontact detection of the surface velocities spectra that after numerical treatment yield the modes and eigenfrequencies of the construction. Laser Doppler vibrometer Polytec 400 SDV was employed in our experiment. Owing to the acousto-optical modulator based on Bragg's cell, it is possible to measure both the amplitude and the direction of surface displacement velocity. The vibrometer attains a resolution of 2 nm, and with digital demodulation techniques even down to the pm range. In the presented experiments, the measurements were carried out at room temperature of 20 °C. The highest frequency of the vibrometer's operational bandwidth is about 22 kHz. Usually the loudspeaker or piezoelectric transducer disturb the specimen within defined bandwidth. The velocity of displacement increases at the natural frequencies of that system that gives the peaks in the frequency domain. The specimen's density of 2050 kg/m³ was obtained by Archimede's method. The volume 105×48×4.2 mm³ confined the specimen. The piezoelectric transducer with the size of 3×4×5 mm³ and the mass of 0.45 g was glued on the backside of the specimen. The amplifier

Piezomechanik GmbH LE 150/025 fed the voltage signal of periodic chirp within bandwidth from 50 Hz to 12800 Hz. The measurements at 220 points of the specimen's surface were done within less than 25 minutes.

The averaged displacement velocity spectrum gave 11 peaks of different magnitude, which were identified by software as eigenfrequencies. The distribution of the amplitudes of the first four modes are shown in fig. 1. The loss factor was calculated from the ratio of the peak's width on the level of 1/2 to the value of the peak's frequency. The loss factor varied in the range from 0.02 to 0.04 for the considered range. The procedure of calculation of friction lining eigen-frequencies was realized via finite element modal analysis. Varying the values of Young's modulus and for Poisson's ratio, the least-square method yielded the values of 12 GPa and 0.15, respectively.

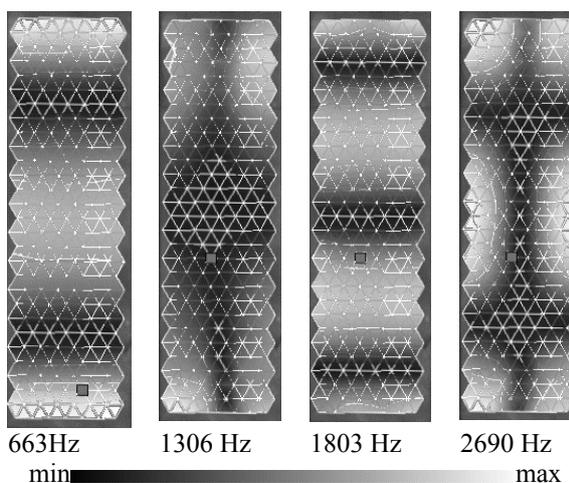


Fig. 1. The first four measured modes of the friction lining

The authors gratefully acknowledge the support of the European Commission, Marie Curie programme, contract no. PIRSES-GA-2012-318874, project "Innovative Non-Destructive Testing and Advanced Composite Repair of Pipelines with Volumetric Surface Defects (INNOPIPES)".

1. Sergienko V.P. and Bukharov S.N. Noise and Vibration in Friction Systems. — Springer Series in Material Science — 2015
2. Esgandari M. and Olatunbosun O. Implicit-explicit co-simulation of brake noise // Finite Elem. Anal. Des. — 2015 (99), 16—23
3. Nashif A.D., Jones D.I.G., and Hendersen J.P. Vibration damping. — John Wiley & Sons — 1985

УЧЕТ МОЛЕКУЛЯРНЫХ СИЛ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ

В.В. Тимошенко¹, И.И. Злотников², П.А. Хило²

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

²Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Гомель, Беларусь; z_ai@tut.by

Тонкодисперсные порошки различной природы широко применяются в качестве наполнителей полимеров, компонентов керамики, пигментов, сорбентов и др. Наиболее распространенным способом получения высокодисперсных наполнителей является механическое измельчение. Перспективным направлением совершенствования процесса диспергирования является использование технологических жидкостей. Жидкость, посредством капиллярных сил проникая в микротрещины, возникающие в твердом теле при воздействии инструмента, создает в них расклинивающее давление (эффект Ребиндера), и снижает усилие разрушения. Такая жидкость — «понизитель твердости» должна обладать не только низкой поверхностной энергией, но и уменьшать силы молекулярного взаимодействия между образующимися поверхностями микротрещин.

Наиболее общим способом расчета молекулярных сил взаимодействия двух твердых поверхностей является электромагнитная теория [1—3]. Когда зазор l между телами мал по сравнению с длинами волн, характерными для спектров поглощения тел формула для силы взаимодействия имеет вид (индексы 1 и 2 относятся к телам, 3 к прослойке):

$$F(l) = \frac{\hbar}{8\pi l^3} \int_0^\infty \frac{\varepsilon_1(i\xi) - \varepsilon_2(i\xi)}{\varepsilon_1(i\xi) + \varepsilon_2(i\xi)} \left[\frac{\varepsilon_3(i\xi) - \varepsilon_2(i\xi)}{\varepsilon_3(i\xi) + \varepsilon_2(i\xi)} \right] d\xi \quad (1)$$

Диэлектрическая проницаемость $\varepsilon(i\xi)$ связана с мнимой частью комплексной диэлектрической проницаемости $\varepsilon''(\omega)$ соотношением Крамеса-Кронига:

$$\varepsilon_1(i\xi) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \frac{\omega' \varepsilon''(\omega')}{\omega'^2 + \xi^2} d\omega' \quad (2)$$

Однако и экспериментальное определение $\varepsilon''_{1,2,3}(\omega)$, и последующее вычисление силы с использованием формул (1) и (2) является весьма трудоемким процессом.

Спектры поглощения диэлектриков имеют вид полос, где наряду с широкими областями прозрачности существуют зоны поглощения. Если пренебречь имеющимся малым поглощением на участках прозрачности, а в полосе поглощения функцию $\varepsilon''(\omega)$ аппроксимировать достаточно простой, но близкой к реальной аналитической зависимостью, то по формуле Крамеса-Кронига (2) можно вычислить зависимости $\varepsilon_{1,2,3}(i\xi)$, по которым найти силу взаимодействия поверхностей. В данном исследовании предлагается представить зависимость $\varepsilon''(\omega)$ в полосе поглощения в виде формулы Дебая [4]:

$$\varepsilon''(\omega) = \frac{\varepsilon_\infty - \varepsilon_0}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (3)$$

где ε_0 — статическая диэлектрическая проницаемость, ε_∞ — высокочастотный предел, к которому стремится действительная часть диэлектрической проницаемости с увеличением частоты; τ — время релаксации, связанное с резонансной частотой ω_0 формулой $\tau = 1/\omega_0$. Учитывая, что при разрушении тела $\varepsilon''_1(\omega) = \varepsilon''_2(\omega)$, после математических преобразований была получена формула (индекс 1 относится к твердым поверхностям, 3 к жидкой прослойке):

$$F(l) = \frac{\hbar \omega_0}{16\pi l^3} \frac{(\varepsilon_0 - \varepsilon_\infty) + \frac{\varepsilon_\infty - \varepsilon_0}{\omega_0^2}}{(\varepsilon_0 + \varepsilon_\infty) - \frac{\varepsilon_\infty - \varepsilon_0}{\omega_0^2}} \quad (4)$$

При проведении практических вычислений вместо ε_∞ можно использовать квадрат оптического показателя преломления $\varepsilon_\infty = n^2$. Если поглощение происходит не на одной главной частоте ω_0 , общей для твердого тела и жидкости, а на нескольких, то их вклад в силу взаимодействия будет суммироваться.

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод, что сила взаимодействия двух поверхностей твердого тела, разделенных тонкой прослойкой жидкости, в равной степени зависит как от соотношения между статическими диэлектрическими проницаемостями, так и показателями преломления твердого тела и жидкости. Исходя из формулы (4) и воспользовавшись табличными данными для ε_0 и n , можно успешно прогнозировать пригодность конкретных жидкостей для измельчения различных веществ. Авторами экспериментально подтверждены выводы, следующие из формулы (4), что для тонкого измельчения кварца, а также стекла наиболее перспективны предельные углеводороды фракции C₁₀-C₁₅.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (код проекта T014MC-019).

1. Лифшиц Е.М. Теория молекулярных сил притяжения между твердыми телами // ЖЭТФ. — 1955 (29), № 1, 29—110
2. Дярягин Б.В., Абрикова И.И., Лифшиц Е.М. Молекулярное притяжение конденсированных тел // УФН. — 1958 (64), № 3, 493—528
3. Дзялошинский И.Е., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Общая теория ван-дер-ваальсовых сил // УФН. — 1961 (73), № 3, 381—422
4. Поплавко Ю.М. Физика диэлектриков. — Киев: Вища школа. — 1980

ТРЕНИЕ КАЧЕНИЯ В ОБЛАСТИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ СМЕЩЕНИЙ ДЛЯ ПОКРЫТИЙ НАНОМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ТОЛЩИНЫ

И.З. Джилавдари¹, С. Мекид², Н.Н. Ризноокая¹, Т.И. Ширяева¹

¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

²Университет нефти и минералов короля Фадха, Дхахран, Саудовская Аравия

Введение

Точность приборов, содержащих пары трения качения, существенно зависит от характера зависимости сил трения от перемещения на начальном этапе движения и в точках реверса, ввиду его нелинейности и наличия гистерезиса. Самый начальный этап качения с размером порядка или меньше диаметра пятна упругого контакта, называемый предварительным смещением, остается малоизученным. Существующие стандартные средства не позволяют исследовать трение в данной области с требуемой точностью и чувствительностью.

Перспективным методом исследования трения качения в режиме предварительного смещения является измерение зависимости от времени амплитуды и периода свободных качаний маятника, опирающегося на плоскую поверхность двумя шариками [13].

Цель работы состоит в установлении особенностей трения качения на этапе предварительного смещения для покрытий из алюминия на электротехническом кремнии.

Результаты и их обсуждение

В измерительном устройстве использовался маятник массой 1,256 кг, в опоре которого находились два полированных шарика радиусом 5 мм. Использовались шарики двух типов: из корундового спеченного порошка (Al_2O_3) и из силикатного стекла.

Таблица 1. Коэффициент сопротивления качению

Материал подложки: кремний с покрытием из алюминия	Коэффициент сопротивления качению [1], 10^{-7}	
	Материал шарика	
Толщина покрытия	Стекло	Al_2O_3
	4,33	3,28
Без покрытия	4,31	3,26
	5,00	3,28
20 нм	4,51	3,22
	4,67	3,57
50 нм	4,95	3,71
	4,43	5,08
200 нм	4,38	4,72

Эксперименты проводились на плоских полированных поверхностях электротехнического кремния с напылением алюминия различной толщиной 20 нм, 50 нм и 200 нм. Нагрузка не превышала предела упругости материалов. Измерения проводились для амплитуд качаний в интервале от 56 до 0,1 угловых секунд в двух точках для каждого образца.

Часть результатов измерений приведена в табл. 1 и на рис. 1.

Из рис. 1, *a* следует, что трение качения в режиме предварительного смещения для пары корунд — алюминий растет с увеличением толщины покрытия. Вид кривых можно представить как трение, в котором присутствует разрыв адгезионных связей (первая часть), и которое происходит без разрыва адгезионных связей (нижняя часть), где трение имеет характер жидкостного.

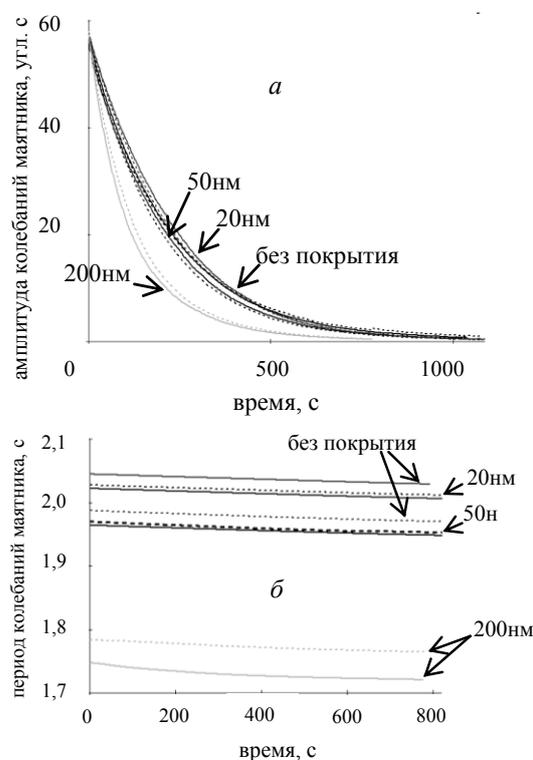


Рис. 1. Зависимость амплитуды (*a*) и периода (*b*) от времени для пары корунд—алюминий. — — первая точка; -- — вторая точка.

В зависимости периода от времени основной является практически линейное уменьшение периода. Эту зависимость, по-видимому, можно объяснить влиянием упругих сил адгезии, выполняющих роль дополнительных упругих связей шариков с поверхностью пластин.

В докладе обсуждаются результаты экспериментов, а также аналитическая модель, которая позволяет рассчитать момент сопротивления качению, коэффициент сопротивления качению и энергию адгезии на отрыв, а также построить кривые гистерезиса сил трения на пятне контакта.

1. Джилавдари И.З., Ризноокая Н.Н. Методика и средство измерения малых коэффициентов сопротивления качению маятниковым методом // Метрология и приборостроение. — 2010, № 4, 13—17

ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЖИДКИХ И ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.Л. Басинюк¹, А.Я. Григорьев², А.С. Калиниченко³,
И.Н. Ковалева², Е.И. Мардосевич¹, С.С. Папина⁴

¹Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь; vladbas@mail.ru

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

³Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

⁴ОАО «Планар», Минск, Беларусь

Цель

Разработка метода и аппаратно-программных средств экспресс-анализа трибологических характеристик жидких и пластичных смазочных материалов.

Материалы и методы

К наиболее широко используемым в зарубежной и отечественной практике трибологическим характеристикам жидких и пластичных смазочных материалов, регламентируемым ГОСТ 9490 [1] и определяемым при испытаниях на четырехшариковой машине трения, относятся:

– несущая способность смазки, определяемая по значению критической осевой нагрузки P_k (Н, кгс) верхнего шара, при которой в течении 10 секунд испытаний возникает регламентируемый ГОСТ 9490 диаметр пятен износа нижних шаров;

– предельная нагрузочная способность смазки, определяемая по значению нагрузки сваривания P_c (Н, кгс), при которой момент сопротивления вращению верхнего шарика достигает значения $(1180 \pm 25)N \cdot \text{см}$ или произошла остановка его вращения вследствие сваривания контактирующих поверхностей шариков;

– противоизносные свойства, определяемые по значению диаметра пятна износа D_u (мм), возникающего в зоне контакта шариков при испытаниях в течение одного часа с регламентированной нормативно-технической документацией на смазочный материал осевой нагрузкой верхнего шарика;

– противозадирные свойства, определяемые по индексу задира I_z , с учетом диаметров пятен износа шариков при регламентированных осевых нагрузках верхнего шарика.

Анализ регламентированных ГОСТ 9490 методик определения приведенных выше триботехнических свойств смазочных материалов показывает, что для их реализации в процессе испытаний на четырехшариковой машине и последующей обработкой полученных данных необходимо контролировать, регистрировать и в последующем учитывать осевую нагрузку P верхнего шарика, изменение величины которой осуществляется в соответствии с нагрузочными рядами приложения 2 [1], диаметр пятна износа контактирующих поверхностей нижних шариков, угловую скорость вращения и момент сопротивления вращению верхнего шарика и время взаимодействия кон-

тактирующих поверхностей шариков в процессе проведения испытаний.

Контроль, управление всеми приведенными выше параметрами и их регистрация в процессе проведения испытаний, за исключением величины износа шариков, могут быть автоматизированы с использованием современных аппаратно-программных средств. Наиболее значительные сложности представляет автоматизация процесса контроля диаметра пятна износа, что обусловлено, в основном, двумя факторами:

– чрезвычайно малыми величинами регистрируемых параметров;

– необходимостью и сложностью учета упругих деформаций элементов системы нагружения.

Комплексное решение этих проблем достигается путем введения в конструкцию четырехшариковой машины программно-управляемых приводов и систем контроля прецизионных перемещений, типовые конструктивные решения которых используются в серийно выпускаемом оборудовании точного электронного машиностроения ОАО «Планар», а также дополнительным контролем триботехнических параметров взаимодействия шариков. При этом используется модифицированная методика проведения автоматизированных испытаний на четырехшариковой машине, позволяющая существенно повысить достоверность и информативность определения трибологических свойств смазочных материалов. В основу этой методики положено применение автоматизированных средств одновременного управления параметрами проведения испытаний, контроля и регистрации с привязкой к реальному масштабу времени величин осевого нагружения, момента сопротивления вращению верхнего шарика, диаметра пятна износа контактирующих поверхностей нижних шариков и триботехнических параметров взаимодействия шариков.

Результаты и их обсуждение

Реализация приведенного выше методического подхода и автоматизированных программно-аппаратных средств позволяет не только на порядок и более сократить длительность и трудоемкость проведения испытаний триботехнических свойств смазочных материалов, но и существенно повысить достоверность и информативность полученных результатов.

1. ГОСТ 9490 Материалы смазочные жидкие и пластичные. Метод определения трибологических характеристик на четырехшариковой машине / www.OpenGost.ru

ОПОРЫ СКОЛЬЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ МДО-ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПОДВИЖНЫХ УЗЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Р.Е. Волкотруб, М.П. Лобкова, А.А. Глазунова

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Цель

В механизмах космических аппаратов различного назначения с целью минимизации массы достаточно широко используются легкие сплавы, включая сплавы на основе алюминия.

Основной целью исследований являлась оценка возможностей использования МДО-покрытий, сформированных анодно-катодной микродуговой обработкой на основе из алюминиевого сплава, в опорах скольжения подвижных соединений техники для экстремальных условий, включая космическую, эксплуатируемую в открытом вакууме.

Материалы и методы

В качестве объекта исследований взята пара трения скольжения «МДО-покрытие — сталь ШХ15 с поверхностной твердостью HRC 57÷63». МДО-покрытие формировалось на промышленном оборудовании ОАО «Планар» анодно-катодной микродуговой обработкой на поверхности диска, изготовленного из алюминиевого сплава АМК (рис. 1).



Рис. 1. Диск с МДО-покрытием для проведения испытаний

Поверхность МДО-покрытия механически обрабатывалась шлифовкой и полированием. После механической обработки толщина МДО-покрытия составляла 70÷80 мкм.

В качестве ответного МДО-покрытию элемента был использован шарик шарикового упорного одного подшипника 6-8104 ГОСТ 6874.

Условная схема испытаний показана на рис. 2.

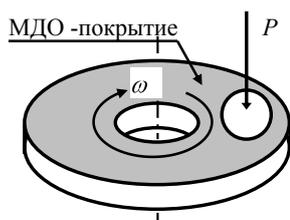


Рис. 2. Условная схема испытаний

Исследования проводились в режиме сухого

трения скольжения и со смазкой поверхности МДО-покрытия модифицированным смазочным материалом на основе дисульфида молибдена, компонентный состав которого был подобран с учетом особенностей топографии поверхностного слоя МДО-покрытия. После нанесения этого материала на поверхность МДО-покрытия осуществлялась специальная приработка.

В основу методического подхода к проведению исследований было принято проведение сравнительных испытаний, позволяющих установить закономерности влияния нагрузочных и скоростных режимов фрикционного взаимодействия исследуемой пары трения на ее триботехнические параметры.

Испытания проводились при стабилизированном на уровне 2 МПа и монотонно возрастающих контактных давлениях при постоянной скорости скольжения 3 м/с.

Результаты и их обсуждение

Анализ результатов исследований показал следующее:

- в режиме трения скольжения без смазки приемлемые антифрикционные свойства и работоспособность рассматриваемой пары трения обеспечиваются при относительно небольших контактных давлениях и непродолжительной длительности функционирования, что хорошо согласуется с результатами исследований, вследствие чего использование этой пары трения наиболее рационально в линейных движителях на базе коил-двигателей, работающих в механизмах типа «открытие-закрытие» заслонок;

- введение в зону контакта модифицированного смазочного материала на основе дисульфида молибдена позволяет обеспечить не только высокий уровень антифрикционных свойств рассматриваемой пары трения, но и, по меньшей мере, на порядок увеличить ее нагрузочную способность, что с учетом повышенной износостойкости позволяет ее использовать в ряде различных поворотных и линейных механизмов и приводных систем, работающих в условиях открытого космоса и наземной техники для экстремальных условий, работающих при повышенных до 200 °С и выше и пониженных температурах.

1. Basiyuk V.L. and Mardosevich E.I. Frictional and Mechanical Characteristics of Oxide-Keramic Coatings // Journal of Friction and Wear. — 2003 (24), no. 5, 39–44

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА К ТРИБОТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ ТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

А.А. Гвоздев¹, Н.В. Усольцева², М.В. Козинец¹,
А.В. Казак², А.И. Смирнова², Н.Н. Рожкова³

¹Ивановская государственная сельскохозяйственная академия им. акад. Д.К. Беляева, Иваново, Россия

²Ивановский государственный университет, НИИ наноматериалов, Иваново, Россия; nv_usoltseva@mail.ru

³Институт геологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия

Введение

Проблема существенного повышения надежности и ресурса двигателей внутреннего сгорания является важнейшей в связи с тенденциями увеличения их мощности, стоимости приобретения и затрат на текущий и капитальный ремонты [1].

Поиски путей повышения долговечности рабочей поверхности гильз при упрочненных поршневых кольцах привели к необходимости целенаправленной последовательной триботехнической обработки цилиндрической группы (ЦПГ) двигателей внутреннего сгорания (ДВС) безразборными методами в процессе непрерывающейся эксплуатации — эффективность подобного подхода уже не вызывает сомнений.

Результаты и их обсуждение

На основе использования физически информативных инвариантов (комплексов) сделана попытка получить расчетное уравнение для определения интенсивности изнашивания гильз ДВС в результате трибохимической обработки, заключающейся в последовательном введении в зону трения геомодификатора (ГТМ) и металлоплакирующего состава (МПП), формирующих на деталях металлокерамические (износостойкие) и твердосмазочные (антифрикционные) покрытия. На основе контактно-гидродинамической теории смазки [2] получен критерий, определяющий толщину смазочного слоя в

виде $\frac{h_{cm}}{\sqrt{Ra_1^2 + Ra_2^2}}$, напряженное состояние оценивается комплексом $f_p k / HB$.

Проведенное теоретическое обоснование позволило выполнить два условия по снижению интенсивности изнашивания — сформировать покрытия с высокой твердостью и наименьшими значениями сопротивления сдвигу [3, 4].

Полученные результаты триботехнических (рис. 1) и микроскопических исследований показывают наличие существенного резерва в уменьшении мощности механических потерь (на 40...45%) ЦПГ ДВС и иницировании тепла в зоне трения (на 35...38%) при целенаправленном, последовательном введении в моторное масло работающего двигателя геотрибомодификатора (подана заявка на патент) в

виде наноразмерных частиц и затем металлоплакирующего препарата в ионном состоянии.

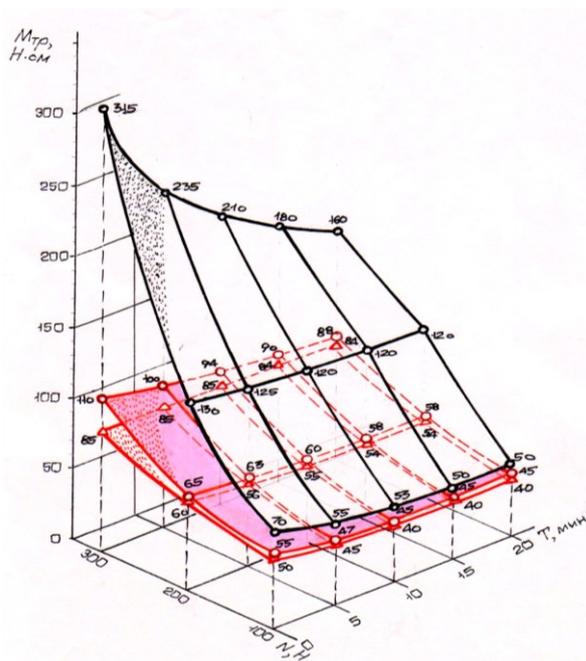


Рис. 1. Зависимость момента трения от нагрузки и времени испытания: -○- — серийное масло, находящееся в эксплуатации; -○- — масло с ГТМ составом; -△- — масло с МПП после обработки ГТМ

Работа поддержана программой Минобрнауки РФ в рамках государственного задания Ивановскому государственному университету для выполнения научно-исследовательских работ на 2014—2016 гг., грант № 4.106.2014/К.

1. Зубистова М.Н. Влияние форсирования двигателей на износостойкость их основных деталей. — М. — 1982
2. Клемушин Ф.М. Применение триботехнических инвариантов для расчета интенсивности поверхностного разрушения цилиндрической пары ДВС // Поверхность. Физика, химия, механика. — 1983, № 1, 121—124
3. Трение, изнашивание, смазка // Справочник. Под ред. И.В. Крагельского. — М.: Машиностроение. — 1978
4. Приходько И.Л. Определение интенсивности изнашивания гильз цилиндров с антифрикционными твердосмазочными покрытиями (ТСП) // Надежность и ремонт машин. Сб. науч. тр. МГАУ. — М.: МГАУ — 1994

ВЛИЯНИЕ НАНОДИСПЕРСНЫХ ДОБАВОК РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ НА ПРИРАБОТОЧНУЮ СПОСОБНОСТЬ СМАЗОЧНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ МАСЛА И-40

В.И. Жорник¹, В.А. Кукареко¹, С.А. Ковалева¹,
А.В. Ивахник¹, Е.В. Карпинчик², Л.И. Южик²

¹Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь; zhornik@inmash.bas-net.by

²Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Цель

Исследование влияния различных нанодисперсных добавок в масло И-40 на параметры микрогеометрии поверхности трения в парах трения типа «пластичный-высокопрочный», «высокопрочный-высокопрочный» и триботехнические свойства смазочных композиций с целью оценки их приработочной способности.

Материалы и методы

В работе исследовались смазочные композиции с наноразмерными добавками аморфного алюмосиликата (№ 2), магнийсиликата (№ 3), дисульфида молибдена (№ 4), карбида кремния (№ 5) и алмазной шихты ША-А (№ 6) в сравнении с маслом И-40 без добавок (№ 1). В качестве «пластичного» материала использовалась сталь ШХ15 после отпуска (325 HV) и в качестве «высокопрочного» — сталь ШХ15 после закалки (800 HV). Триботехнические испытания проводились в режиме граничного трения на автоматизированном триботестре АТВП. Контртело — сталь У8 (800 HV). Средняя скорость перемещения — 0,1 м/с, путь трения — 1800 м, номинальное контактное давление — $p = 10$ МПа. Исследования нагрузочной способности проводились на 4-х шариковой машине трения ЧМТ-1 (ГОСТ 9490–75). Анализ геометрических параметров микрорельефа проводился с помощью атомно-силового микроскопа NT-206. Оценивались коэффициент трения f , интенсивность изнашивания I_h , параметры шероховатости R_a , критическая нагрузка P_k нагрузка сваривания P_c . Период приработки оценивался по пути трения L по наступлению стабилизации коэффициента трения.

Результаты и их обсуждение

Результаты триботехнических испытаний показали, что введение добавок магнийсиликата и шихты ША-А в два раза сокращает продолжительность приработки в парах трения «пластичный-высокопрочный», в то время как добавки дисульфида молибдена и карбида кремния не обеспечивают завершения стадии приработки на всем выбранном пути трения (табл. 1). Самые низкие значения коэффициента трения и параметров микрорельефа характерны для добавок шихты ША-А (табл. 1).

Таблица 1. Результаты триботехнических испытаний в присутствии различных смазочных композиций

	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
пара трения «пластичный—высокопрочный»						
$R_{a, \text{нм}}$	20—40	22—41	17—30	16—65	19—46	15—26
$f \cdot 10^{-3}$	35—38	85—90	95—120	70—80	78—85	10—15
$L, \text{м}$	1200	1200	600	—	—	600
$I_h \cdot 10^{-9}$	2,1	3,3	6,6	34	42	5,7
пара трения «высокопрочный—высокопрочный»						
$R_{a, \text{нм}}$	16—42	30—32	25—38	13—36	11—102	38—71
$f \cdot 10^{-2}$	12—13	13—16	14—16	10—12	22—15	8—9
$L, \text{м}$	1200	600	1000	600	600	600
$I_h \cdot 10^{-9}$	1,32	2,8	1,0	0,44	9,1	0,24

Таблица 2. Результаты исследований нагрузочной способности различных смазочных композиций

Показатель	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
$P_k, \text{Н}$	784	451	451	872	451	784
$P_c, \text{Н}$	1235	1568	1568	1960	1568	1235

В парах трения «высокопрочный-высокопрочный» ускорение периода приработки отмечается в масле с добавками алюмосиликата, SiC, MoS₂ и шихты ША-А, при этом наиболее низкие значения величины линейного износа и коэффициента трения регистрируются при введении добавок дисульфида молибдена и шихты ША-А (табл. 1). Однако добавки шихты ША-А приводят к росту значений параметров микрогеометрии, вероятно, из-за образования крупных абразивных агломератов.

Нагрузочную способность масла И-40 наиболее существенно повышают добавки дисульфида молибдена (с 1235 до 1960 Н), а добавки шихты ША-А не оказывают на нее влияния (табл. 2).

Таким образом, в парах трения «пластичный-высокопрочный» целесообразно использовать в качестве приработочной композиции промышленное масло с добавками ША-А, а для приработки пары трения «высокопрочный-высокопрочный» — промышленное масло с добавками дисульфида молибдена.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект БРФФИ-ФРНА-2013 № T13A3-011).

МЕХАНИЗМ ИЗНОСА ХРУСТАЛЯ ПРИ АЛМАЗОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

А.М. Кузей

Физико-технический институт НАН Беларуси; anatkuzei@mail.ru

В рамках общепринятых представлений износ хрупких материалов (алмаза, стекла, оксидной керамики и т.д.) при алмазоабразивном шлифовании описывается как динамическое контактное взаимодействие алмазных зерен (резцов) с поверхностью. При внедрении вершин алмазного зерна в хрусталь, в зоне контакта возникает область напряжений, а затем, при увеличении нагрузки, микротрещины, и образуется дефектный поверхностный слой. Перемещение вершин зерна в слое сопровождается его хрупким разрушением. Механизм хрупкого разрушения не учитывает контактное взаимодействие композиционного материала с хрусталем. Тепловой эффект контактного взаимодействия приводит к значительному повышению температуры границы раздела хрусталь — алмазоабразивный композиционный материал и изменению механизма износа хрусталя. Морфология поверхностей разрушения хрусталя свидетельствует, о том, что даже при низкой ($10 \text{ см}^3/\text{мин}$) производительности шлифования температура на поверхности композиционного материала превышает температуру плавления матрицы композиционного материала. Об этом свидетельствуют шарики (капли) металла на поверхности хрусталя (рис. 1).

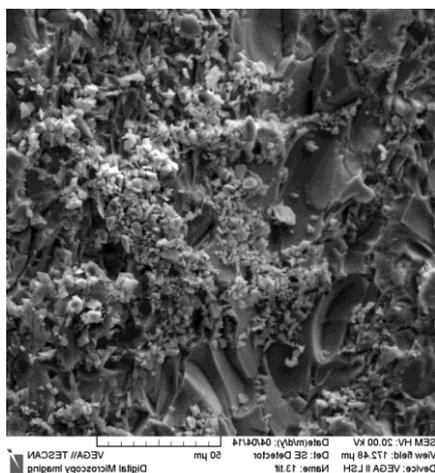


Рис. 1. Морфология износа поверхности хрусталя, производительность шлифования $10 \text{ см}^3/\text{мин}$

Морфология поверхности износа хрусталя указывает на хрупкий характер ее разрушения (рис. 1). При больших производительностях шлифования ($30 \text{ см}^3/\text{мин}$) площадь участков матрицы композиционного материала со следами оплавления поверхно-

сти возрастает, одновременно изменяется морфология поверхности износа хрусталя (рис. 2). Рельефы образованные острыми вершинами, гранями, ребрами характерные для механизма хрупкого разрушения, превращаются в сглаженные с округлыми вершинами, ребрами. На поверхности износа хрусталя появляются округлые частицы, морфологически связанные с поверхностью (рис. 1). Характер морфологий поверхностей износа хрусталя указывает на то, что они образовались при температурах, превышающих температуру плавления ($1275\text{—}1475 \text{ К}$) матрицы (медь— $20 \text{ мас.}\%$ олова) и хрусталя (рис. 1).

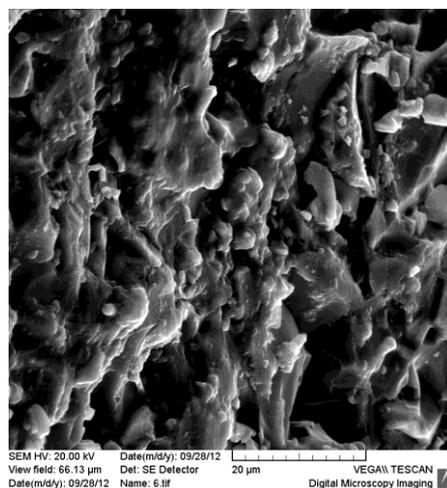


Рис. 2. Морфология износа поверхности хрусталя, производительность шлифования $30 \text{ см}^3/\text{мин}$.

В то же время, это свидетельствует и об изменении механизма износа хрусталя: хрупкое разрушение сменяется адгезионным механизмом износа [1, 2]. Изменение механизма износа хрусталя вызвано переходом хрусталя в вязко-пластичное состояние в результате тепловыделения в зоне контакта композиционного материала с хрусталем. Повышение температуры в зоне контакта изменяет морфологию поверхности износа хрусталя и делает возможным адгезионное взаимодействие расплава стекла с композиционным материалом.

1. Лоладзе Т.Н., Бокучава Г.В. Износ алмаза и алмазных кругов. — М. — 1967
2. Человедский И.Х. Механика контактного взаимодействия при алмазной обработке. — Киев. — 1968

АДГЕЗИОННЫЕ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ТОНКОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ МЕДИ

М.А. Леванцевич, Н.Н. Максимченко

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

Цель

Экспериментальная оценка адгезионных и триботехнических свойств покрытий на основе меди, сформированных методом фрикционного плакирования гибким инструментом (ФПГИ) [1—4].

Материалы и методы

Объект исследований — тонкослойные покрытия из материалов-доноров на основе меди, модифицированной компонентами твердой смазки (графит, дисульфид молибдена), а также ультрадисперсной алмазо-графитовой шихтой (УДАГ), сформированные методом ФПГИ.

Для сравнительной оценки триботехнических характеристик покрытий использовали автоматизированный трибометр одностороннего вращения, разработанный и изготовленный в ОИМ НАН Беларуси, работающий по схеме «полусфера—диск». Условия испытаний: относительная скорость взаимного перемещения образцов — 0,27 м/с, удельное давление — 26 МПа (трение без смазочного материала), длительность испытания каждой пары трения — 60 мин (путь трения 1000 м). Материал образца-диска — сталь 45 (HRC 50—52), чугун СЧ20 (HRC 54—56). Материал полусферы — незакаленный чугун СЧ20.

Оценку адгезионной прочности покрытий осуществляли методом нормального отрыва, в соответствии с ГОСТ 27890—88. В качестве разрывной машины использовали универсальную гидравлическую испытательную машину Instron Sattec 300LX.

Результаты и их обсуждение

Прочность сцепления с основой и характер разрушения покрытий из материалов-доноров на основе меди, модифицированной графитом и дисульфидом молибдена, в значительной степени зависят от материала основы. Прочность сцепления с основой покрытий, сформированных на образцах из стали 45, составляет 13—15 МПа, при этом наблюдается как адгезионный, так и смешанный характер разрушения. Прочность сцепления с основой покрытий, сформированных на поверхности из чугуна СЧ20, может достигать 12 МПа, однако разрушение покрытий в этом случае имеет когезионный и смешанный характер.

Результаты триботехнических испытаний свидетельствуют о сложном и неоднозначном характере влияния концентрации УДАГ в материале-доноре на антифрикционные свойства покрытий, сформированных из этого материала методом фрикционного плакирования гибким инструментом. С увеличе-

нием концентрации УДАГ в покрытии характер изнашивания пары трения меняется. При концентрациях УДАГ до 0,8 мас.% наблюдается снижение износа диска с покрытием при увеличении износа контртела, при этом суммарный весовой износ пары трения снижается, по сравнению с парой трения без покрытия. При концентрациях УДАГ, равных 1 мас.% и выше, наряду с увеличением износа контртела увеличивается и износ диска-образца, что приводит к суммарному повышению износа пары трения.

По результатам триботехнических испытаний можно заключить, что для улучшения антифрикционных свойств деталей из закаленного серого чугуна СЧ20 целесообразно использовать покрытие на основе меди, легированной графитом (снижение коэффициента трения в 2,7—3,23 раза, суммарного весового износа пары трения — в 4,4 раза, по сравнению с образцом без покрытия). Для деталей из незакаленного серого чугуна СЧ20 предпочтительнее покрытие из меди, модифицированной УДАГ. В этом случае наблюдается снижение коэффициента трения до 1,5 раза, а интенсивности массового изнашивания пары трения — до 4 раз.

Заключение

Проведена количественная оценка адгезионной прочности тонкослойных модифицированных покрытий на основе меди, сформированных методом фрикционного плакирования гибким инструментом. Установлено, что в зависимости от материала основы (сталь 45, чугун СЧ20) прочность сцепления достигает 12—15 МПа, при этом разрушение покрытия носит адгезионный, когезионный и смешанный характер. На основе анализа результатов триботехнических испытаний определены модифицирующие компоненты, вводимые в состав медного покрытия для снижения коэффициента трения и интенсивности изнашивания трущихся сопряжений.

1. Белевский Л.С. и др. Улучшение служебных характеристик металлических изделий методом фрикционного плакирования // Станочный парк. — 2011, № 11, 30—32
2. Смирнов О.М., Тулупов С.А. Термокинетический анализ процесса фрикционного плакирования // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. — 2009, № 9, 38—43
3. Леванцевич М.А. Модель контактного взаимодействия ворса вращающейся металлической щетки с поверхностью при деформационном плакировании // Механика машин, механизмов, материалов. — 2014, № 2, 74—80
4. Максимченко Н.Н. Исследование фрикционного плакирования гибким инструментом с использованием некомпозиционных планов второго порядка // Вестник машиностроения. — 2013, № 9, 38—42

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

П.Н. Петрова¹, А.Л. Федоров², А.А. Охлопкова²¹Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия. pravlina@yandex.ru²Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, Якутск, Россия

Введение. В ранее опубликованных работах [1–3] были представлены результаты триботехнических испытаний полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ), полученных пропиткой пористых полимерных заготовок моторными маслами различной природы. Было установлено, что для получения более износостойких композитов эффективными модификаторами ПТФЭ являются синтетическое моторное масло марки Motul 5W30 и минеральное масло M-8V. Данное обстоятельство обусловлено тем, что рассмотренные масла, легко подвергаются окислению в процессе термической переработки композита или содержат в своем составе окисленные соединения, способствующие лучшему удержанию пленки переноса на контртеле, которая в свою очередь предохраняет материал от износа. В предлагаемой работе представлены данные триботехнических испытаний ПКМ на основе ПТФЭ, полученных с применением отработанных моторных масел, а также интерпретация ИК-спектров масел поверхностей трения и частиц износа композитов.

Материалы и методы. В качестве модификаторов ПТФЭ использованы отработанные моторные масла — минеральное Eneos 10w40, полусинтетическое Castrol Magnatec 10w40, а также смесь отработанных масел. Триботехнические испытания проводили на универсальном трибометре УМТ-2 фирмы CETR (схема «палец—диск», нагрузка при трении — 150 Н, скорость скольжения — 0,16 м/с, путь трения — 2,7 км). Исследуемый образец — столбик диаметром 10 и высотой 20 мм; контртело — диск из стали 45 диаметром 75 мм с твердостью 45–50 HRC. Для получения ИК-спектров, использован ИК-спектрометр Varian 7000 FT-IR с приставкой нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО).

Результаты и их обсуждение. Использование в качестве модификаторов ПТФЭ отработанных масел, также как и в случае применения неотработанного моторного масла M-8V, происходит заметное улучшение стойкости композитов к износу (рис. 1).

Показано, что коэффициенты трения композитов несильно отличаются от коэффициента трения исходного ПТФЭ (рис. 2).

ИК-спектры поверхностей трения ПКМ указывают на наличие гидроксильной группы (3325 см^{-1}) и плоские деформационные колебания ассоциированных О-Н связей при 1433 см^{-1}) и карбонильной группы (1650 см^{-1}) (рис. 3). При этом выявлено, что чем меньше композит подвержен изнашиванию, тем выше содержание этих групп на поверхностях трения композитов. Для сравнения приведен спектр поверхности трения исходного

ПТФЭ, который указывает на то, что в процессе трения в зоне контакта не образуется никаких качественно новых соединений или групп.

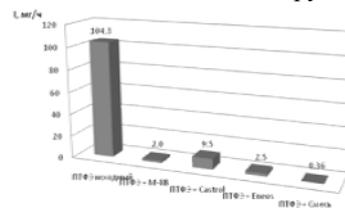


Рис. 1. Скорости массового изнашивания ПТФЭ и композитов, полученных модифицированием моторными маслами

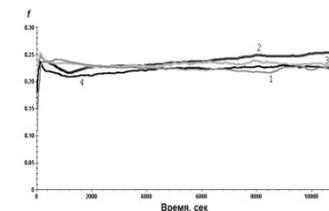


Рис. 2. Значения коэффициентов трения ПТФЭ (1) и композитов, полученных модифицированием моторными маслами: Castrol (2), Eneos (3), смесью моторных масел (4)

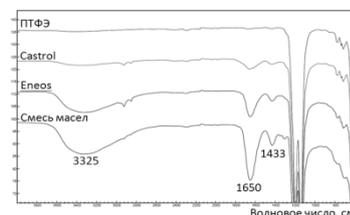


Рис. 3. ИК-спектры поверхностей трения композитов, модифицированных отработанными моторными маслами

На основе проведенного исследования можно заключить, что использование отработанных масел в качестве модификаторов ПТФЭ для получения износостойких композитов является перспективным.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГЗ №11.512.2014/К МОН РФ.

- Петрова П.Н., Федоров А.Л. Влияние жидкофазного наполнения на триботехнические характеристики композитов на основе политетрафторэтилена // Трение и износ. — 2010 (31), № 3, 276–281
- Петрова П.Н., Федоров А.Л. Разработка полимерных композитов на основе политетрафторэтилена с повышенной износостойкостью для узлов сухого трения // Вестник машиностроения. — 2010, № 9, 50–53
- Охлопкова А.А., Петрова П.Н., Федоров А.Л. Разработка полимерных трибокомпозитов на основе политетрафторэтилена с повышенной износостойкостью // Материаловедение. — М.: — 2012, № 1, 46–50

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА ПРИ ЕСТЕСТВЕННО-НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

П.Н. Петрова¹, А.Л. Федоров², С.В. Васильев², А.И. Герасимов¹, Р.С. Тихонов¹

¹Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия. pravlina@yandex.ru

²Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, Якутск, Россия

Введение. Проведение испытаний в условиях естественно-низких температур дает неоспоримые преимущества в том отношении, что условия окружающей среды при подобных испытаниях являются наиболее приближенными к условиям, при которых подразумевается эксплуатация рабочих деталей из исследованных материалов. Множество исследований посвящено изучению механизмов изнашивания политетрафторэтилена (ПТФЭ) и композитов на его основе при комнатной температуре [1—3]. Рядом исследователей в интересах аэрокосмической промышленности проведены испытания при криогенных температурах (температуры жидкого азота, гелия) [4, 5]. И только единичные работы [6] посвящены изучению механизмов трения ПТФЭ или его композитов при низких температурах, которые имеют место быть в Северных широтах в зимний период, при этом практически нет работ, в которых исследователям не приходилось бы искусственно создавать условия окружающей среды. С целью получения данных о триботехнических свойствах ПТФЭ при низких температурах проведены испытания образцов ПТФЭ при естественно-низких температурах окружающего воздуха.

Материалы и методы. В качестве образцов использованы втулки из ПТФЭ. Для одновременного испытания 4-х образцов использован стенд (рис. 1). Стенд установлен вне помещения и соединен через муфту с валом машины трения СМЦ-2, находящейся внутри помещения. Материал вала — сталь 45Х. При диаметре вала 25 мм скорость скольжения равна 0,39 м/с. Продолжительность испытания — 3 часа. Нагрузка на каждый образец примерно 110 Н.

Значения момента трения фиксировали с помощью электронного самописца Термодат-25Е1. Температуру на границе образец-контртело измеряли тепловизором NEC TN7102WV. Производили 4—5 съемок с разных ракурсов и усредняли полученные значения температуры.

Результаты и их обсуждение. Показано, что ПТФЭ в условиях низких температур демонстрирует повышенный износ (рис. 2). Трение при низкой температуре, также как и трение при температуре 0 °С, сопровождается несколько повышенными значениями коэффициента трения (рис. 3).

Зависимость температуры на границе трения образец-контртело от температуры окружающей среды прямая, т.е. чем ниже температура окружающей среды, тем ниже температура на границе трения. При температурах окружающей среды — 41, 0 и 23 °С, температуры в зоне трения равны 61,5, 91,9 и 152,7 °С соответственно.

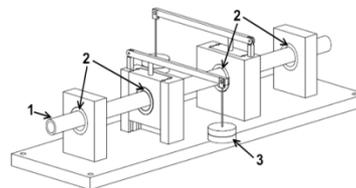


Рис. 1. Стенд для триботехнических испытаний: 1 — вал; 2 — образцы; 3 — гири

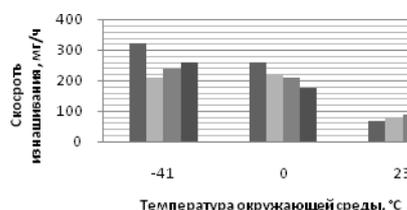


Рис. 2. Скорости массового изнашивания в зависимости от температуры окружающей среды

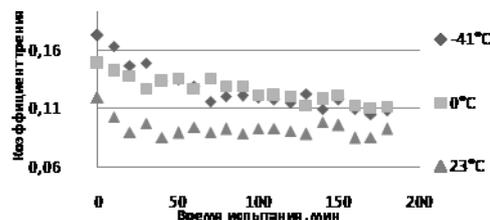


Рис. 3. Значения коэффициента трения в зависимости от температуры окружающей среды

Таким образом, разработан стенд и методика проведения триботехнических испытаний полимеров и композитов при естественно-низких температурах, позволяющие сократить время и получить более достоверные данные за счет проведения исследований нескольких образцов одного состава в одинаковых условиях. На разработанную полезную модель получен патент РФ.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГЗ № 11.512.2014/К МОН РФ.

- Shen J. T., et al. Structural Changes in Polytetrafluoroethylene Molecular Chains upon Sliding against Steel // *J. Mater. Sci.* — 2014 (49), 1484—1493
- Khedkar J., et al. Sliding Wear behavior of PTFE Composites // *Wear.* — 2002 (252), 361—369
- Shi-Quan Lai, et al. A Study on the Friction and Wear behavior of PTFE Filled with Acid Treated Nano-Attapulgite // *Macromol. Mater Eng.* — 2004 (289), 916—922
- Theiler G., et al. Friction and Wear of PTFE Composites at Cryogenic Temperatures // *Tribol. Int.* — 2002 (35), 449—458
- McCook N.L. Cryogenic Friction behavior of PTFE Based Solid Lubricant Composites // *Tribol. Lett.* — 2005 (20), 109—113
- Okhlopova A.A., et al. Nanoceramic and Polytetrafluoroethylene Polymer Composites for Mechanical Seal Application at Low Temperature // *Bull. Korean Chem. Soc.* — 2013 (34), 1345—1348

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРУЮЩЕГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФАЗОВОГО МИКРОСКОПА-ПРОФИЛОМЕТРА В ТРИБОЛОГИИ ГРАНИЧНОЙ СМАЗКИ

Е.Н. Смирнов¹, С.А. Коленов¹, Ю.В. Пильгун¹, А.У. Стельмах²

¹Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, Киев, Украина

²Национальный авиационный университет, Киев, Украина; stelmah65@yandex.ua

Постановка задачи

В современном машиностроении наиболее широко используются контактные методы сканирования поверхностей механическим щупом. Получаемый таким образом профиль на профилографах анализируется и определяются его характеристики в удобном виде системы параметров R_a , R_z , R_{max} , S_m или др. Эти параметры стандартизованы соответствующими ГОСТами и регламентируются конструкторской и технологической документацией производства. При контактном измерении поверхность повреждается, а получаемая при этом информация не есть достоверной.

Результаты и их обсуждение

В качестве одного из возможных вариантов получения качественной трехмерной информации о поверхности предлагается использование бесконтактного микроскопа-профилометра ЛСДФМП. В этом приборе реализован дифференциально-фазовый метод исследований, обеспечивающий высокую чувствительность к изменению профиля поверхности по высоте (до 0,1 нм) и хорошую виброзащищенность [1]. ЛСДФМП путем растрового сканирования позволяет получать дифференциально-фазовую информацию о поверхности объекта исследования.

Исследования, проведенные в лаборатории нанотриботехнологий НИЧ НАУ показали, что угловая пространственная зависимость параметров шероховатости является весьма важным фактором при трении. Например, износостойкость, сила трения, контактная температура трибосистемы сильно зависят от пространственного распределения микрогеометрии рабочих поверхностей относительно направления их эксплуатации. В этом случае микроскоп-профилометр дает возможность легко получить представление о периоде или пространственной частоте шероховатости в заданном направлении.

Экспериментально установлено, что именно объёмная пространственная шероховатость поверхностей трения дает наиболее полную информацию и отражает её главные потребительские — триботехнические свойства. Один из наиболее распространённых стандартизованных параметров шероховатости R_a , который определяется по одному и/или по нескольким профилям, характеризует лишь среднее отклонение выступов и впадин относительно средней линии и не несет информацию о геометрии вершин выступов. При этом именно поверхность вершин выступов вступает в контактные взаимодей-

ствия с поверхностью другого тела посредством граничных слоев при трении. Нами была проведена серия следующих экспериментов: образующая цилиндр контрообразца после обработки доводились разными методами доводки до одинакового параметра шероховатости по R_a , (рис. 1).

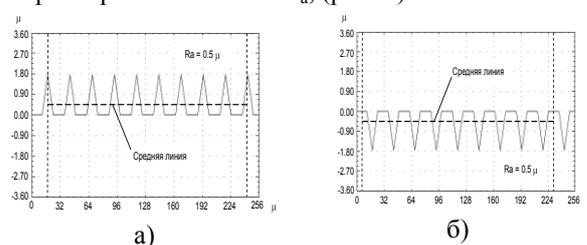


Рис. 1. Модельная поверхность, имеющая геометрию в форме выступов а) и в форме впадин б) с одинаковым параметром шероховатости R_a 0,5 мкм

Из профилограмм видно, что в первом случае вершины выступов имеют геометрию, близкую к геометрии режущих кромок резцов (рис. 1, а), а во втором случае вершины выступов имели геометрию плоских платформ и шероховатость в этом случае по Ахматову А.С. [2] названа каньонообразной (рис. 1, б).

Кроме этого, качественно новая информация о пространственном состоянии поверхностей деталей машин, получаемая на микроскопе-профилометре ЛСДФМП позволит разрабатывать новые технологические приёмы доводки рабочих поверхностей с наиболее эффективной эксплуатационной микрогеометрией. Это крайне необходимо для машиностроения при изготовлении трущихся деталей машин, лопаток турбин и компрессоров, деталей прецизионной техники и т.д.

Выводы

Таким образом, путем использования ЛСДФМП с высокой чувствительностью по профилю (1 нм) в триботехнических испытаниях существенно повышается воспроизводимость получаемых результатов как на стадии контроля 3D топографии исходных трущихся поверхностей, так и при измерении величины износа.

1. Способ дифференциально-фазовой профилометрии и/или профилографии и устройство для его реализации: Пат. RU 2179328 C1; 7 G02B21/00, G01B11/30 // Кияшко С.Н., Смирнов Е.Н., Ильченко Л.Н., Коленов С.А., Стельмах А.У. Опубликовано 2002.02.10
2. Ахматов А. С. Молекулярная физика граничного трения. — М.: Физматгиз. — 1963

К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ НА ХАРАКТЕР ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПАР ТРЕНИЯ БРАЖ9-4 — СТАЛЬ X12M И БРАЖ9-4 — СТАЛЬ 35ХГСА, СТАЛЬ 40Х С НАУГЛЕРОЖЕННЫМИ СЛОЯМИ

Н.Н. Степанкин¹, Е.П. Поздняков¹, В.Г. Кудрицкий²

¹Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Гомель, Беларусь;
igor-stepankin@mail.ru

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

Цель

В работе исследовано влияние диффузионного насыщения экономнолегированных сталей 35ХГСА и 40Х на их износоустойчивость в условиях трения скольжения возникающего при эксплуатации деталей гидравлических машин. Для указанных сталей и материала прототипа — стали X12M проведен сравнительный анализ зависимостей изнашивания и сформулированы рекомендации по упрочнению дисков опорных и дисков распределительных гидравлических насосов при их изготовлении из экономнолегированных сталей.

Материалы и методы

Объектами исследований являлись инструментальная сталь X12M и экономнолегированные конструкционные стали 35ХГСА и 40Х. Для повышение износоустойчивости экономнолегированных сталей их поверхность упрочняли посредством цементации на глубину 0,8 и 1,2 мм, а также последующей закалкой и отпуском.

Испытание проводили на установке, обеспечивающей одновременное скольжение двух цилиндрических образцов по поверхности дискового контртела [1]. Образцы прижимали к противоположным поверхностям контртела с одинаковым усилием. Для моделирования пары трения пятник — диск опорный аксиально-поршневого насоса А1-56/25 (производство ОАО «Гидропривод»), граничные условия по выбору смазочного материала, контактной нагрузке и скорости скольжения выбирали идентичными указанной гидравлической машине. Для всех испытанных образцов контактное давление на поверхности трения составляло 7МПа, скорость скольжения 7,6 м/с. Износ образцов регистрировали путем замера потери массы образцов в зависимости от периода наработки в часах. Материал контртела — БРАЖ9-4, соответствовал материалу пятников плунжеров аксиально-поршневого насоса.

Результаты и их обсуждение

Приработка поверхности образцов всех исследованных партий сопровождалась повышенной интенсивностью износа с колебанием коэффициента трения в диапазоне 0,2...0,12. Его скачкообразные изменения зарегистрированы как в моменты повторных пусков, так и при непрерывном испытании.

Карбидная фаза и металлическая матрица стали X12M изнашиваются с разной интенсивностью. Поверхность трения образцов становится рельефной. Карбидные включения выступают над металлической матрицей. Отмечена также деформация крупных продолговатых включений, которая сопровождалась поворотом продольной оси частиц под углом 45 градусов к направлению действия вектора окружной скорости. Отмечено, что разрозненные включения не инициируют массоперенос материала контртела на поверхность трения образцов.

Испытания образцов из сталей 35ХГСА и 40Х, упрочненных посредством цементации с последующей закалкой и низким отпуском показали, что морфология поверхностного слоя, отличающегося выраженным заэвтектоидным строением оказывает существенное влияние на условия контактного взаимодействия материала образцов и контртела. По аналогии с высоколегированной сталью X12M, карбидные включения являются фазами, которые изнашиваются с меньшей интенсивностью, чем металлическая матрица. Это в большей степени проявляется при испытании стали 40Х. Границы зерен образующие сплошную карбидную сетку, выступают над поверхностью матрицы и являются очагами формирования объемов медного сплава. Его перенос с поверхности контртела сопровождается многократными скачками коэффициента трения. Износ поверхности образцов из сталей 40Х и X12M проходит по близким по интенсивности зависимостям. Науглероженная поверхность образцов из стали 35ХГСА не имеет сплошной карбидной сетки и после приработки характеризуется более высокой износоустойчивостью стали 40Х и X12M.

По результатам исследований сформулированы рекомендации по замене материала дисков опорных и дисков распределительных гидравлических насосов А1-56/25, А1-112/25, А2-28/25, выпускаемых ОАО «ГИДРОПРИВОД». Апробирована и внедрена в производственный процесс технология науглероживания указанных деталей из стали 35ХГСА взамен стали X12M.

1. Устройство для испытания образцов на износоустойчивость: Пат. РБ на полезную модель №10548 МПК (11) G 01 N 3/56 / И.Н. Степанкин, Е.П. Поздняков, И.А. Панкратов, Ю.Д. Новик, Д.И. Белый. — № u20140274. // Афіцыйны бюлетэнь / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2015, № 1 (102), 161

ИССЛЕДОВАНИЕ УДАРНО-АБРАЗИВНОГО ИЗНАШИВАНИЯ СТАЛИ ГАДФИЛЬДА, НАПЛАВЛЕННОЙ РУЧНОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКОЙ

В. Янкаускас¹, М. Антонов², Е. Катинас¹

¹Университет им. Александра Стулгинскиса, Каунас, Литва; vytenis.jankauskas@asu.lt

²Таллинский технический университет, Таллинн, Эстония

Цель

Цель исследований — определить влияние легирующих элементов (Ni, Cr, Mo, B, Cu, Si) и упрочняющей фазы WC на ударно-абразивный износ слоев стали Гадфильда (НССГ), наплавленных разработанными электродами.

Материалы и методы

Исследования износостойкости в конфигурации стальной диск-образец с подачей абразива в зону контакта и производственная проверка НССГ выполнены в работе [1]. Было выявлено, что при измельчении каменистых пород создаются необходимые ударные условия работы материалов.

Химический состав слоев стали Гадфильда, наплавленных разработанными на ЗАО „Anykščių varis“ электродами показан в табл. 1.

Таблица 1. Состав наплавленных слоев стали Гадфильда [1]

№ стали	Легирующие элементы								
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	B	Cu	W
4	0,98	13,5	0,12	0,15	0,06	0,40	0,005	0,08	0,19
5	0,87	13,0	0,13	0,15	3,03	0,40	0,005	0,13	0,23
6	0,91	12,6	0,12	2,75	0,09	0,38	0,005	0,08	0,22
7	0,85	11,1	0,13	0,17	0,07	3,99	0,008	0,10	0,19
8	1,21	13,9	0,13	0,15	0,07	0,32	0,244	0,10	0,09
9	1,18	10,8	0,23	0,15	0,06	0,37	0,007	2,53	0,15
10	1,26	10,3	1,39	0,14	0,05	0,30	0,006	0,09	0,09
14	2,00	14,7	0,89	0,17	0,08	0,31	0,013	0,18	19,6
15	1,92	12,4	0,98	0,19	4,58	0,33	0,015	0,23	18,93
16	1,88	10,7	0,84	3,94	0,08	0,33	0,010	0,16	22,23
17	2,01	12,6	0,96	0,18	0,11	3,87	0,014	0,19	17,98
18	2,06	12,6	1,07	0,18	0,08	0,39	0,486	0,19	18,91
19	1,82	11,4	0,99	0,17	0,07	0,40	0,014	3,64	24,01
20	2,25	13,3	3,06	0,17	0,08	0,27	0,014	0,23	18,81

Остаток — Fe.

Изнашивание при ударно-абразивном износе наплавленных слоев исследовали в Таллинском ТУ на разработанной установке ($E_H = 0$ или 2,8 или 5,6 Дж; скорость скольжения $V = 0,2$ или $1,0 \text{ мс}^{-1}$; кварцевый песок 0,2—0,3 мм) [2], а также в дезинтеграторе (скорость удара $V = 40 \text{ мс}^{-1}$; гранит 3—6 мм).

В качестве эталонных материалов были использованы износостойкая сталь Hurdox 400 (H400) и стандартная сталь Гадфильда (SHS).

Результаты и их обсуждение

Средний износ НССГ (№ 4) и НССГ, легированных Ni, Cr, Mo, B, Cu, Si (№ 5—10) в условиях абразивного безударного изнашивания составляет $94 \cdot 10^{-5} \text{ мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м}$. Это на 9% меньше износа стандарт-

ной СГ ($103 \cdot 10^{-5} \text{ мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м}$), но на 8,2% больше износа стали Hurdox 400 ($86 \cdot 10^{-5} \text{ мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м}$). НССГ легированные Cu и Si (№ 9 и 10) изнашивались на 10,5% меньше наплавленных сталей СГ (№ 4—8). Лишь сталь Гадфильда легированная кремнем (№ 10) при этих условиях испытания равноценна стали Hurdox 400 (рис. 1).

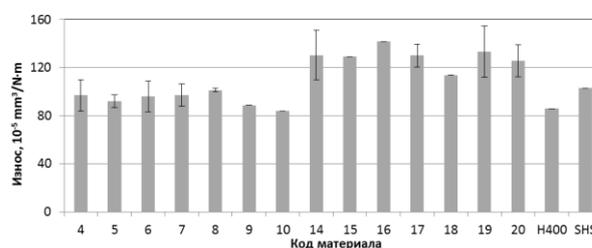


Рис. 1. Износ наплавленных слоев СГ в тесте абразивного безударного изнашивания ($V = 1,0 \text{ мс}^{-1}$; $E_H = 0 \text{ Дж}$)

В условиях низкой энергии удара (2,8 Дж) средний износ стали Гадфильда (образец № 4) и стали Гадфильда легированной Ni, Cr, Mo, B, Cu, Si (№ 5—10) составил $234 \cdot 10^{-5} \text{ мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м}$ (не показано). Это на 13,3% больше чем износ ($203 \cdot 10^{-5} \text{ мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м}$) наплавленных слоев СГ с упрочняющей фазой WC (№ 14—20).

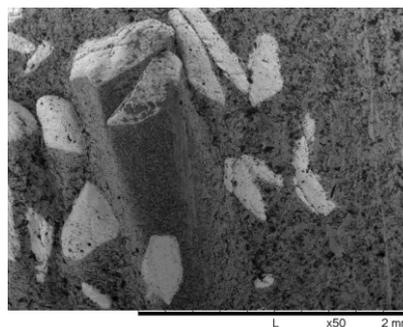


Рис. 1. Поверхность образца № 17 после испытания в условиях безударного изнашивания

Во время испытания происходит избирательный износ материала, при котором частицы карбида вольфрама выступают из поверхности матрицы ввиду своей большей износостойкости и снижают её износ, усложняя доступ абразивным частицам (рис. 1).

1. Янкаускас В., Катинас Э., Варнаускас В., Катинас А., Антонов М. Увеличение долговечности рыхлителей почвы разными методами упрочнения // Трение и износ. — 2015 (36), № 1, 111—119
2. Antonov M., Veinthal R., Yung D-L., Katusin D., Hussainova I. Mapping of impact-abrasive wear performance of WC-Co cemented carbides. — Wear. — 2015 в печати

К ВОПРОСУ ТЕПЛООВОГО РАСЧЕТА ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ

В.И. Бахшалиев, И.А. Исмаил

Азербайджанский технический университет, Баку, Азербайджан, v.bakhshali@aztu.edu.az

Проблема повышения долговечности и прочности узлов и деталей поршневых машин (ПМ), применяемых в нефтепромысловой отрасли при одновременном снижении их металлоемкости, инерционных нагрузок, вибро-шумовых характеристик, увеличение триботехнических свойств является актуальной [1, 2]. Расчет подшипника скольжения с жидкостным трением приводят одновременно с тепловым расчетом, т.е. расчетом на недопустимость чрезмерного нагревания [3].

На рис. 1 показана положение шейки вала во вкладышекоренного подшипника ПМ. Примем центр O вкладыша за начало полярной системы координат r и θ .

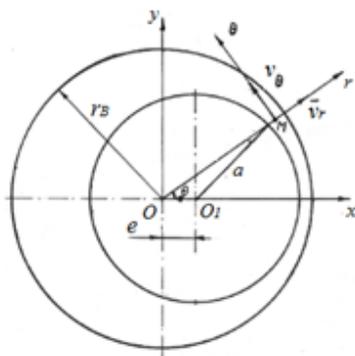


Рис. Схем подшипника скольжения

Как известно, шейка вала под действием внешней нагрузки Q относительно вкладыша подшипника занимает эксцентричное положение с эксцентриситетом e , равном отклонению центра O_1 шейки вала от центра O подшипника. Здесь обозначены θ и r — координаты частицы масла в полярной системе, радиус шейки вала и вкладыша подшипника соответственно через a и $r_B = a + \delta$, v_θ, v_r , проекции скорости частицы масла соответственно в поперечной и радиальной направлениях [4].

Для составления уравнения теплового баланса рассмотрим температурный режим подшипника скольжения ПК по температуре нагрева масляного слоя в рабочей зоне. Как известно, образовавшаяся в подшипнике теплота отводится маслом, протекающим через подшипник, и путем теплоотдачи через корпус подшипника и вал. С учетом нагрузочной способности Q , найденное в работе [5], нами выведена формула для теплового расчета подшипника скольжения ПМ:

$$t_M = t_x + \frac{\pi \mu C_1 \left[\frac{r^2 \lambda_1 + 2^3 \lambda_2 - 2 u a_2 - u a_1 -}{2 \cdot \rho \cdot \lambda + A} \right]}{2 \cdot \rho \cdot \lambda + A} \leq t_M^*$$

где t_M и $[t_M]$ — действительный и допускаемый средние температуры нагрева смазки в рабочей зоне подшипника, t_{bx} — температура при входе в подшипник, a_0, a_1, a_2, C_1 уточненные коэффициенты, определяющие кинематические, динамические и тепловые характеристики гидродинамического условия подшипника.

Анализ результатов приведены на базе компрессора 505 ВП 20/18 и 405 ГП15/70, гденагрузочная способность коренного подшипника $Q = 30000$ Н, материал вкладыша — бронза марки Бр.ОЦС 6-6-3. Для подшипника назначается индустриальное масло И-50А, динамическая вязкость масла $\mu = 0,00016$ Па·с, удельная теплоемкость $c = 1,92 \cdot 10^3$ Дж/(кг·°С), плотность масла $\rho = 900$ кг/м³, коэффициент теплопередачи $\kappa = 16$ Вт/м²·°С, коэффициент трения $f = 0,001$. Окружная скорость цапфы вала $u = 4$ м/сек. Ориентируясь на конструкцию подшипника, площадь его поверхности $A = 0,035$ м². Объем масла, протекающего через подшипник в единицу времени $V = 13/10^{-7}$ м³. Температура нагрева смазки на входе в рабочую зону подшипника $t_{bx} = 30$ °С.

На основе этих данных определены температуры нагрева смазки в рабочей зоне подшипника $t_M = 70$ °С.

Для улучшения температурного режима при расчете подшипников скольжения с жидкостным трением, следует выбирать для смазки масло с большей динамической вязкостью и назначить для рабочих поверхностей цапфы и вкладыша подшипника меньше шероховатости.

Выведено аналитическое выражение для теплового расчета подшипника скольжения на основе гидродинамической теории смазки. Результаты исследований могут быть использованы при расчете и эксплуатации коренного подшипника скольжения поршневой машины с достаточной точностью и достоверностью.

1. Горячева И.Г. Механика фрикционного взаимодействия. — М.: Наука. — 2001
2. Bakhshaliev V.I. Mechanics of Piston Machines. — Saarbrücken, Berlin: LAP Lambert Academic Publishing. — 2011
3. Rangwala A.S. Reciprocating Machinery Dynamics. — New Age International. — 2006
4. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. ч.2. — М.: Гос. изд-во физико-мат. лит. — 1963
5. Бахшалиев В.И. Определение температурного режима подшипника скольжения с жидкостным трением // Трение и износ. — 2007 (28), № 3, 257—260

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРИБОСИСТЕМ КАК НЕОБХОДИМАЯ ЧАСТЬ ТРИБОАНАЛИЗА

Л.И. Евельсон

Брянская государственная инженерно-технологическая академия, Брянск, Россия; levelmoscow@mail.ru

Трибологические процессы весьма сложны, и для их изучения необходимо применять системный подход. В этом направлении накоплен некоторый опыт, однако анализ публикаций, посвященных трению и износу показывает, что современные методы, разработанные в последние десятилетия в информатике для изучения сложных систем, не нашли еще должного применения в трибологии [1]. Кроме того, явно недостаточно трибологических информационных ресурсов (по крайней мере, русскоязычных), они мало связаны между собой и часто недоступны тем, кто мог бы их использовать. Высокая сложность трибологических систем, большое число взаимосвязанных количественных и качественных факторов, сильно влияющих на выходные характеристики, затрудняют создание и использование традиционных информационных ресурсов, например, реляционных баз данных, вследствие неизбежной противоречивости их содержания.

Таким образом, весьма актуальной теоретической проблемой является включение моделей и методов информатики как составной части в трибоанализ, и не менее актуальной практической проблемой является создание трибологических информационных ресурсов. Эти задачи взаимосвязаны.

Предлагается создавать по наиболее важным конкретным триботехническим проблемам многоуровневые информационные модели и разрабатывать информационные трибологические информационные ресурсы в соответствии с этими моделями. В общем случае такая модель может содержать нано-, микро-, мезо-, макро- и мета- уровни.

На наноуровне модель может содержать, например, сведения о молекулярной структуре материалов, наномодификаторах и их влиянии на микроструктуру, строении и дефектах кристаллической решетки и т.д. Эти сведения должны быть структурированы, например, в виде текстовых баз данных.

На микроуровне может фигурировать информация о шероховатости контактирующих поверхностей, физических и химических свойствах материалов и др. На этом уровне структурирование информации целесообразно с применением реляционных баз данных, содержащих результаты проводившихся лабораторных испытаний, причем необходимо использовать специально разрабатываемые методы сопоставления результатов, полученных в различных условиях.

К мезоуровню относится информация об узле трения, включая его назначение, конструкцию, при-

меняемые смазочные материалы, известные методики расчета и проектирования и т.д. Информация формализуется и структурируется здесь в виде некоего хранилища трибологических знаний (ХТЗ), которое содержит предварительно обработанные по единой методике сведения, извлеченные из доступных литературных и других источников, причем такое хранилище должно постоянно поддерживаться и дополняться новыми знаниями в соответствии с определенным разработанным регламентом, включающим периодичность обновления и круг рассматриваемых информационных источников [2]. На основе ХТЗ по частным крупным задачам, связанным с узлами трения рассматриваемого типа, создаются интеллектуальные информационные системы: интегрированные экспертные системы, включающие базу знаний, построенную с помощью продукционной или фреймовой модели представления знаний, блоки рабочей памяти и объяснений, а также модули, реализующие известные методики расчета, создаваемые с помощью традиционных технологий алгоритмического программирования.

На макроуровне информационная модель охватывает в целом машину или другой объект, в который входит рассмотренный на мезоуровне узел трения. Рассматривается функционирование объекта с учетом поведения трибологических подсистем, а также процессы, происходящие в узле трения (прежде всего, изнашивание), вызываемые функционированием объекта и зависящие от них. Этому уровню соответствуют САПР и системы имитационного компьютерного моделирования.

На метауровне рассматривается создание доступных информационных ресурсов, посвященных рассматриваемой триботехнической проблеме в целом, например, сайтов Интернет, содержащих подборки научных публикаций.

Весьма плодотворным представляется внесение в трибологию идей концепции взаимодействия открытых систем, играющей сейчас ключевую роль в информатике. В трибологии эта концепция могла бы быть очень полезна, и информационные ресурсы следует строить на ее основе.

1. Современная трибология: Итоги и перспективы. Отв. ред. К.В. Фролов. — М.: ЛКИ. — 2008
2. Евельсон Л.И., Хандыго В.Г., Ширяева Л.И., Захаров С.М. Построение базы знаний для систематизации опыта исследований взаимодействия колеса и рельса //Вестник компьютерных и информационных технологий. — 2014 (118), № 4, 21—26

ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ТРИБОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПЛЕНОК ФРИКЦИОННОГО ПЕРЕНОСА

А.Н. Карапетян, К.В. Оганесян, В.В. Сароян

Государственный инженерный университет, Ереван, Армения; ars.karapetyan@yahoo.com

Цель

Создание несмазываемых узлов трения с большим эксплуатационным ресурсом работы и минимальными потерями на износ, а также глубокое изучение динамики развития пленок фрикционного переноса (ФП) позволяют повышать долговечность узлов трения машин, управлять их триботехническими показателями [1—4]. Настоящая работа посвящена исследованию трибохимических и физико-механических процессов, способствующих формированию в условиях отсутствия смазки пленок ФП, а также выявлению механизмов формирования и количественной оценке перенесенных слоев в металлополимерной трибосистеме.

Материалы и методы

Композиты на основе сополимера формальдегида с диоксидом кремния (СФД) были наполнены механически активированными минеральными наполнителями (травертином и бентонитом). Композиционные материалы были получены смешиванием порошка полимерной матрицы с порошком наполнителей в высокоскоростном смесителе. Образцы были получены методом литья под давлением при температуре 220 °С и давлении 90 МПа. Содержание наполнителя колебалось в пределах 5...20 мас.ч. Полимерные образцы изготавливались в виде цилиндров Ø10×15 мм, а контртелами служили ролики Ø50×14 мм из стали 45 с твердостью 48...52 HRC и шероховатостью поверхности $R_a = 1.25$ мкм.

Триботехнические испытания проводились на машине трения СМТ-1, анализ поверхностных пленок ФП, образующихся на стальном контртеле осуществлялся вторично-ионным масс-спектрометром MS 7201M, а микротвердость образцов определялась на приборе ПМТ-3.

Результаты и их обсуждение

Методом планирования многофакторного эксперимента осуществляли оптимизацию рецептурного состава композитов, обеспечивающей получение антифрикционного самосмазывающегося материала с минимальной интенсивностью изнашивания и минимальным коэффициентом трения.

Механизм формирования пленок ФП рассматривался с позиций физико-химической механики контактного взаимодействия: пластической деформации, диффузионных процессов, адгезионно-когезионного межмолекулярного взаимодействия, деполимеризации основной цепи полимера, трибоэлектризации поверхностных слоев. Предложенная модель позволила на основе экспериментальных дан-

ных рассчитать толщину пленки ФП, долговечность которой обеспечивает процесс самосмазывания металлополимерного узла трения.

Установлено, что трибохимические процессы заметно изменяют физико-механические свойства поверхностных слоев как исходного полимера, так и композиций на его основе. В отличие от ненаполненного СФД в композитах формируется структура с повышенной микротвердостью, а следовательно, высокой износостойкостью.

Анализ состояния поверхностных слоев вторично-ионным масс-спектрометром указал:

– на увеличение в 1.5...3.0 раза интенсивности выделения концевых групп, формирующих пленку ФП, на поверхностях трения с наполненными композитами по сравнению с другими антифрикционными материалами;

– снижение интенсивности выделений фрагментов основной цепи у композитов, свидетельствующее об уменьшении скорости трибодеструкции и повышении их износостойкости;

– наличие основных элементов минеральных наполнителей (травертина и бентонита), приводящее к увеличению толщины перенесенного слоя и поверхностной плотности.

Заключение

Фазовые и физико-химические превращения, протекающие в зоне металлополимерного трибоконтакта, оказывают существенное влияние на физико-механические и трибохимические свойства поверхностных слоев композитов, способствуя формированию перенесенных слоев с повышенной износостойкостью и прочностью. Разработка расчетной методики оценки толщины пленок ФП и оптимизирование состава компонентов композиционных материалов позволяет осуществить обоснованный выбор трибоматериалов в условиях трения без смазки и прогнозировать их работоспособность и износостойкость.

1. Свириденко А.И. Роль фрикционного переноса в механизме самосмазывания композиционных материалов // Трение и износ. — 1987 (8), № 5, 773—778
2. Трибология: Исследования и приложения. Опыт США и стран СНГ / Под ред. В.А. Белого, К. Лудемы, Н.К. Мышкина. — М.: Машиностроение. — 1993
3. Pogosian A., Bahadur S., Hovhannisyan K. and Karapetyan A. Investigation of the tribochemical and Physico-mechanical Processes in Sliding of Mineral-filled formaldehyde Copolymer Composites Against Steel // Wear. — 2006 (260), 662—668
4. Pogosian A., Hovhannisyan K. and Isajanyan A. Polymer Friction Transfer (FT) // Encyclopedia of Tribology. — N. Y.: Springer Scie. — 2013, 2585—2592

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТОРМОЗА С АДАПТИВНЫМ МЕХАНИЗМОМ ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ

А.Н. Коптовец, А.А. Бобылев, С.Е. Барташевский, В.В. Яворская

Национальный горный университет, Днепропетровск, Украина

Структурно-морфологический анализ показал, что кинематическая цепь колодочно-колесного тормоза шахтных локомотивов является механизмом с переменной структурой, которая теряет подвижность при включении в работу тормозных механизмов, что приводит к деформации звеньев при изменении реакции колеса. Тормозная передача при включении тормозного механизма изменяет число степеней свободы и относится к неассуровым структурным группам отрицательного порядка и уменьшает число степеней свободы на одну единицу.

Благодаря своим особым свойствам неассуровые структуры являются адаптивными и индифферентными кинематическими структурными группами [1]. Тормозная передача как адаптивный структурный механизм обеспечивает приспособляемость законов движения ведомых звеньев к параметрам рабочего процесса трения, в котором участвует тормозной механизм. Адаптирующая связь это условие взаимодействия колодки и колеса на относительном их перемещении и зависит от параметров рабочего процесса трения. Тормозная система с замкнутым кинематическим контуром обладает наличием индифференцирующей связи, которая обеспечивает напряжение контура. Индифферентные механизмы с неассуровыми цепями отрицательных порядков позволяют создать натяг вдоль линии структурно-кинематической цепи. Статическая неопределенность и перераспределение нагрузки между элементами цепи требует разработки методик синтеза замкнутых напряженных структур.

Тормоз является адаптивным механизмом с переменной структурой в состав кинематической цепи которой наряду с жесткими звеньями должны входить гибкие, гидравлические, пневматические, электрические (АБС) или иные звенья другой физической природы в качестве адаптирующих связей для условий взаимодействия колодки и колеса на относительном их перемещении в зависимости от параметров рабочего процесса трения. Поэтому тормозу как механизму с переменной структурой с неассуровыми цепями включением особого вида связей, до сих пор не входящих в состав кинематической цепи, необходимо придать свойство приспособления, то есть изменения параметров своего движения в функции изменения параметров рабочего процесса трения, что является основанием для разработки модели управления силой трения в тормозном механизме по величине и в функции скорости скольжения.

В качестве динамической модели колодочно-

колесного тормоза разработана колебательная система с двумя степенями свободы, состоящая из колодки, скользящей по вращающемуся колесу, и двух упругодемпфирующих элементов Фойхта. Первый из них моделирует конструктивную связь тормозного механизма, действующую в направлении под углом к вертикальной оси, и прижимает колодку к колесу номинальным усилием. Второй упругодемпфирующий элемент моделирует конструктивную связь тормозного механизма, действующую в направлении под углом к плоскости трения. Если хотя бы один из углов отличен от значений 0° или 90° , наличие в рассматриваемой модели упругодемпфирующих элементов приводит к координатной взаимосвязи нормальных и тангенциальных колебаний колодки. Кривизна поверхностей колодки и колеса не учитывается. Принято, что колодка и колесо абсолютно жесткие, однако каждая контактирующая поверхность покрыта шероховатым слоем, состоящим из линейно-деформируемых микронеровностей одинаковой жесткости различной высоты. В процессе относительного движения происходит смятие микронеровностей. В первом приближении нормальная компонента локальных сил взаимодействия микронеровностей принимается пропорциональной величине их взаимного перекрытия. Трение между контактирующими поверхностями описывается законом Амонтона.

Задача состоит в определении закона движения колодки с учетом связанности тангенциальных и нормальных колебаний.

Выполнено спектральный анализ виброперемещений тормозной колодки и переменных составляющих усилий тормозного механизма, регрессионный, корреляционный и дисперсионный анализ усилий в соответствии с планом факторного эксперимента, моделирование процессов колебаний в тормозном механизме методом вычислительного эксперимента по решению ряда модельных задач вместо натурных испытаний. Результаты позволяют утверждать, что коэффициент трения тормоза обладает агрегатными свойствами и определяется геометрией контакта трения и тормозной передачи, инерционными, упругими и диссипативными свойствами контакта, тормозного механизма, передачи и привода.

1. Дровников А.П. Адаптивные структуры механизмов и машин / А.П. Дровников. — Ростов: Изд-во Ростов. ун-та. — 1984

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ СТАЛЕЙ ПРИ ТРЕНИИ СКОЛЬЖЕНИЯ СО СМАЗОЧНЫМ МАТЕРИАЛОМ

П.И. Маленко, К.Д. Релмасира, А.Ю. Леонов

Тульский государственный университет, Тула, Россия; malenko@tsu.tula.ru

В результате проведенных исследований установлено, что в процессе трения в контактирующих поверхностных слоях сталей формируются вторичные структуры (ВС), фазовый состав которых отличается от исходного состава и определяет эксплуатационные (адгезионные) свойства пар трения.

Эксперименты по определению фазового состава ВС на рабочих поверхностях деталей запорных агрегатов стрелково-пушечного вооружения, работающих в условиях ресурсного смазывания и изготовленных из никотрированной теплостойкой стали 25Х3МЗНБЦА методом рентгеноструктурного анализа показали, что фазовые превращения в поверхностных слоях имеют свои особенности [1].

Морфология контактирующих поверхностей в виде суб- и микрошероховатостей в результате действия рабочих давлений и скоростей трения определяет возникновение пульсирующих температур, характеризующихся следующими параметрами: темпом тепловода $dT/dt = 10^6 \dots 10^9$ К/с; скоростью тепловода $U = 10^4 \dots 10^7$ 1/с, плотностью мощности теплового потока $W = 10^5 \dots 10^7$ Вт/см² [2]. Полученные данные позволяют говорить о существовании термических ударов, инициированных на площадках контакта микронеровностей температурой трения.

Можно выделить два подхода при теоретическом описании термического удара и реакции среды на удар: в непрерывном приближении (среда предполагается сплошной) и дискретном (среда рассматривается на уровне кристаллической решетки).

Непрерывный подход представлен в работе [3]. Происходит увеличение термоупругих напряжений в нагретой области и быстрый рост давления Р. Величину давления можно определить по формуле

$$P = \frac{3}{1} \frac{TE}{2} \quad (1)$$

Дискретный подход, учитывающий кристаллическое строение стали, предполагает, что в результате действия термического удара в среде возникают ударные волны расширения-сжатия с образованием отрицательного давления и с амплитудой, пропорциональной плотности мощности теплового потока W [4].

Давление от термического удара целесообразно определять по зависимости

$$P \sim Gc \int_T^T dT, \quad (2)$$

где c и ρ соответственно теплоемкость и плотность стали, $T_1 - T_0$ — диапазон исследуемых температур, Γ — параметр Грюнаизена (таблица).

Таблица. Значения давления Р в поверхностном слое в непрерывном и дискретном приближении

	Тип контакта	Микрошероховатость				Субшероховатость	
		T, °C	200	300	400	500	
Непрерывный подход	сжатие	P, ГПа	6	8,9	11,8	14,7	
		P, ГПа	6	8,9	11,8	14,7	
	растяжение	P, ГПа	6	8,9	11,8	14,7	
Дискретный подход	Параметр Г	T, °C	200	300	400	500	
		Г	8				
		P, ГПа	5,4	8,1	10,8	13,8	

Полученные результаты позволяют, в частности, выявить причину полиморфных превращений $\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \epsilon$ в теплостойких сталях и объяснить характер изменений значений рентгеновских пиков для фаз в различных температурных зонах, определенных с помощью рентгеноструктурного анализа (рис. 1) [3].

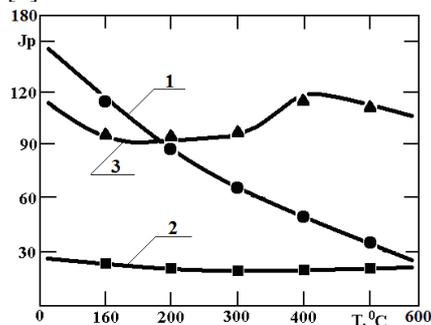


Рис. 1. Характер изменения значений J_p рентгеновских пиков для фаз в различных температурных зонах при трении: 1 — α -Fe; 2 — γ -Fe; 3 — ϵ -Fe

1. Маленко П. И., Зеленко В. К., Левин Д. М. Температурные поля и эксплуатационные свойства пар трения скольжения со смазочным материалом. — М.: Машиностроение — 2011
2. Malenko P. I. Temperatures at Discrete Surfaces with Submicroscopic Roughness in Lubricated Slipping Friction // Russian Engineering Research. — 2011 (31), № 7, 651—656
3. Бекренев А. Н., Камашев А. В. О фазовых превращениях в сталях при быстром нагреве // Письма в ЖТФ. — 1993 (19), вып. 22, 58—61
4. Особенности процесса динамического разрушения металлов при воздействии теплового удара, вызываемого импульсами проникающих излучений и мощных импульсов лазерного излучения /Учаев А. Я., Пунин В. Т., Морозов А. П. и др. // VII Забахинские научные чтения. Снежинск. — 2003, 1—5

РАСЧЕТ СБЛИЖЕНИЯ В КОНТАКТЕ ШЕРОХОВАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ БЛИЗКОЙ ТВЕРДОСТИ

М.М. Матлин, Е.Н. Казанкина, В.А. Казанкин

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия; matlin@vstu.ru

Цель

Целью работы является установление аналитических зависимостей для определения сближения упругопластического контакта шероховатой и гладкой поверхностей под нагрузкой. При этом рассматривается случай, когда твердости материалов, из которых изготовлены контактирующие детали, отличаются менее, чем в 2 раза. В этом случае происходит одновременное внедрение и сплющивание выступов шероховатой поверхности.

Предлагаемые методы

В работе предложен расчетный метод определения параметров контакта реальных шероховатых поверхностей, основанный на использовании «одноуровневой» модели [1], в которой все неровности расположены на одном уровне; при этом каждому значению сближения в контакте соответствует различное число неровностей. Соотношение сил в реальном контакте F_N и в модели F_M может быть описано коэффициентом силового подобия k как

$$k = \frac{F}{F_M} = \frac{\sum_{j=1}^N F_j}{nF}, \quad (1)$$

где n_j и n — соответственно число выступов j -го уровня и одноуровневой модели; F_j и F — соответственно нагрузка на единичный выступ j -го уровня и модели, N — число уровней шероховатой поверхности.

Надо отметить, что при числе уровней $N > 20$ (что характерно для реальных шероховатых поверхностей) коэффициент силового подобия остается величиной постоянной.

Результаты исследования

Полное сближение α в случае, когда твердости контактирующих поверхностей отличаются менее чем в 2 раза, включает в себя упругое сближение α_y и остаточную деформацию h , состоящую из внедрения и смятия неровностей:

$$\alpha = \alpha_y + h. \quad (2)$$

Эти составляющие могут быть определены как [1, 2]:

$$\alpha_y = \sqrt[3]{\frac{9\pi F \left(\frac{k_1 + k_2}{16R} + \frac{2h}{\alpha_y} \right)^2}{16R}}; \quad h = R \left(\frac{F}{HD_{np} R^2} \right), \quad (3)$$

где F — контактная нагрузка; k_1 и k_2 — коэффициенты, зависящие от упругих свойств материала поверхностей, R — радиус неровностей, a и b — коэффициенты, зависящие от соотношения пластической твердости материала шероховатой (HD_w) и гладкой поверхностей (HD) HD_w/HD ; HD_{np} — приведенная пластическая твердость [2].

Коэффициенты a и b могут быть рассчитаны следующим образом:

$$a = \frac{0,157}{\sqrt{HD_w/HD}}; \quad b = 1,06 - 0,53 \left(\frac{HD_w}{HD} \right). \quad (4)$$

В результате проведенного теоретического исследования получено выражение для полного сближения шероховатой и гладкой поверхностей для случая близких твердостей их материалов

$$\alpha = \left(\frac{2\pi FR}{kA \sqrt{HD}} \frac{a^1}{R^1} \frac{1}{b \cdot h} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (5)$$

где дополнительно A_a — номинальная площадь контакта; b_k и ν — коэффициенты, зависящие от вида обработки поверхности детали; R_{max} — наибольшая высота неровностей.

Выводы

На основе закономерностей упругопластического контакта отдельной микронеровности шероховатой поверхности получена зависимость для определения сближения в контакте шероховатой и гладкой плоских поверхностей при близких твердостях их материалов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-08-00131/А и Минобрнауки России в рамках госзадания № 2014/16 (проект № 2986).

1. Дрозд М. С., Матлин М.М., Сидякин Ю.И. Инженерные расчеты упругопластической контактной деформации. — М.: Машиностроение. — 1986
2. Матлин М.М., Мозгунова А.И., Казанкина Е.Н., Казанкин В.А. Оценка влияния соотношения твердостей деталей на контактную жесткость // Механика и физика процессов на поверхности в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования. Межвуз. сб. науч. тр. — Тверь: ТГТУ. — 2013, вып. 6, 14—18

ЧИСЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ НАПРЯЖЕНИЙ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В ОБЪЁМНОМ ТЕЛЕ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К КОНТАКТУ «ШИНА—ОСНОВАНИЕ»

В.В. Можаровский, Д.С. Кузьменков

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь; mozh@gsu.by

Постановка задачи

Задача определения напряжений и перемещений в объемном теле заданной формы при переменных областях контакта и дискретном действующем давлении является достаточно актуальной в настоящее время. Например, одной из таких задач является задача моделирования работы системы «массивная шина — дорожное покрытие» [1,2].

Рассмотрим алгоритм решения граничных задач, моделирующих определение напряжений и перемещений в объемном теле заданной формы при заданных областях контакта и действующем давлении. Для реализации решения данной задачи используем известные аналитические подходы, которые определяют напряженное состояние сред сопряжения.

Пусть на границу упругого полупространства $x > 0$ действует нормальная нагрузка, распределенная по площадке ω с плотностью $p(x, y)$, приложенная в точке (y, y) и направленная вдоль оси Ox . Необходимо определить перемещения и напряжения в упругом полубесконечном теле. Исходя от выбранного основания контакта (слоистое, изотропное, анизотропное, функционально-градиентное и т.п.) выбираем теоретические зависимости, определяющие напряжения и перемещения в среде. Например, построим расчет для изотропного основания.

Методы исследования

Основываясь на проведенных экспериментальных (или численных) исследованиях, определяется зона контакта и распределение давления в контакте. Далее, по созданному алгоритму, находим напряженно-деформированное состояние контактирующих тел.

Разработан алгоритм и создана программа, реализующая определение напряжений и перемещений в объемном теле, заданной формы (например, в системе «массивная шина — дорожное покрытие») в зависимости от материала среды и ее упругих свойств, и действующего механического воздействия.

Для решения задачи был использован и успешно запрограммирован метод конечных элементов. Применены прямоугольные конечные элементы (МКЭ). Разработанная программа позволяет находить напряженно-деформированное состояние

(НДС) в упругом теле при изменении зон контакта и действующего давления во времени. Метод основан на считывании цвета в зоне контакта (каждому давлению в точке соответствует свой цвет). Так, экспериментально полученные результаты можно обработать и получить картину изменения НДС. Эта процедура была ранее протестирована. В программе также предусмотрена возможность просмотра и изменения значений давления, соответствующих определенным цветам.

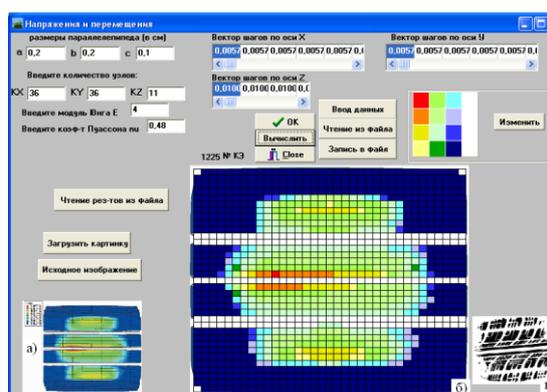


Рис.1. Схема расчета при действии нагрузки (шины колеса) на основание. а — численный расчет [1]; б — программная реализация; в — эксперимент в черно-белом свете [2]

Полученные результаты

Разработанный программный пакет расчета позволяет строить объемные графики напряжений и перемещений, как на поверхности основания (см. рис. 1), так и внутри его, а также изменения компонент напряжений или перемещений с течением времени.

Подобные результаты представлены в работе [3]. В перспективе исследования будут касаться построения методик определения напряженного и деформированного состояния покрытий дорог, механические свойства которых изменяются по глубине.

1. Рыжов С.А., Ильин К.А., Варюхин А.Н. Проектирование шин с использованием программного комплекса ABAQUS // САПР и графика. — 2006, № 1, 20—40
2. Можаровский В.В. и др. Анализ контактного взаимодействия автомобильной шины с колесным диском и дорожным покрытием // Доклады Белорусского конгресса по механике: сб. научн. тр. — Минск. — 2007, 135—142
3. Wang, H. H. and Al-Qadi I.L. Combined Effect of Moving Wheel Loading and Three-Dimensional Contact Stresses on Perpetual Pavement Responses // Transportation Research Record. — 2009 (2095), 53—61

ОСОБЕННОСТИ ИСПЫТАНИЙ НА ИЗНАШИВАНИЕ ПРИ ДЕЙСТВИИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Е.А. Памфилов¹, Г.А. Пилюшина²

¹Брянский государственный университет, Брянск, Россия; pamfilov@bgita.ru

²Брянская государственная инженерно-технологическая академия, Брянск, Россия

Цель и задачи испытаний

Для решения проблемы повышения износостойкости машин и оборудования необходимо проведение лабораторных исследований износостойкости в условиях максимально воспроизводящих эксплуатационные.

Необходимость решения этой задачи обусловила создание методик испытаний в различных условиях трения и взаимодействия.

Материалы и методы

Для проведения указанных исследований были разработаны методы и испытательная техника для исследования изнашивания абразивно-масляной прослойкой, в том числе при динамическом нагружении и циклическом изменении температуры [1]. Испытания проводились при приложении постоянных, циклических или ударных нагрузок.

Абразивно-масляная прослойка создавалась путем дозированного подвода смазки и абразива в зону трения или с помощью автоматического устройства подачи абразивно-масляной суспензии [2]. Для расширения возможностей испытаний указанные установки были существенно модернизированы [8].

Так как изнашивание режущих элементов часто протекает в условиях циклического изменения температуры и нагрузки, была предложена схема испытаний на износ [4], согласно которой четыре образца (три исследуемых и один контрольный) периодически истирались о боковую поверхность нагретого контрольного образца. Рабочая часть образца для получения требуемых высоких давлений выполнялась сферической. Перед каждым вступлением в контакт с образцом контрольный образец поворачивался, что обеспечивало трение по новой поверхности. Нагрев исследуемого образца происходил при контакте с нагретым контрольным, охлаждение в процессе свободного хода за счет теплоотдачи в окружающую среду или, с целью обеспечения большей скорости охлаждения, струей жидкостно-воздушной эмульсии с различии соотношением составляющих компонентов.

Испытание материалов на изнашивание при трении по абразивной поверхности при климатически низких температурах выполнялось по методике и на установке, которые описаны в работах [3, 5].

Сущность методики исследования изнашивания в условиях ударного нагружения при низких температурах состояла в том, что по охлажденному до температуры испытаний образцу производили повторные удары с заданной энергией, частотой и скоростью соударения металлическим контрольным образцом непосредственно

или через гибкую изнашивающую ленту.

Кратковременность процесса в сочетании с интенсивным охлаждением и относительно невысокой частотой соударения позволяла стабилизировать температуру испытаний еще до наступления момента следующего удара.

Обеспечение условий нагружения образца (частота и энергия соударения, продолжительность контакта с контрольным образцом после удара, скорость и величина перемещения изнашивающей ленты) осуществлялось с помощью специального привода [6]. Установка оборудована устройством, позволяющим проводить изнашивание замороженным абразивом [7].

Результаты исследований

Экспериментально установлены закономерности трения и изнашивания поверхностей в сложных условиях нагружения, влияние на протекающие процессы поверхностного разрушения, микро- и макрогеометрии поверхностных слоев, физико-химических свойств исследуемых материалов и ряда других факторов. При этом рассматривались не только исходные свойства материалов, но и особенности их трансформации в процессе контактного взаимодействия, приводящей либо к структурной приспособляемости и повышению за счет этого сопротивляемости изнашиванию поверхностей, или же, наоборот, к разупрочнению поверхностных слоев и их ускоренному разрушению.

1. Памфилов Е.А., Баранов В.В. Машина для испытания на износостойкость // Заводская лаборатория. — 1971, № 5, 620—621
2. Памфилов Е.А., Борзенкова Т.Г. Устройство программного нагружения для испытательных установок // Заводская лаборатория. — 1977, № 2, 239—241
3. Памфилов Е.А., Майоров В.В., Буглаев А.М. Установка для испытаний на изнашивание при низких температурах // Заводская лаборатория. — 1978, № 2, 234—236
4. Памфилов Е.А., Рыжеванов В.С., Буглаев А.М. и др. Установка для определения износостойкости материалов в условиях циклического изменения температуры и нагрузки // Заводская лаборатория. — 1979, № 4, 372—374
5. Памфилов Е.А., Грядун С.С., Сулов А.А. Методика ускоренных испытаний на изнашивание рабочих органов землеройных машин // Строительные и дорожные машины. — 1987, № 6, 5—6
6. Памфилов Е.А., Пилюшина Г.А., Савочкин А.М. Методология триботехнических испытаний // Физика, химия и механика трибосистем. — Иваново: Иван.гос. ун-т. — 2006, Вып. 5, 9—14
7. Памфилов Е.А., Грядун С.С., Пилюшина Г.А. Методические основы оценки работоспособности рабочих органов строительных и дорожных машин // Вестник БГТУ. — 2009, № 4, 37—42
8. Памфилов Е.А., Пилюшина Г.А. Возможности и перспективные пути повышения работоспособности машин и оборудования лесного комплекса // Лесной журнал. — 2013, № 5, 129—131

ЗАРЯДОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТРЕНИЯ

К.В. Пантелеев, В.А. Микитевич, А.Л. Жарин

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь; nilpt@tut.by

Введение. В работе рассмотрены принципы измерения работы выхода электрона (РВЭ) по контактной разности потенциалов (КРП) и экспериментально обоснована возможность их применения для оценки и контроля состояния поверхности металлов и сплавов, работающих при трении. Разработаны методики и приведены примеры их применения для определения РВЭ при износоусталостных испытаниях трибоматериалов с применением метода виб-

рирующего зонда КРП (метод Кельвина-Зисмана) и разработанного в НИЛ полупроводниковой техники БНТУ метода невибрирующего зонда КРП (НВКРП). Показано, что исследование топологии РВЭ непосредственно в процессе трения позволяет определить режимы трения, изучать эволюцию дислокационной подсистемы, выявлять зарождающиеся очаги разрушения на локальных микронеровностях поверхности трения.

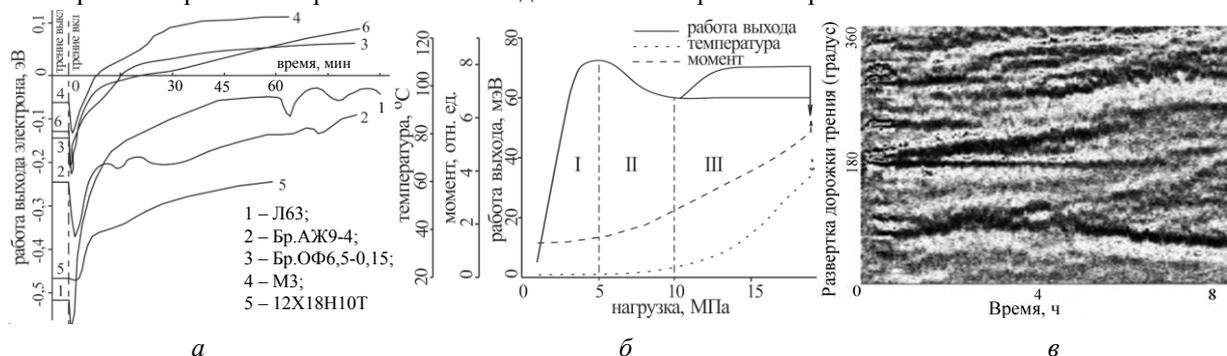


Рис. 1. Мониторинг РВЭ поверхности трения с помощью зондов КРП (а, б) и НВКРП (в)

Цель

Отработка лабораторного метода мониторинга работы выхода электрона поверхности при износоусталостных испытаниях.

Приборы и методы

Трибологические испытания осуществлялись на торцевой машине трения типа АЕ-5, оснащенной датчиками момента трения, температуры и РВЭ.

Для измерения РВЭ наиболее широко применяется метод вибрирующего зонда Кельвина-Зисмана [1]. В нем контролируемая поверхность и вибрирующий эталонный электрод формируют обкладки плоского конденсатора переменной емкости. В следствии различия РВЭ материалов между пластинами конденсатора возникает КРП. С помощью внешнего источника на конденсатор подается напряжение компенсации U_{comp} равное КРП.

В НИЛ ПТ БНТУ разработан метод невибрирующего конденсатора (НВКРП) [2]. В нем эталонный электрод и исследуемая поверхность также формируют обкладки плоского конденсатора, однако зонд не вибрирует, а перемещается относительно исследуемой поверхности. Данный метод позволяет исследовать процессы трения по топологии РВЭ.

Результаты и их обсуждение

Мониторинг РВЭ поверхности трения осуществлялся по трем методикам:

1) регистрация усредненного интегрального значения КРП за некоторый определенный проме-

жуток времени (число оборотов). Такая схема регистрации позволила проследить изменения РВЭ в процессе длительных испытаний (рис. 1, а).

2) регистрация сигнала с различных датчиков (момента трения, температуры, и РВЭ) в одной точке трущейся поверхности (рис. 1, б). Здесь необходим модуль, обеспечивающий синхронизация отсчетов с положением образца.

3) регистрация распределения потенциала по дорожке трения или по локальной макрообласти (рис. 1, в). Здесь также необходим модуль синхронизации отсчетов с положением образца. Данная схема может быть реализована только с использованием НВКРП.

Заключение

Методами КРП и НВКРП выполнен мониторинг РВЭ поверхности трения. Исследования позволили получить ряд новых результатов:

- в зависимости от приложенной нагрузки изменения РВЭ позволяют выявлять наличие критических точек, характеризующих переходы от одного вида фрикционного взаимодействия к другому;
- метод НВКРП позволяет проследить кинетику разрушения микрообъемов и выявить очаги потенциального разрушения до наступления внешних признаков потери работоспособности материала.

1. Zharin A.L. Contact Potential Deference Techniques as Probing Tools in Tribology and Surface Mapping // Scanning Probe Microscopy in Nanoscience and Nanotechnology (ed. by B. Bhushan). — Dordrecht, London, New York: Springer Heidelberg. — 687—720

МОНИТОРИНГ РАБОТЫ ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНА ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ ПРИ ИЗНОСОУСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЯХ

К.В. Пантелеев, В.А. Микитевич, А.Л. Жарин

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь; nilpt@tut.by

В работе рассматриваются результаты исследований кинетики работы выхода электрона (РВЭ) поверхности, изменяющейся в процессе трения. Приводятся результаты исследований обнаруженных периодических изменений интегрального значения РВЭ трущейся поверхности в установившемся режиме трения, на основе которых сделан вывод о том, что они обусловлены периодическим накоплением дефектов кристаллической решетки материала в подповерхностных слоях с последующим разрушением последних, а также с периодическим изменением концентрации дефектов и вторичных фаз непосредственно на поверхности трения, что характерно для усталостного разрушения.

Цель

Исследование изменений, происходящих на поверхности материалов в процессе трения, методом непрерывного неразрушающего мониторинга работы выхода электрона.

Материалы и методы

Исследования проводились на установке, реализующей схему трения палец—диск (рис. 1), оснащенной устройством для непрерывного контроля РВЭ трущейся поверхности, аналогичным вибрирующему зонду Кельвина-Зисмана.

В качестве образцов использовались материалы латунь Л63 и нержавеющая сталь 12Х18Н10Т (диски). Контроль был выполнен из бронзы Бр.ОФ6,6-0,15 (палец, $\varnothing 6,5$ мм). Испытания проводили при нормальном давлении — 0,12 МПа и скорости скольжения 0,1 м/с.

Результаты и их обсуждение

Результаты исследований кинетики РВЭ при установившемся режиме трения для некоторых материалов показаны на рис. 2. Из рисунка видно, что общим для приведенных кривых является резкое понижение РВЭ в начальный момент трения, связанное с удалением на поверхности исходного окисного слоя. Это подтверждается тем, что в случае трения нержавеющей стали 12Х18Н10Т (кривая 2), на которой образование окисных слоев затруднено, первоначальное понижение РВЭ незначительно. После разрушения окисной пленки для всех исследуемых материалов РВЭ монотонно повышается до установившегося значения. Исследование кинетики РВЭ поверхности при установившемся режиме трения показало, что во многих случаях наблюдаются периодические изменения РВЭ со временем испытаний (кривая 1). Причем периодические изменения РВЭ, как интегральной характеристики процесса трения, являются статически устойчивыми и не затухающими.

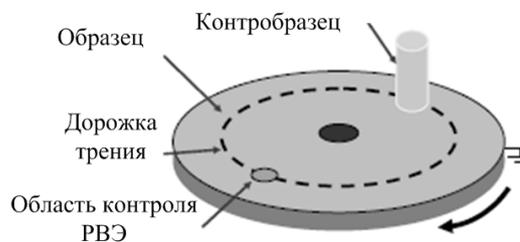


Рис. 1. Схема испытаний на трение и износ

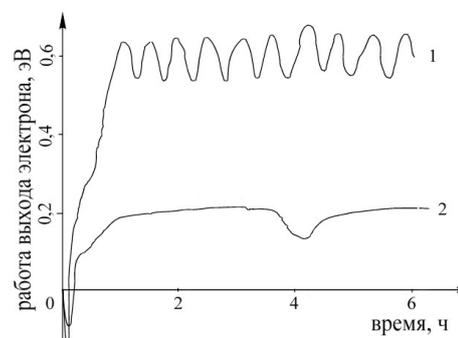


Рис. 2. Зависимости РВЭ от времени сухого трения при нормальном давлении 0,12 МПа (1 — Л63; 2 — 12Х18Н10Т)

Совокупностью независимых методов исследования установлено, что за один период изменения РВЭ трущейся поверхности проходит полный цикл усталостного разрушения, т.е. накопление дефектов кристаллической решетки материала, упрочнение поверхностного слоя, зарождение и распространение трещин, разрушение трущейся поверхности.

Для анализа периодических изменений разработан алгоритм и программное обеспечение статистической обработки полученных результатов испытаний на основе дискретного преобразования Фурье, который позволяет вычислять спектральную функцию изменений РВЭ трущейся поверхности от числа проходов контртела по образцу.

Заключение

Методом непрерывного неразрушающего мониторинга РВЭ исследованы изменения, происходящие на поверхности материалов в процессе трения.

Исследования кинетики интегрального значения РВЭ позволили выявить периодические изменения свойств трущейся поверхности и установить их связь с подповерхностным усталостным разрушением. По периодическим изменениям РВЭ возможно построение кривой, аналогичной кривой Веллера, и, следовательно, определение параметров кривой усталости и ряда вероятностных характеристик, позволяющих более полно охарактеризовать материалы триботехнического назначения.

Триботехнические свойства покрытий на резиновой подложке

Д.А. Полонянкин¹, Е.П. Целых², Вал.И. Суриков¹, Вад.И. Суриков¹, И.В. Николаев¹¹Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия; surval@mail.ru²Омский ФГУП «НПП «Прогресс», г. Омск, Россия

Цель

Истирание резин и полимеров представляет собой сложный процесс, зависящий от комбинации механических, механохимических и термохимических воздействий. Большинство марок резин характеризуются высокими коэффициентами трения, способностью к залипанию, недостаточной износостойкостью в узлах трения и герметизации [1].

Одним из подходов создания конкурентно способной продукции с высокими эксплуатационными свойствами является подход, основанный на поверхностном модифицировании резин путем нанесения покрытий различными материалами.

Материалы и методы

В данной работе объектами исследования являлись резина на основе каучуков бутадиен-нитрильного БНКС-28 АМН и хлоропренового Денка PS-40А, а также резина, модифицированная молибденом путем нанесения покрытия методом магнетронного напыления на установке ADVAVAC VSM-200. Изучение структуры покрытий осуществляли методом сканирующей электронной микроскопии на установке JEOL JSM 6610-LV. Исследование свойств профиля поверхности образцов реализовали с помощью модульной программы Gwyddion. Изучение триботехнических свойств резин проводили на установке типа МИ-2.в соответствии с ГОСТ 426–75.

Результаты и их обсуждение

С целью изучения особенностей структуры поверхностного слоя образцов проведены микроскопические исследования. Получены микрофотографии поверхностей исходной резины и модифицированной резины молибденом при различном времени напыления [2]. Структура покрытий образцов для разного времени напыления существенно отличается. При времени напыления 30 мин. наблюдается мелкозернистая структуры и мелкие кластерные образования. С увеличением времени напыления отмечается образование более крупных зерен и кластеров размером от несколько сотен до тысяч нанометров.

С целью установления влияния состояния поверхности покрытия на триботехнические характеристики пары трения «модифицированная резина — сталь» были определены параметры шероховатости поверхности покрытия. На рис. 1 представлена зависимость параметра Ra (средняя шероховатость) от

времени напыления.

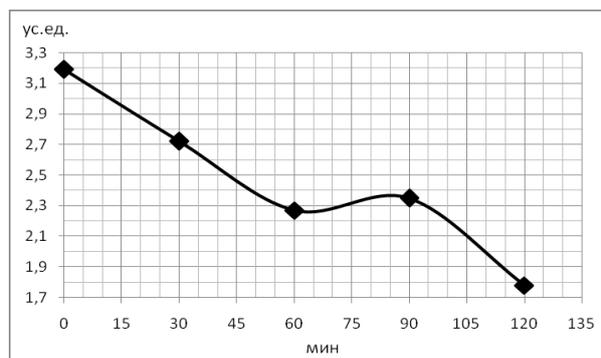


Рис. 1. Зависимость средней шероховатости покрытия молибденом на резиновой подложке от времени напыления

На рис. 2 показана зависимость объемного износа (истираемости) и коэффициента трения по стали от толщины напыления (времени напыления).

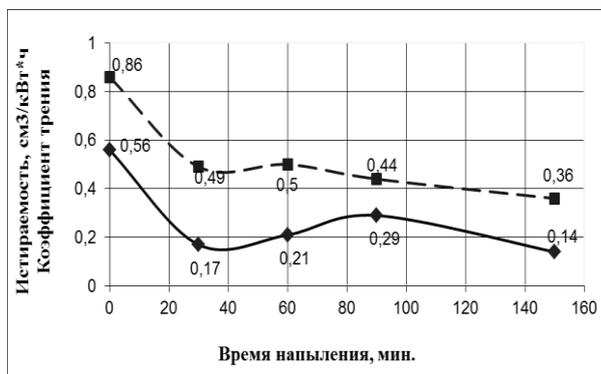


Рис. 2. Зависимость объемного износа — истираемости (сплошная линия) и коэффициента трения (пунктирная линия) от времени напыления

Как следует из рисунков, наблюдается согласие зависимости параметра Ra и объемного износа для пары трения «модифицированная резина — сталь» от времени (толщины) напыления [3].

1. Мур Д. Трение и смазка эластомеров / Пер. с англ. канд. хим. наук Г. И. Бродского — М.: Химия — 1977
2. Целых Е.П. Роль некоторых технологических факторов при формировании нанопокровов резины методом магнетронного напыления // Научное обозрение. — 2015, № 1, 115 — 118
3. Целых Е.П., Полонянкин Д.А., Рогачев Е.А., Суриков В.И. Улучшение триботехнических свойств резин путем поверхностного модифицирования тугоплавкими металлами // Омский научный вестник. — 2015 (137), № 1, 97—100

ВЛИЯНИЕ ФАКТИЧЕСКОГО АГРЕГАТНОГО И ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ СМАЗКИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРИБОСИСТЕМ

А.У. Стельмах, С.П. Шимчук, В.А. Радзиевский

Национальный авиационный университет, Киев, Украина; stelmah65@yandex.ua

Постановка задачи

Многочисленные трибоисследования подтверждают важность и перспективность учета упругости материалов пар трения, что привело к дальнейшему развитию эластогидродинамической теории (ЭГДТ) трения, когда высокие давления в масляном клине вызывают упругую деформацию контактирующих тел [1], в результате чего фактическая площадь контакта возрастает, максимальные напряжения уменьшаются.

Теоретически трение ЭГД-контакта является безыносным, но реальная эксплуатация трибосистем показывает, что все они изнашиваются. Учитывая упругую деформацию поверхностей трения, даже при незначительном повышении нагрузки трибосистема становится крайне неустойчивой и начинает входить в режим, выделенный в трибологии как трение в условиях граничной смазки.

Результаты и их обсуждение

На основании полученных нами экспериментальных данных было разработано компрессионно-вакуумную гипотезу трения, которая раскрывает трибокавитационный механизм изнашивания. Основным положением этой гипотезы является самопроизвольное возникновение относительно минимального зазора каждого элементарного трибоконтакта двух характерных областей: конфузорной и диффузорной.

В области уменьшения зазора по направлению трения (конфузорной) происходит повышение давления в граничных слоях смазки и возникновение вторичного течения, противоположного направлению движения. В этой области при высоких скоростях трения происходит между набегающими с движущейся поверхности слоями граничной смазки и слоями вторичного обратного течения, вызванного градиентом давлений.

В диффузорной области увеличение зазора приводит к разрежению граничных слоев и уменьшение давления в них относительно давления окружающей среды до значений, равных и меньших давления насыщенного пара. Здесь возникает вторичное течение, направленное из окружающей среды в контакт. Эти течения вызваны отрицательным градиентом давлений в направлении движения. При этом в диффузорных областях ЭГД-контактов, особенно при высоких скоростях, происходит нарушение однородности смазочного слоя с образованием

маслопаровоздушных полостей кавитации.

В отличие от ЭГД-теории, компрессионно-вакуумная гипотеза трения [2] основана на принципиально новых положениях:

1. Толщина смазочного слоя в ЭГД-контакте не отражает его трибосвойства, так как в диффузорных областях даже при малых скоростях скольжения происходит разрежение смазочной среды, что приводит к ее фазовому переходу из жидкого в масловоздушное состояние.

2. При трении в смазочном слое самопроизвольно возникает сжатие смазочных слоев в конфузорной и их растяжение — в диффузорной областях ЭГД-контакта. Таким образом, давление в смазочном слое не тождественно поверхностным контактным напряжениям, определяемым по Г. Герцу.

3. В рамках этой гипотезы трения через ЭГД-контакт смазочная среда поступает из конфузорной в диффузорную область ровно в том количестве, сколько ее находится в минимальном зазоре, в том числе и в упруго-напряженном состоянии сжатия.

Для проверки эффективности использования масловоздушной смеси в трибосистеме скольжения был проведен ряд экспериментов на лабораторных машинах трения АСБ-01 и АСБ-02 [3], где в качестве рабочей среды использовались моторные масла. Применение паровоздушной масляной суспензии, по сравнению с ее жидким однофазным состоянием, приводило к существенному (на 20—30%) уменьшению сил трения и на 5...7 °С снижению температуры нагрева среды при прочих равных условиях трения.

Выводы

Показано, что агрегатное состояние смазочных материалов является одним из первостепенных факторов, определяющих силу трения и интенсивность изнашивания так как трибокавитация и барботаж приводят к возникновению масловоздушной смеси, что необходимо учитывать при оценке их качества.

1. Коднир Д.С. Контактная гидродинамика смазки деталей машин: — М.: Машиностроение. — 1976
2. Стельмах А.У. Компрессионно-вакуумный механизм адгезионного трения и изнашивания. — Деп. в ГНТБ Украины. — 07.07.2008, №109-Ук2008. — 28 с.
3. Пристрій визначення трибореологічних характеристик тертя ковзання в умовах граничного змащення: Патент на корисну модель №57465 Україна МПК G01N 3/56. — № 201010464: опубл. 25.02.2011. Бюл. № 4. / О.У. Стельмах, В.С. Бондар, К.К. Бадір, Т.Т. Ібраїмов.

ФРИКЦИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЛАДКОГО ИНДЕНТОРА И ВЯЗКОУПРУГОГО ПОЛУПРОСТРАНСТВА: КОНТАКТНЫЕ И ВНУТРЕННИЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Ф.И. Степанов, И.Г. Горячева, Е.В. Торская

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

Несовершенная упругость материалов взаимодействующих тел приводит к гистерезисным потерям при их деформировании, что, в частности, является причиной возникновения силы сопротивления скольжению и качению. В [1] построено решение пространственной задачи о скольжении штампа по границе вязкоупругого тела под действием только нормальной нагрузки. В [2] предложен численно-аналитический метод решения пространственной контактной задачи с силами трения, подчиняющимися закону Кулона-Амонтона, для гладкого штампа, скользящего с постоянной скоростью по границе вязкоупругого полупространства (квазистатическая постановка). Решение основано на построении функции Грина для вязкоупругого полупространства (аналога функции Буссинеска) при скольжении сосредоточенной силы. Контактная задача решается методом граничных элементов, при решении используется итерационная процедура. Результаты расчета для сферического индентора показали, что область контакта расположена асимметрично по отношению к оси симметрии индентора и смещена по направлению движения; на степень асимметрии существенное влияние оказывает скорость скольжения. Пример распределения контактного давления приведен на рис. 1.

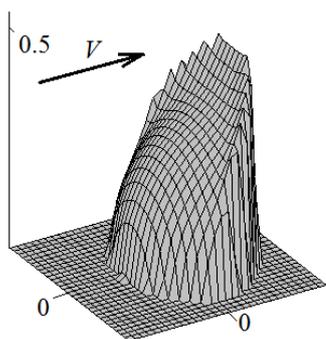


Рис. 1. Распределения контактного давления под сферическим штампом (контакт без трения)

Асимметрия распределения контактного давления приводит к появлению момента сил, определяющих гистерезисные потери в материале. Для подобных материалов важно также определить распределения напряжений, возникающих при контакте, для сравнения их значений с прочностными свойствами. Некоторые результаты расчета напряжений приведены в [3], где реологические свойства материала учтены с помощью обобщенной модели

Максвелла. Одним из преимуществ подхода, предложенного в [1,2] и использованного в данной работе, является возможность использовать аналог решения задач Буссинеска и Черутти в той же форме, что и для упругого полупространства [4], поскольку постановка задачи предполагает постоянное значение коэффициента Пуассона — единственной константы, характеризующей свойства материала, от величины которой зависят напряжения.

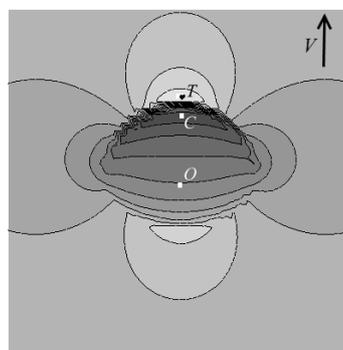


Рис. 1. Распределение сжимающих-растягивающих напряжений на поверхности. O — центр штампа, C — точка максимального сжатия, T — точка максимального растяжения

На рис. 2 приведены напряжения, соответствующие распределению давления, приведенному на рис. 1. Характерным является значительный перепад напряжений вблизи границы области контакта между точками C и T .

Проведены расчеты растягивающих-сжимающих и максимальных касательных напряжений, возникающих для фрикционного контакта и контакта без трения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант 14-29-00198).

1. Александров В. М., Горячева И. Г., Торская Е. В. Пространственная задача о движении гладкого штампа по вязкоупругому полупространству // Доклады академии наук. — 2010 (430), № 4, 490—493
2. Горячева И.Г., Степанов Ф.И., Торская Е.В. Скольжение гладкого индентора по вязкоупругому полупространству при наличии трения // Прикладная математика и механика. — 2015 (32), № 4, 171—182.
3. Koumi K. E., Chaise T., and Nelias D. Rolling Contact of a Rigid Sphere/Sliding of a Spherical Indenter Upon a Viscoelastic Half-Space Containing an Ellipsoidal Inhomogeneity // Journal of the Mechanics and Physics of Solids. — 2015 (80), 1—25
4. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия — М.: Мир. — 1989

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ШЕРОХОВАТОГО КОНТАКТА С ПОКРЫТИЯМИ

О.В. Сутягин, А.Н. Болотов, А.А. Рачишкин, Э.А. Деменков

Тверской государственный технический институт, Тверь, Россия

Цель

Различные покрытия находят широкое применение в узлах трения и номинально неподвижных контактных соединениях через которые могут проходить высокие энергетические потоки в условиях вакуума, при высоких температурах и в широких нагрузочно-скоростных режимах [1]. Целью данной работы явилось экспериментальное исследование термического сопротивления шероховатого контакта с покрытиями.

Описание экспериментальной установки

На рис. 1 изображена схема рабочего участка испытательного стенда для исследования термического сопротивления контактной зоны.

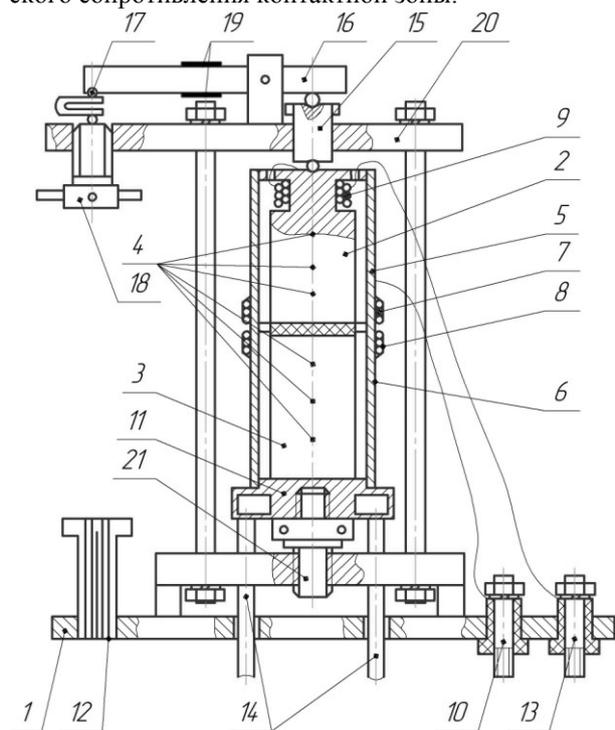


Рис. 1. Схема рабочего участка экспериментальной установки: 1 — рабочий стол, 2 — верхний образец, 3 — нижний образец, 4 — заделки термопар, 5, 6 — теплозащитные экраны, 7, 8 — компенсационные печи, 9 — нагреватель, 10, 13 — тоководы нагревателя, 11 — холодильник, 12 — разъём, 14 — холодильник, 15 — шток, 16 — нагружающий рычаг, 17 — упругий элемент, 18 — силовой винт, 19 — датчик нагрузки, 20 — каркас установки, 21 — винт регулировки высоты холодильника.

Результаты экспериментов

На рис. 2 представлены результаты обработки данных полученных для различных покрытий. Точками обозначены экспериментальные данные, линиями

— степенные аппроксимации, построенные по ним.

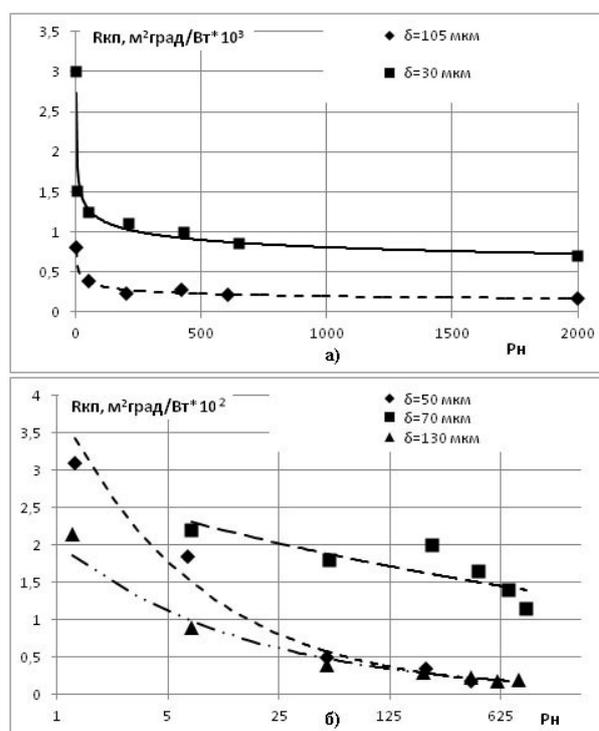


Рис. 2. Зависимость термического сопротивления контакта от нагрузки для: а) Д16-М2(покрытие олово), б) Д16 — сталь 45 (покрытие — эпоксидная смола)

Представленные экспериментальные данные являются основой для проверки результатов компьютерного моделирования контактного взаимодействия шероховатых поверхностей имеющих покрытия на основе теоретических положений представленных в работах [1—3].

1. Сутягин О.В. Контакт шероховатых тел с твёрдосмазочными покрытиями. / О.В.Сутягин, А.Н. Болотов, М.В. Васильев.- Тверь: ТвГТУ, 2014, 124 с
2. Коротков М.А., Сутягин О.В., Деменков Э.А. К вопросу о влиянии покрытия на электрическое и термическое сопротивления плоского единичного контакта для двухслойного полупространства // Инженерно-физический журнал. — Минск. — 1994 (67), № 1—2, 154—161
3. Болотов А.Н., Сутягин О.В., Рачишкин А.А. Компьютерное моделирование топографии шероховатых поверхностей // Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твёрдых тел, деталей технологического и энергетического оборудования: Межвуз. сб. науч. тр. — Тверь: ТвГТУ. — 2014, 29—41

К ОЦЕНКЕ ИЗНОСА ВИНТОВЫХ СОПРЯЖЕНИЙ С ТВЕРДОСМАЗОЧНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

О.В. Сутягин, В.В. Мешков, С.В. Мединцев

Тверской государственный технический университет, Тверь, Россия

Дифференцированное изучение разных механизмов изнашивания является идеализацией и абсолютизацией отдельных реальных процессов различной природы, которые могут одновременно происходить на поверхностях трения [1]. Поэтому при инженерных расчётах деталей машин на износ часто ограничиваются назначением допустимых контактных давлений, определяемых из практики [2]. Целью данной работы является исследование влияния твёрдосмазочных покрытий (ТСП) на распределение контактных давлений в витках винтовых сопряжений и их корреляция с результатами модельных испытаний на износ.

Уравнение осевой нагрузки F_i (рис. 1), воспринимаемой i -м витком винтового сопряжения, можно выразить в виде:

$$F = \frac{\alpha}{\sin \alpha} S q_k, \quad (1)$$

где α — угол профиля, q_k — средние контактные давления, S — номинальная площадь контакта i -го витка.

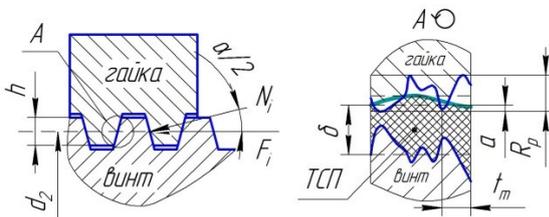


Рис. 1. Расчетная схема

На основании (1) можно показать, что средние контактные давления определяются в виде:

$$q = \frac{F}{h \pi d_2}, \quad (2)$$

где h — номинальная высота профиля винтового сопряжения, d_2 — средний диаметр резьбы.

Распределение нагрузки по виткам винтовой пары неравномерно. Поэтому при расчетах в качестве F_i будем принимать значение, которое соответствует максимальной нагрузке формирующейся на первом витке.

Уравнения совместности перемещений и условия равновесия для рассматриваемой задачи можно представить в виде:

$$\begin{aligned} F &= F_1 + F_2 + \dots + F_n, \\ a_1 - a_2 &= \Delta_1 - \Delta_2 + \dots, \\ a_1 - a_n &= \Delta_1 - \Delta_n + \dots \end{aligned} \quad (3)$$

где F — осевая нагрузка, воспринимаемая винтовым сопряжением; F_i — осевая нагрузка, воспринимаемая i -м витком винтового сопряжения; n — число витков гайки; a_i — контактная деформация ТСП, нанесённого на поверхность винта шероховатой поверхностью гайки на i -м витке; $\Delta = \sum_{i=1}^n$

— удлинение тела винта между i -м и $i+1$ витками; — укорочение тела гайки между i -м и $i+1$ витками; P — шаг резьбы; E — модули упругости материалов винта и гайки; A_B, A_T — минимальные площади поперечного сечения винта и гайки.

Для решения системы уравнений (3) необходимо знать контактные деформации, возникающие при внедрении шероховатой поверхности в поверхность, имеющую ТСП. Отметим, что в зависимости от возникающих нагрузок, температуры окружающей среды, толщины, физико-механических свойств покрытия и качества шероховатой поверхности, определяемого параметрами её микрогеометрии, вид этих деформаций может быть упругим, упругопластическим или пластическим. В работе [3] предложены аналитические соотношения для расчёта контактных деформаций шероховатых поверхностей с ТСП, при различных видах его деформирования. Они были использованы при решении нелинейной системы уравнений (3) с использованием программы Mathcad. Были проведены численные исследования для различных ТСП, параметров микрогеометрии контактирующих поверхностей, действующих нагрузок. При этом в расчётах использовались геометрические размеры и нагрузки реальных винтовых сопряжений. Показано доминирующее влияние шероховатости поверхности гайки и физико-механических свойств ТСП на распределение нагрузок между витками и соответствующих им контактных давлений в винтовых сопряжениях имеющих ТСП.

Проведённые экспериментальные исследования на модели трибосопряжения винт—гайка позволили определить диапазон оптимальной шероховатости для элементарных трибосопряжений данного класса.

1. Горячева И.Г. Механика фрикционного взаимодействия. — М.: Наука. — 2001
2. Решетов Д.Н. Детали машин: Учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов. — М.: Машиностроение. — 1989
3. Сутягин О.В., Болотов А.Н., Васильев М.В. Контакт шероховатых тел с твёрдосмазочными покрытиями. — Тверь: Тверской государственный технический университет. — 2014

ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

О.В. Холодилов¹, С.В. Короткевич², В.В. Кравченко³, Д.Ю. Белоногий¹¹Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь; olhol@belsut.gomel.by²РУП «Гомельэнерго», Гомель, Беларусь³Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь

Цель работы — разработка метода и средств входного контроля подшипников качения с использованием физических методов и определение наиболее информативных параметров, позволяющих оценивать изменение состояния контактирующих поверхностей и возникновение дефектов.

Материалы и методика исследований. Объектом исследования являлись подшипники качения различных производителей: 1 — АПП 6203RS (КНР, Россия «АПП групп»); 2 — 6-180203 С17 (КНР, Россия «ГПЗ»); 3 — 6202-2RS d16 С3 (США, Perfect fit industries, inc. Florida), 4 — ZVL 6302/16 (Словакия).

Разработан стенд, состоящий из приводной установки и измерительно-управляющего модуля. Приводная установка позволяет обеспечить зажим, центрирование, вращение, создание упорно-радиальной нагрузки на контролируемый подшипник. Измерительно-управляющий модуль с помощью программы сбора и визуализации данных управляет приводом вращения, осуществляет регистрацию и обработку контролируемых параметров: нагрузка, скорость вращения, момент трения, температура, контактное сопротивление, скорость счета акустической эмиссии (АЭ). Регистрация параметров осуществлялась при ступенчатом нагружении подшипника в диапазоне 30—300 Н и скорости вращения подшипника $\approx 0,7$ м/с. Электрическая схема для измерения контактного сопротивления смазочного слоя описана в работе [1]. Нами разработано устройство регистрации сигнала АЭ, имеющее улучшенные характеристики канала усиления в диапазоне частот 0,1—1,0 МГц [2].

Результаты и их обсуждение. Экспериментально было установлено, что контактное сопротивление у подшипников 3 и 4 на порядок выше по сравнению с контактным сопротивлением подшипников 1 и 2, что указывает на их более высокую технологию производства и качество сборки. Самая низкая скорость счета АЭ наблюдается для подшипника 3. Установлено, что при радиальной схеме нагружения его ресурс работы в 5—6 раз выше по сравнению с подшипником 4.

Наличие дефекта в виде скола на внешнем кольце подшипника приводит к увеличению на один-два порядка контактного сопротивления по сравнению с подшипником без дефекта. Скорость счета АЭ при этом увеличивается в 5—6 раз. Флуктуация сигнала АЭ и контактного сопротивления увеличивается на один-два порядка (рис. 1).

Показано, что электрорезистивный метод более информативен по сравнению с методом АЭ, что очевидно связано с его большей чувствительностью

к изменению состояния поверхности металлов.

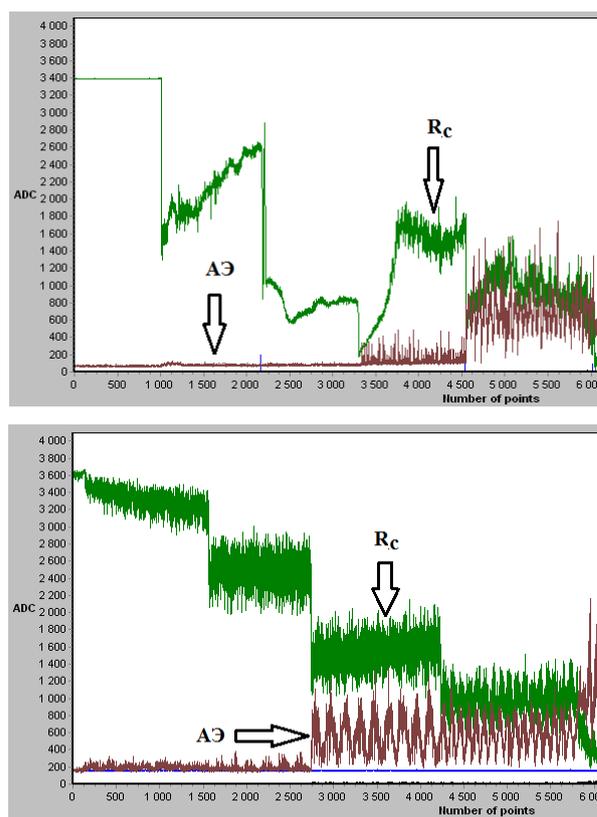


Рис. 1. Временная зависимость контактного сопротивления R_c и скорости счета АЭ при ступенчатом нагружении (30, 60, 120, 180, 300 Н) подшипника 2: а — подшипник без дефекта; б — подшипник с дефектом

По увеличению чувствительности методов регистрируемые параметры можно выстроить в ряд: температура, коэффициент трения; скорость счета; контактное сопротивление и его флуктуации.

Разработанный стенд позволяет осуществлять оперативную отбраковку подшипников, что исключает установку некачественных или изношенных подшипников, и значительно снижает количество отказов оборудования и связанные с этим затраты.

1. Короткевич С. В. Анализ фрикционных и механических свойств граничных смазочных слоев с использованием методов электрофизического зондирования: автореф. дис. ... канд. техн. наук; ИММС НАНБ. — Гомель. — 2002
2. Белоногий Д. Ю., Буткевич А. В. Моделирование канала регистрации акустической эмиссии // Тез. докл. II Республ. науч.-техн. конф. молодых ученых «Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования», Гомель, 2—4 октября 2012 г. — Гомель: ИММС. — 2012, 67—69

СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция 3

Технологии и применение полимерных и композиционных материалов

**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ И ТРИБОЛОГИЯ
(ПОЛИКОМТРИБ-2015)**

23—26 июня 2015 г., Гомель, Беларусь

БАЗАЛЬТОПЛАСТИКИ ВМЕСТО МЕТАЛЛА МЕЖДУ СТЕКЛОПЛАСТИКАМИ И КОМПОЗИТАМИ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН

Е.П. Афанасьев

ООО «Моспецпромпроект, Москва, Россия; mosspezpromproekt@rambler.ru

Введение

В настоящее время композиты заняли ведущее положение в замене таких материалов как, металл, дерево, и др. конструкционных материалов.

Достаточно отметить, что производство металла многодельный и энергозатратный процесс: добыча руды — обогащение — плавка — в доменных печах и получение стали в мартеновских печах и при механообработке. При этом необходимо производить большую номенклатурную гамму металлов, отвечающую требованиям впоследствии изготавливаемых изделий. При производстве композитных (базальтопластиковых) изделий, достаточно один раз затратить тепловые ресурсы для получения при этом, одновременно и материала с заданными свойствами и необходимой конфигурации конструкции изделия.

Цель работы — исследовать свойств базальтопластиков на основе полиимидного, эпоксидного, фенольного и неорганического связующих.

Результаты и их обсуждение

Исследования показали, что полиимидные базальтопластики сохраняют 70% от исходной прочности при статическом изгибе после воздействия температуры 400 °С, эпоксидные и фенольные базальтопластики сохраняют на уровне 70—80% физико-механические свойства после воздействия повышенной влажности. Базальтовые волокна обладают более высокой температуростойкостью и очень низкой гигроскопичностью. Так при температуре 400 °С, процент сохранения прочности базальтового волокна составляет 60, алюмоборосиликатного — 40%.

Базальтовые волокна можно применять при температуре от 20 до 700—900 °С, а алюмоборосиликатные — от 20 до 450—500 °С. Гигроскопичность базальтовых волокон составляет менее 1%, а стеклянных — 10—20%.

При использовании неорганических связующих в базальтопластиках достигается снижение в 2 раза стоимости армирующего наполнителя за счет исключения двойного неорганического покрытия волокна.

Базальтовые волокна по всем основным характеристикам заметно превосходят волокна из традиционного алюмоборосиликатного стекла (стекло Е), приближаясь по своим показателям к более дорогим

высокомодульным волокнам из магнийсиликатного стекла и углеволокну (табл. 1).

Таблица 1. Свойства базальтопластиков

Свойства	Базальтовые волокна	Стеклянные волокна	Углеволокну (среднее)
Температура эксплуатации, °С	От -200 до +700	От -60 до +460	300—1500
Температура спекания, °С	1050	600	1500
Коэффициент теплопроводности, ккал/м·ч·°С	0,031—0,038	0,034—0,040	0,5...1,0 Вт/м ² ·°С
<i>Физические</i>			
Плотность, кг/м ³	2600	2540	1500
Модуль упругости, МПа	910—1100	До 510	1000—2000
<i>Электрические</i>			
Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом·см	4,2·10 ¹³	1,3·10 ¹²	2·10 ⁻³ до 10 ⁶
<i>Акустические</i>			
Нормальный коэффициент звукопоглощения	0,9—0,99	0,8—0,92	0,6—0,8

Экономический эффект применения базальтопластиков так же очень важен. Можно отметить, что от применения БПА позволяет снизить: транспортные затраты; теплотери бетонной конструкции армированной БПА, повысить долговечность изделий; не причинять ущерб экологии.

При этом еще раз необходимо отметить, что специалисты всех стран прогнозируют не снижение, а дальнейший рост стоимости металла.

Продукция из БПА разнообразна и ее ассортимент постоянно растет. Так ООО «Моспецпромпроект» продолжает работы по созданию высокопрочных базальтофибропенобетноблоков, прочность на сжатие которых на 50% выше простых пеноблоков, так же как и трещиностойкость.

Имеются успехи по технологии производства базальтофибробетонных плиток для отделки цоколей и фасадов различной цветовой гаммы и фактуры.

Выводы

Подводя итог эффективности использования базальтового волокна, как армирующего материала, можно сказать, что базальтовое волокно может найти широкое применение в изделиях для строительного комплекса, дорожного сектора, автомобиле — судостроении, как конструкционно — радиотехнические и теплоизоляционные материалы, и т.п.

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.В. Рубаник, В.Ф. Луцко, С.Н. Шрубиков, О.С. Попова, Д.Д. Шурмелевич

Институт технической акустики НАН Беларуси, Витебск, Беларусь; ita@vitebsk.by

Среди методов соединения термопластичных полимеров благодаря скорости процесса, легкости автоматизации, экологической безопасности, гарантии качества и высокой эффективности производства наиболее широкое распространение получила ультразвуковая сварка. Новые достижения в разработке высокоэффективных пьезоэлектрических материалов и усовершенствования ультразвуковых источников питания сделали эту тенденцию еще более очевидной. В некоторых случаях, ультразвуковая сварка может использоваться для соединения несходных полимерных материалов, если разность их температур плавления находится в пределах 30 °С, а их композиция совместима. Более того, некоторые из термопластов, например полистирол, лавсан и другие, свариваются только ультразвуком.

Физическая сущность процесса основана на преобразовании электрических колебаний ультразвуковой частоты (18—50 кГц), вырабатываемых генератором, в механические колебания выходного торца пьезоэлектрического преобразователя, которые посредством акустической системы вводятся в обрабатываемый материал. Благодаря трению на границе раздела свариваемых поверхностей и молекулярному трению в структуре материала, выделяется тепловая энергия, необходимая для его плавления в зоне стыка. При наличии статического давления и создании акустического контакта соединяемых поверхностей, за счет интенсификации процесса диффузии, формируется сварной шов, прочность которого не менее 70% от прочности свариваемого материала. Удельная мощность ультразвука для сварки пластмасс составляет 10÷50 Вт/см², амплитуда колебания рабочей поверхности волновода (инструмента) — 20÷70 мкм.

Одной из главных проблем применения мощного ультразвука во многих областях техники является широкое внедрение лабораторных экспериментов непосредственно в производство. Реализация ультразвуковых технологий и применение ультразвукового оборудования ограничивается отсутствием комплексного подхода к измерениям параметров аппаратуры, технологических процессов и готовой продукции, способного обеспечить оптимальную настройку аппаратов и максимальную эффективность ультразвукового воздействия на обрабатываемые материалы.

Работы по исследованию процесса, разработке способов, созданию технологии и оборудования для

УЗ-сварки на протяжении более двадцати лет ведутся в ГНУ «ИТА НАН Беларуси». Разработанные технологии и оборудование внедрены на ряде предприятий РФ и РБ, в том числе: в учреждениях здравоохранения РБ (ультразвуковая сварка полимерных магистралей систем переливания крови); ОАО «Руденск», Минская обл. (сварка светотехнических устройств); ОАО «Инвет», Витебская обл. (сварка деталей ушной бирки для крупного рогатого скота); СООО «Белвест», г. Витебск (ультразвуковое тиснение и опрессовка деталей обуви); ОАО «Витязь» г. Витебск (ультразвуковая сварка деталей картриджа бытового фильтра — кувшина); ОАО «Завод Промбурвод», г. Минск (ультразвуковая сварка рабочих колес погружных насосов); ЗАО «Перспективные Технологии», г. Москва (ультразвуковая сварка деталей картриджа лазерных принтеров); ОАО «Светотехника», г. Дмитровград, РФ (ультразвуковая сварка световозвращателей) и др.

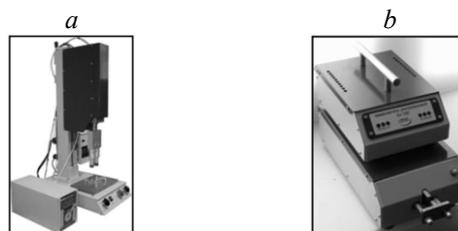


Рис. 1. Оборудование для ультразвуковой сварки изделий из термопластичных полимеров: *a* — установка для ультразвуковой сварки деталей картриджа бытового фильтра — кувшина, *b* — аппарат для ультразвуковой сварки полимерных магистралей систем переливания крови

Результатом применения ультразвуковых технологий является существенное улучшение качества получаемых продуктов, снижение трудоемкости и энергоемкости, сокращение времени технологических процессов. Так, внедрение разработки на СООО «Белвест» позволило: повысить производительность процесса опрессовки в 2—3 раза, снизить энергозатраты в 8—10 раз, исключить прилипание материала к поверхности инструмента и обеспечить равномерное оплавление по периметру и толщине обувной резинки, а также обеспечить экологическую безопасность процесса. Более того, иногда применение ультразвука — это единственное возможное решение поставленной производственной задачи.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ САМОЗАТУХАЮЩЕГО КОМПОЗИТНОГО ЦЕЛЛЮЛОЗНО-ХИТОЗАНОВОГО ВОЛОКНА

Д.Д. Гриншпан, А.Н. Гончар, Н.Г. Цыганкова, Т.А. Савицкая, С.Е. Макаревич

Учреждение Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», Минск, Беларусь, grinshpan@bsu.by

Цель — разработка новой технологии получения самозатухающих целлюлозных волокон из совместных прядильных растворов природных полимеров — целлюлозы и хитозана в их общем растворителе — ортофосфорной кислоте и ее реализация на опытно-промышленной установке мощностью 3000 кг/год.

Материалы и методы

Для приготовления суспензий и прядильных целлюлозно-хитозановых растворов использовали древесную сульфатную целлюлозу ОАО «Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат» (Россия) со степенью полимеризации 900, а также хитозан производства ЗАО «Биопрогресс» (Россия) со степенью деацетилирования 70%. Исходным реагентом для приготовления растворов полимеров служила концентрированная (86 мас.%) ортофосфорная кислота, которая предложена в качестве экологически безопасного растворителя для производства гидратцеллюлозных волокон.

Реологические исследования суспензий, прядильных растворов и гелей и оценку их тиксотропных свойств проводили на реометре R/S Brookfield® (США).

Физико-механические свойства одиночных волокон и нитей определяли на универсальной настольной электрохимической испытательной машине Zwick Z0.5 TS, а также с помощью прибора Vibrodyn/Vibroskop. Кислородный индекс волокна определяли по ГОСТ 9733.4

Результаты и их обсуждение

Отработан процесс совмещения целлюлозы с хитозаном в ортофосфорной кислоте, позволяющий получать эквипонцентрированные по целлюлозе кинетически стабильные 7—10% прядильные растворы с массовым соотношением целлюлоза:хитозан 90:10—70:30. Показано, что особенность процесса совмещения целлюлозы и хитозана в растворе состоит в том, что система целлюлоза-хитозан-ортофосфорная кислота в зависимости от температурных условий претерпевает ряд фазовых превращений и переходит от состояния суспензии полимеров к гелям, которые при нагревании выше 293 К приобретают текучесть и представляют собой прозрачные высоковязкие оптически прозрачные растворы без признаков фазового разделения.

Изучены реологические свойства целлюлозно-хитозановых суспензий, растворов и гелей в водной ортофосфорной кислоте в различных режимах сдвигового течения в области 0,15—100 с⁻¹ при 268—323 К. При установившемся режиме течения в

интервале скоростей сдвига от 20 до 40 с⁻¹ для совместных растворов обнаружено появление квазинытоновского участка, обусловленного ЖК-упорядочением макромолекул, о чем свидетельствует индуцированное сдвигом двулучепреломление растворов, сохраняющееся в полученных пленках. Охарактеризовано тиксотропное поведение целлюлозно-хитозановых суспензий, прядильных растворов и гелей при резком перепаде скоростей сдвига от 0,15 до 10 с⁻¹, т.е. в условиях, моделирующих процессы транспортировки и экструзии прядильных растворов при их формовании. Установлено, что степень восстановления структуры уменьшается при переходе от суспензий к растворам и в тем большей степени, чем выше содержание хитозана. При неустановившемся течении в режиме постоянной скорости сдвига для исследованных растворов характерна репексия. Полученные результаты положены в основу аппаратного оформления стадии приготовления растворов смесей двух полимеров на пилотной установке.

Сформованы целлюлозно-хитозановые волокна с прочностью 18—22 сН/текс, удлинением 10% и модулем упругости не менее 500 сН/текс при линейной плотности 0,2—1,0 текс. Способность к самозатуханию нитей при устранении прямого источника пламени охарактеризована кислородным индексом 28, 35 и 57% в зависимости от содержания хитозана, что выше, чем у импортных гидратцеллюлозных волокон пониженной горючести, представленных на рынке. Процесс получения волокна является непрерывным, малостадийным и практически безотходным, в котором предусмотрена регенерация солевой осадительной ванны.

Для получения совместных целлюлозно-хитозановых прядильных растворов на опытно-промышленной установке мощностью 3000 кг/год изготовлено нестандартное оборудование, которое включает два основных блока: блок получения совместных целлюлозно-хитозановых растворов и блок экструзии. Начата апробация процесса получения композитного целлюлозно-хитозанового волокна на опытно-промышленной установке ОАО «СветлогорскХимволокно» (Беларусь).

Работа выполнена по контракту «ЮВК-2012-28» научно-технической программы Союзного государства «Разработка инновационных технологий и техники для производства конкурентоспособных композиционных материалов, матриц и армирующих элементов на 2012—2016 годы», шифр «Компomat».

КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ТВЕРДОГО КОМПОЗИЦИОННОГО ТОПЛИВА ИЗ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Д.Д. Гриншпан, Т.Н. Невар, Н.Г. Цыганкова, И.В. Резников, Т.А. Савицкая

Учреждение Белорусского государственного университета
«Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», Минск, Беларусь, grinchspan@bsu.by

Цель

Оценить коллоидно-химические свойства нового твердого композиционного топлива с помощью реологического, калориметрического и термического методов анализа.

Технология получения твердого композиционного топлива на основе лигнинового сорбента «Лигносорб» и нефтепродуктов предложена Учреждением Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем». Опытное производство твердого композиционного топлива будет организовано на ОАО «Бобруйский завод биотехнологий». Сорбент «Лигносорб» изготавливается в виде однородного гидрофобизованного порошка коричневого цвета из гидролизного лигнина, являющегося крупнотоннажным отходом гидролизного производства. Гранулометрический состав порошка 0,4—0,8 мм, насыпная плотность 200—350 кг/м³, массовая доля воды – не более 25%, нефтепоглотительная емкость при 18 °С 2—5 г/г сорбента [1]. После контакта порошка с гидрофобными органическими жидкостями в течение нескольких секунд за счет действия капиллярных сил происходит образование твердого композита, обладающего достаточной прочностью. Этот продукт пригоден для гранулирования, пеллетирования и брикетирования с последующим использованием в качестве топлива.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования использовали сорбент лигниновый «Лигносорб» (ТУ ВУ 100050710.122-2009) и нефтепродукты отработанные по ТПК 17.11-01-2009(02120).

Реологические исследования проводили на реометре «Brookfield» (США) при температуре 298 ± 1К как описано в [2].

Для термического анализа образцов использовали синхронный термический анализатор «STA 449 Jupiter» производства фирмы «NETZSCH» (Бавария).

Теплоту сгорания композиционного топлива измеряли в бомбовом изопериболическом калориметре В-08МА с изотермической водяной оболочкой по ГОСТ 147.

Результаты и их обсуждение

Установлено, что при изменении концентрации

пульпы, образующейся при смешении лигнина с нефтепродуктом, дисперсная система переходит из свободнодисперсного в связнодисперсное состояние. Показано, что высокая смачиваемость «Лигносорба» нефтепродуктами (низкие значения краевого угла смачивания) и образование прочных контактов между частицами при высокой концентрации дисперсной фазы определяют реологическое поведение систем. С ростом концентрации дисперсной фазы происходит изменение режима течения от ньютоновского до коагуляционно-тиксотропного. Появление петли гистерезиса на реограммах вязкости зафиксировано при 25%-ном содержании лигнина в дисперсиях. При этом площадь петли гистерезиса растет с увеличением содержания лигнина, а для различных нефтепродуктов — с ростом их вязкости. Концентрация лигнина, при которой система теряет текучесть, в ряду дизельное топливо — индустриальное масло — сырая нефть изменяется соответственно 41,5 — 43,0 — 44,5 мас. %.

По данным термического анализа на ДСК кри-вых композита нефть – «Лигносорб» при соотношении компонентов 1:1 отсутствуют экзотермические эффекты, характерные для свободной (несвязанной) нефти и лигнина. Такой характер терморазложения свидетельствует об образовании в результате смешения нефти и лигнинового сорбента композитного материала, а не механической смеси отдельных компонентов.

По высшей теплоте сгорания композиционное топливо (25—30 МДж/кг) превосходит известные виды твердых топлив (бурый уголь, каменный уголь, лигнин, антрацит), характеризуется малым содержанием серы (до 0,5%), невысокой зольностью и может сжигаться в твердотопливных печах с кипящим слоем.

Работа выполнена в рамках научно-технической программы Союзного государства «Разработка инновационных технологий и техники для производства конкурентоспособных композиционных материалов, матриц и армирующих элементов на 2012—2016 годы», шифр «Компомат» (контракт № ЮВК-2012-19).

1. Гриншпан Д.Д. и др. Нефтесорбент на основе гидролизного лигнина // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия химических наук. — 2011, № 2, 23—28
2. Savitskaya T.A., et al. Rheological Properties of Disperse Systems based on Hydrolyzed Lignin and Oil // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. — 2012 (85), no. 3, 662—667

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СПИРАЛЬНОЙ НАВИВКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТРУБ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ПРЯМОЙ ЭКСТРУЗИИ, УСИЛЕННЫХ СЕТКОЙ ИЗ СТЕКЛОВОЛОКНА

В.Т. Бисеров, Н.В. Бисерова, В.А. Метёлкин, М.В. Ковязин

Группа «Полипластик», Москва, Россия; Natalya.Biserova@polyplastic.ru

Цель работы

Получение полиэтиленовой армированной трубы наружным диаметром до 400 мм с повышенным уровнем рабочих давлений –20—40 атм для использования в нефтяной отрасли.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования была использована труба из ПЭ, полученная методом прямой экструзии которая в последующем, с помощью спиральной навивки была усилена несущим каркасом — сеткой из стекловолокна. Наружный диаметр трубы составлял 250 мм.

Работоспособность труб и соединений изучали при испытаниях на стойкость к внутреннему давлению образцов труб, армированных сеткой из стекловолокна диаметром 250 мм при нагружении образцов внутренним давлением. Испытания до разрушения проводили с постоянной скоростью роста давления по ISO/TS 18226 в термостатируемой ванне при температуре воды 20 °С, 80 °С на испытательном стенде фирмы IPT (Германия).

Результаты и их обсуждение

Получена труба, армированная стеклой из стекловолокна с рабочим давлением 20 и 40 атм.



Рис. 1. Конструкция армированной трубы

График нагружения OD 250, сетка 9600x4800, 1 полуслой

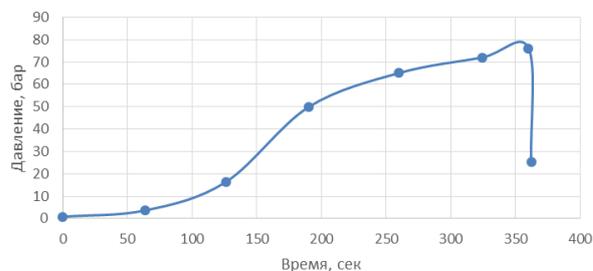


Рис. 2. Типовой график нагружения трубы давлением при проведении испытаний на разрыв при 20 °С

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДА «ОБЪЁМ—ПОВЕРХНОСТЬ» ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОМ РАЗРУШЕНИИ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ

В.Г. Колбая¹, А.В. Гельман², И.А. Шпара², В.В. Коврига¹

¹ООО «Группа ПОЛИПЛАСТИК», Москва, Россия; kovriga@polyplastic.ru

²ОАО «Газпром промгаз», Москва, Россия

Цель

Исследование перехода «объём — поверхность» при пластическом разрушении полиэтиленовых труб было выполнено для уточнения критериев оценки пластического разрушения.

Материалы и методы

Для исследования характера пластического разрушения полиэтиленовых труб внутренним давлением разработан стандарт организации «Пластмасса. Метод определения параметров зоны пластического разрушения полимерных труб СТО 73011750-012-2014». Стандарт предусматривает определение следующих показателей:

- 1) разрушающее давление;
- 2) максимальная остаточная деформации, $\epsilon_{ост.п}$ вне зоны пластической деформации;
- 3) максимальная ширина зоны пластической деформации $L_{ш\ max}$;
- 4) действительная кратность вытяжки в образце трубы по толщине стенки;
- 5) естественная кратность вытяжки в образце лопатке по длине;
- 6) естественная кратность вытяжки в образце лопатке по величине поперечного сечения;
- 7) напряжение в кольцевом сечении;
- 8) предел текучести.

Этот метод был применён для анализа пластического разрушения в трёх видах групп:

1. Полиэтиленовые трубы из ПЭ100 непосредственно после изготовления,
2. Полиэтиленовые трубы с различными сроками эксплуатации от 4 до 47 лет в газовых сетях.
3. Тепловые трубы из сшитого полиэтилена.

Результаты и их обсуждение

Переход «поверхность — объём» при пластическом разрушении является характеристикой материала и мало зависит от срока эксплуатации. Срок эксплуатации существенно влияет на объём матери-

ала, вовлечённого в этот переход [1]. Переход характеризуется показателем естественной кратности вытяжки, который для различных материалов показан в табл. 1.

Таблица 1. Естественная кратность вытяжки

Диаметр, мм	SDR	Срок эксплуатации	Тип ПЭ	Естественная кратность вытяжки, крат
36—40 лет				
160	13,6	36	-	3
31—35 лет				
110	11	31	-	3
26—30 лет				
160	11	26	-	5
21—25 лет				
110	11	25	-	6
16—20 лет				
225	11	17	-	7
11—15 лет				
180	9	13	-	5
6—10 лет				
63	9	9	-	5
0 лет				
110	11	0	ПЭ100	5
160	11	0	ПЭ80	6
110	11	0	PEX-A	3
63	21	0	ПЭ100 RC	4
110	17	0	ПЭ100-RC	5

Таблица 2. Зависимость размера поверхности отнесённого к единице объёма

Кратность вытяжки	$\lambda = 1$	$\lambda = 2$	$\lambda = 3$	$\lambda = 4$	$\lambda = 5$	$\lambda = 6$	$\lambda = 7$
см ² /гр.	7,7	12,8	18,0	23,2	28,5	33,9	39,1

Примечание. При расчёте характеристик для образца размером 60×10×4 мм объём, см³ $V = \text{const}$ и масса, гр $m = \text{const}$.

1. Волюнский А.Л., Бакеев Н.Ф. Роль поверхностных явлений в структурно-механическом поведении твёрдых полимеров. — М.: Физматлит. — 2014

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАЗМЕРОСТАБИЛЬНЫХ УГЛЕПЛАСТИКОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Е.В. Шилина¹, А.Ф. Санин²

¹Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля, Днепропетровск, Украина; info@yuzhnoye.com

²Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара, Днепропетровск, Украина

При разработке корпусов терморазмерно-стабильных конструкций космического назначения, к ним предъявляют ряд специфических требований, в первую очередь эти изделия должны сохранять свою работоспособность в условиях действующих на них перегрузок в процессе транспортировки, вывода на орбиту (перегрузки составляют до 8g) и последующей эксплуатации аппарата в космическом пространстве при воздействии циклических перепадов температур и различных типов космических излучений, обладая при этом минимальной массой. Основопологающим требованием к данным конструкциям является также их высокая терморазмерно-стабильность — деформации не должны превышать несольких микрометров при изменении температуры на 10—20 °С. Исходя из всего этого, в качестве материала для корпуса оптического прибора целесообразнее всего применять конструкционные углепластики на основе высокопрочного углеродного волокна и связующего эпоксидного типа, максимально обладающими всеми этими свойствами.



Рис. 1 Корпус размерностабильной конструкции космического назначения

С целью обеспечения регламентируемых тепловых деформаций может быть рассчитана схема армирования таких конструкции.

Для изготовления таких размерностабильных конструкций обычно используется металлическая оснастка, обеспечивающая их конечные геометрические параметры в соответствии с размерами оснастки при ее нагреве до максимальной температуры отверждения изделия.

Технология изготовления таких конструкций обычно соответствует следующей технологической схеме:

- наработка однонаправленного препрега на основе углеродного волокна и связующего эпоксидного типа (отклонение содержания связующего не более двух весовых процентов от номинала);
- раскрой препрега на заготовки по шаблонам (отклонения волокон от заданных углов армирования не должны превышать одного углового градуса от номинала);
- выкладка заготовок на оправку в соответствии со схемой армирования с базированием по торцам оправки;
- подпрессовка заготовки по специальному режиму через каждые 1,5—2,0 мм толщины формованного изделия;
- окончательное отверждение заготовки;
- термостабилизация заготовки;
- механическая обработка заготовки и клейка закладных элементов;
- неразрушающий контроль качества изделия и прочностные испытания образцов-свидетелей;
- проведение испытаний по оценке реальной терморазмерно-стабильности изготовленной конструкции.

Приведенные в настоящих тезисах методологический подход к проектированию и директивная технология изготовления позволяют получать размерностабильные конструкции с заданными геометрическими деформационными характеристиками.

ФТАЛИДСОДЕРЖАЩИЕ ПОЛИАРИЛЕНЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛЕНОК И ПОКРЫТИЙ С НЕОБЫЧНЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ И ОПТИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИС.Н. Салазкин¹, В.В. Шапошникова¹, А.Н. Лачинов²¹Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова, Москва, Россия; snsal@ineos.ac.ru²Уфимский научный центр РАН, Уфа, Россия; E-mail: presid@anrb.ru

Основной задачей исследования являлся синтез полимеров, сочетающих различные функциональные свойства, и которые могут быть полезны не только для создания конструкционных материалов, но и для материалов, используемых в электронике, радиотехнике и других областях [1—4].

В качестве объектов исследования были выбраны: 1) полиариленфталиды, получаемые селективной поликонденсацией, протекающей по механизму реакции электрофильного замещения, на основе псевдохлорангидридов, преимущественно полидифениленфталид (ПДФ-1) и 2) фталидсодержащие полиариленэфиркетоны (ПАЭК).

Эти полимеры обладают необычными электрофизическими и оптическими свойствами наряду с высокими термо-, тепло-, хемостойкостью и механическими свойствами. В тонких субмикронной толщины пленках этих полиариленов наблюдаются уникальные электрофизические явления, сопровождающиеся оптическими эффектами. Большая часть этих явлений обусловлена размерными эффектами и в объемных материалах не реализуется. Два взаимосвязанных аспекта полиариленов позволяют наблюдать необычные электронные свойства. Первый — это уникальные пленкообразующие свойства, позволяющие создавать сплошные однородные пленки на твердых поверхностях вплоть до мономолекулярной толщины (~ 2 нм). Второй — наличие функциональных групп, обладающих относительно большим дипольным моментом и лабильной связью С-О, приводящей к обратимой смене типа гибридизации SP^3 - SP^2 при взаимодействии молекулы с избыточным зарядом.

К уникальным и полезным свойствам тонких пленок и покрытий синтезированных полимеров можно отнести:

1. Возможность управления проводимостью пленок в интервале значений сопротивления от изолятора до металла с помощью малого одноосного давления, электрического поля, температуры.

2. Проводимость тонких полимерных покрытий чувствительна к структурным и фазовым превращениям металлов, на которые оно нанесено. Причем это могут быть фазовые переходы первого и второго рода, а также изменение концентрации и качества дефектов.

3. Аномально высокая электропроводность тонких полимерных покрытий на металлах с сочетанием защитных свойств поверхности металла, приводит к тому, что граница протекания электрохимических реакций переносится с поверхности металла на поверхность полимерной пленки.

4. Магниторезистивные свойства покрытия на ферромагнетиках приводит к аномально большому коэффициенту магнетосопротивления и реализации огромного магнетосопротивления.

5. Спонтанное сегнетоэлектричество в пленках толщиной менее 200 нм

6. Флуоресценция и электролюминесценция.

7. Спонтанная металлоподобная электропроводность полезная для изготовления электропроводящих клеев без содержания электропроводящих частиц и наполнителей.

Таким образом, пленки на основе ПДФ-1 и ПАЭК, нанесенные на поверхности металлов и/или полупроводников, проявляют эффект электронного переключения в результате внешних воздействий (давление, температура, электрические поля и т.п.), гигантское магнетосопротивление (изменение электрического сопротивления в $1 \cdot 10^5$ — $1 \cdot 10^8$ раз при воздействии магнитных полей), изменение электрических характеристик при появлении дефектов в изделиях, резкое снижение работы выходы при эмиссии электронов, электро- и фотолюминесценции и т.п.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 13-03-00331-а).

1. Лачинов А.Н., Воробьева Н.В. Электроника тонких слоев широкозонных полимеров // Успехи физических наук — 2006 (176), № 12, 1249—1266
2. Пономарев А.Ф., Мошелев А.В., Лачинов А.Н., Салазкин С.Н., Шапошникова В.В., Шарапов Д.С., Корнилов В.М. Новые возможности эффективного влияния на транспорт зарядов во фталидсодержащих полиариленэфиркетонах // Высокмолекулярные соединения, Серия С — 2009 (51), № 7, 1300—1305
3. Салазкин С.Н., Шапошникова В.В. Синтез фталидсодержащих полимеров, перспективных для создания функциональных материалов различного назначения // Нанотехнологии — 2009, № 3(4), 3—25
4. Шапошникова В.В., Дис. докт. хим. наук, Ин-т элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН. — Москва — 2013

МЕХАНИЗМ РАЗЛОЖЕНИЯ ВОДЫ НА TiSi_2

А.А. Ковалевский, О.М. Комар

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь;
olga_komar@tut.by

Схема фоторазложения воды с $\text{pH} = 7$ на дисилициде титана включает, по крайней мере, две основные стадии — стадия до 60°C и стадия при температуре выше 60°C (рис. 1) [1, 2].

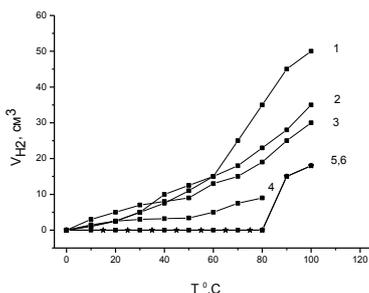
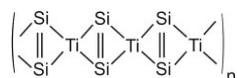
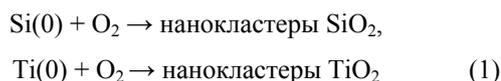


Рис. 1— Разложение воды на дисилициде титана в атмосфере аргона в зависимости от температуры: $\text{pH} = 7$ (1, 2, 5, 6), $\text{pH} = 9$ (3), $\text{pH} = 5$ (4)

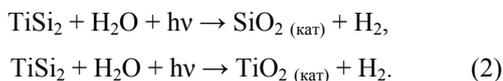
Представим структурно твердый раствор дисилицида титана как:



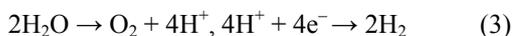
Начальное формирование естественных оксидов кремния и титана как нанокластеров SiO_2 , TiO_2 , происходит за счет взаимодействия кислорода с незаполненными связями у кремния и титана по реакции:



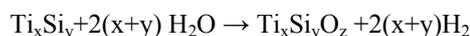
На первой стадии происходит предварительное образование водорода и нарастание каталитических областей нанокластеров из диоксидов кремния и титана, образующихся при погружении дисилицида титана в воду, при наличии видимого света:



Дальнейшее образование водорода происходит в результате окисления воды до кислорода и ионов водорода на катализаторе TiSi_2 с нанокластерами SiO_2 и восстановления ионов водорода до молекулярного водорода на катализаторе TiSi_2 с нанокластерами TiO_2 соответственно:



Суммируя эти процессы механизм разложения поэтапно можно представить как:



Именно этот этап ответственен за формирование каталитически активных областей. На втором этапе образуется кислород и водород:



вместе с экзотермическим выделением молекулярного водорода: $4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2$.

Таким образом, на первом этапе при температуре до 60°C происходит подкисление титана и кремния водой с нарастанием каталитических областей в результате образования нанокластеров вновь образующегося катализатора TiO_2SiO_2 (TiSiO_4) и незначительное выделение водорода (рис. 1) Выделение водорода (рис. 1) начинается в момент $t = 0$ с концентрацией $(\text{H}_2) = 0$ и имеет нелинейный рост зависимости в области температур воды $0\text{—}20^\circ\text{C}$. При температуре 60°C в атмосфере инертного газа (аргон, азот) стадия с медленным выделением водорода отчетливо переходит в стадию с эффективным выделением. Это свидетельствует о существовании, по крайней мере, двух процессов, которые ответственны за образование водорода [2]. Считаем, что зависимости выделения водорода от температуры являются следствием одновременно протекающих реакций (1—3).

Анализируя закономерности образования водорода в зависимости от температуры воды, представленные на рис. 1, очевидно, что первая стадия до температуры 60°C это медленная стадия, на протяжении которой первоначально получают активные области для расщепления воды. Затем происходит резкий подъем, образующегося потока водорода, в результате усиления реакций (2, 3). Первоначально формируется промежуточный объем получаемого водорода, который остается в течение эксперимента неизменным в пределах ошибки эксперимента, а $> 96\%$ чистой воды расщепляется при температуре выше 60°C при солнечном освещении.

1. Ковалевский А.А., Строгова А.С., Цыбульский В.В., и др. Наноструктурированный твердый раствор TiSi_2 как фотокатализатор разложения воды // Нано- и микросистемная техника. — 2011, № 1, 6—30
2. Ковалевский А.А., Цыбульский В.В., Власукова Л. А., и др. Механизм разложения воды на полупроводниковом дисилициде титана, полученном комбинированием механоактивации и самораспространяющегося высокотемпературного синтеза // Материалы. Технологии. Инструмент. — 2012 (17), № 4, 48—53

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗЛОЖЕНИЯ ВОДЫ ВО ВРЕМЯ АКТИВНОЙ РАДИАЦИИ СОЛНЕЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ И С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНЦЕНТРАТОРОВ

О.М. Комар, А.А. Ковалевский

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь;
olga_komar@tut.by

Постоянные поиски новых путей синтеза водорода и его использования в качестве альтернативного топлива в различных сферах производства является определяющей тенденцией в развитии новых подходов при разработке технологии синтеза материалов способных разлагать воду на водород и кислород.

Область гетерогенного катализа разложения воды на водород и кислород на дисилициде титана ($TiSi_2$) начинает только развиваться. К настоящему времени продемонстрирована возможность проведения процессов разложения воды под действием солнечного излучения при комнатной температуре [1].

Материалы и методы исследования

В качестве катализатора использовали твердый раствор $0,86Ti + 1,0 Si$ с шириной запрещенной зоны $E_g = 2,7—3,4$ эВ, полученный в результате механического смешивания (сплавания) наноразмерных порошков кремния и титана с размером частиц $20—70$ нм в планетарной шаровой мельнице АГО-2 и РМ-100.

Синтез водорода проводили в колбе с круглым дном и в цилиндрическом стеклянном сосуде с медленно вращающимся помешивающим магнитным стержнем. Они соединялись с открытой либо закрытой газовой бюреткой для сепарации кислорода. В сосуд наливали дистиллированную воду преимущественно с $pH = 7$ при температуре $0—100$ °С и вводили в ее состав порошок наноструктурированного твердого раствора дисилицида титана с полупроводниковыми свойствами из расчета 1 грамм порошка $TiSi_2$ на 75 см³ воды.

Влияние pH воды на процесс ее разложения исследовалось при $pH = 7$ (нейтральная среда), $pH = 5$ (кислая среда) и $pH = 9$ (щелочная среда).

Результаты выделения водорода и кислорода были определены на газовом хроматографе, аргон и азот использовались для вытеснения воздуха из системы транспорта и для передачи водорода. Исследования проводились во временном интервале суток с 7 часов утра до 19 часов вечера в солнечную погоду с мая по сентябрь месяц.

Для концентрации солнечного светового потока использовали линзы Френеля с фокусным расстоянием F равным 150, 300 и 600 мм с оптическими фильтрами, пропускающими солнечный свет в видимой области света преимущественно с длиной волны 470 нм.

Результаты и их обсуждение

Таким образом, было установлено, что наработка фотокатализаторов на основе $TiSi_2$ в солнечный день составляет до $1,0—90$ см³ в час. При этом наибольшая эффективность разложения воды наблюдается во временном интервале суток 12—16 часов (рис. 1) [2].

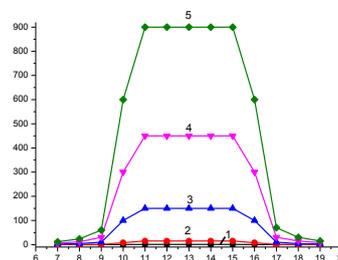


Рис. 1. Изменение эффективности реакции разложения воды на наноструктурированном твердом растворе дисилицида титана в течение дня: 1 — отношение массы дисилицида титана к массе воды 1:150; 2 — 1:75; с использованием концентратора на основе линзы Френеля с разным фокусным расстоянием: 3 — $F = 150$ мм; 4 — $F = 300$ мм; 5 — $F = 600$ мм

Солнечные установки (приспособления) на основе высокоэффективных концентраторов-фотохимических модулей с линзами Френеля и фотокатализаторами на основе дисилицида титана с КПД 36—40% позволяют достичь объема водорода на один-три порядка выше (рис. 1). При прочих равных условиях солнечной радиации, эффективность разложения воды зависит от таких технологических параметров как: наличие магнитного поля, скорость перемешивания воды, размер частиц фотокатализатора, температуры воды и pH , массовое соотношение воды и катализатора и длина волны солнечного излучения.

Наиболее значимыми из них являются концентрация солнечной радиации, время суток, в течение которого наиболее эффективно используется солнечная радиация, размер частиц фотокатализатора, температура и pH воды.

1. Ковалевский А.А., Строгова А.С., Цыбульский В.В., и др. Наноструктурированный твердый раствор $TiSi_2$ как фотокатализатор разложения воды // Нано- и микросистемная техника. — 2011, № 1, 6—30
2. Ковалевский А.А., Цыбульский В.В., Власукова Л. А., и др. Механизм разложения воды на полупроводниковом дисилициде титана, полученном комбинированием механоактивации и самораспространяющегося высокотемпературного синтеза // Материалы. Технологии. Инструмент. — 2012 (17), № 4, 48—53

СОЗДАНИЕ АЭРОГЕЛЕЙ ДЛЯ КОЛЛЕКТОРОВ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ
НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ УГЛЕЙК.А. Корзун¹, А.А. Ковалевский¹¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь;
kristin.korzun@gmail.com**Цель**

Целью данного исследования является разработка и исследование уникального материала на основе наноразмерного углерода, полученного из угля, и нанопорошка кремния для создания эффективного коллектора солнечной энергии.

Методы и материалы

В данной работе наноразмерный углерод был получен методом механического помола в шаровой планетарной мельнице РМ-100. Нанопорошок углерода с незначительным (0,1—0,5 мас.%) добавлением наноструктурированного порошка кремния используется для формирования жидкой фазы при создании аэрогелей. Данные аэрогели являются высокоэффективными абсорбентами в широком диапазоне спектра электромагнитных излучений. В качестве исходного материала был использован уголь марки Б1. Гранулометрический состав частиц порошка угля находится в очень широком диапазоне от нано- до микрометров.

Результаты и их обсуждение

Улучшение и уменьшение размера частиц происходит при механическом измельчении в планетарных шаровых мельницах с увеличением соотношения массы шаров к массе угля. [1]. При соотношении массы шаров к массе угля (90—100):1 удается разрушить все минералы в течение 4—6 часов и в результате последующей многократной отмывки частиц угля в воде перед финишной операцией измельчения получить наноструктурированный порошок углерода со следами примесей кислорода и кальция.

Дополнительное растирание таких порошков угля в планетарной шаровой мельнице РМ-100 или АГО-2 в режиме коллоидного измельчения позволяет трансформировать их структуру и в зависимости от соотношения масс шаров и угля, получить наноразмерные порошки угля (рис. 1, а) и далее сформировать близкие по размеру трубчатые и сотовые структуры, которые организуются в отдельные агломераты, структурированные образования, представляющие собой, упорядоченные длинные трубки и глубокие соты, упакованные в определенном порядке (рис. 1, б).

Такой порядок структурной упаковки подтверждает образование нового вещества, отличающегося по структуре развитой поверхностью по сравнению с бурым углем, прошедшим измельчение при соот-

ношении масс шаров к массе угля 1:(5—10) во время механоактивации и состоящим из углерода с незначительными включениями кремния. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что процессы измельчения и смешивания углей с порошками кремния в первую очередь определяются химическим, гранулометрическим составом и структурой частиц порошков. С полученных структур были сняты спектры пропускания в видимом и ближнем ИК-спектрах. Снятые спектры показали, что идет полное поглощение подающего излучения (более 99%), что делает полученные образцы пригодными данному параметру для создания аэрогелей, применимых в солнечной энергетике.

Теплопроводность аэрогеля при уменьшении размера пор стремится к предельному минимальному значению, зависящему от объема пор и размера зерен и составляет $\sim 0,017$ Вт/(м·К) в воздухе при атмосферном давлении, что опять же показывает хорошую возможность его использования не только в солнечной энергетике.

Полученный материал показывает уникальные свойства, которые могут быть применены с успехом не только в солнечной энергетике, но и космонавтике, строительстве, производстве фильтров и т.д. [1].

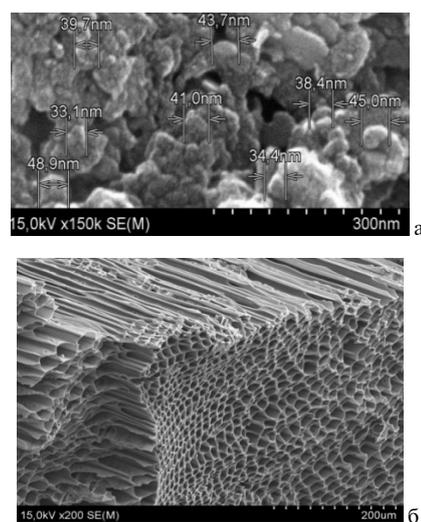


Рис. 1. Структура наноразмерного порошка угля (а) и поперечного сечения образца, полученного из этого порошка угля с добавками кремния после механоактивации стальными шарами при ускорении 400 м/с^2 в течение 100 с (б)

1. Ковалевский А.А., Лабунов В.А., Строгова А.С. и др. // *Материалы. Технологии. Инструмент.* — 2013 (18), № 1, 46—51

СИНТЕЗ И СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МИКРОВОЛОКОННОГО КАТИОНИТА НА ОСНОВЕ НЕТКАНОГО МАТЕРИАЛА «АКВАСПАН», МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОВЕРХНОСТНО-ПРИВИТОЙ ПОЛИКИСЛОТОЙ

Л.В. Шкрабатовская, Л.К. Приходченко, А.А. Горбачев, О.Н. Третинников

Институт физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь; shkrabatouskaya@yandex.by

Сорбенты играют важную роль в энергетике, промышленности, медицине, охране окружающей среды. Полимерный сорбент может быть получен из полимерных гранул, порошка или волокон крупнотоннажного полимера путем поверхностной прививки функционального полимера с требуемыми сорбционными характеристиками. Традиционно используемый гамма-радиационный метод не только инициирует прививочную полимеризацию на поверхности, но и создает радикалы в объеме модифицируемого материала, что приводит к его постепенной окислительной деградации и разрушению. Поэтому гамма-радиационный метод не применим к полимерным микроволоконкам. Между тем использование микроволокон в качестве матрицы сорбента — прямой путь к высокой сорбционной емкости.

Цель работы — придание катионообменных свойств нетканому микроволоконному материалу из полипропилена (ПП) («АкваСпан», РУП «Светлогорское ПО «Химволокно») путем его поверхностной модификации УФ-индуцированной прививочной полимеризацией акриловой кислоты (АК).

Мономер (АК) и фотоинициатор (бензофенон) («Sigma-Aldrich») использовали без дополнительной очистки. УФ источником служил излучатель на мощных светодиодах ($\lambda = 365$ нм) собственного изготовления. Прививочную полимеризацию проводили по методу «тонкого слоя» [1], адаптированному к прививке на микроволоконном материале. Количество (G) привитой полиакриловой кислоты (ПАК) определяли из интенсивностей полос поглощения ПАК при 1700 см^{-1} (A_{1700}) и ПП при 1375 см^{-1} (A_{1375}) в ИК спектрах НПВО микроволокон по формуле $G = A_{1700}/(A_{1700} + A_{1375})$. Для определения сорбционной емкости по ионам Zn^{2+} материал выдерживали 3 ч в растворе ZnCl_2 (0,06 мМ, рН = 5,5) в деионизированной воде при постоянном встряхивании, после чего определяли остаточную концентрацию ионов Zn^{2+} в этом растворе фотометрически по реакции с ПАР.

На рис. 1 приведены ИК спектры НПВО материала «АкваСпан» до и после модификации прививочной фотополимеризацией АК при времени УФ облучения 2 мин. Характеристичные полосы поглощения ПАК при 1700 , 1240 и 800 см^{-1} в спектре модифицированного материала свидетельствуют об образовании поверхностно-привитого полимера. На рис. 2 показаны зависимости количества привитой ПАК (G) и сорбционной емкости материала «АкваСпан» по ионам Zn^{2+} от времени реакции при-

вичной фотополимеризации.

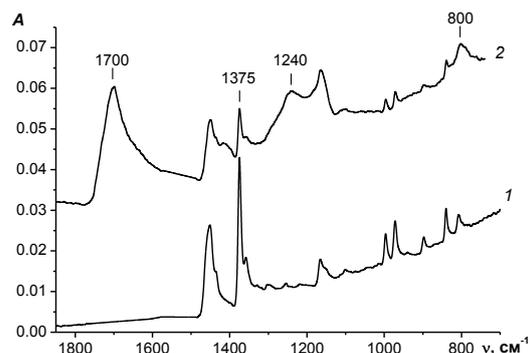


Рис. 1. ИК спектры НПВО материала «АкваСпан» до (1) и после (2) модификации поверхностно-привитой ПАК

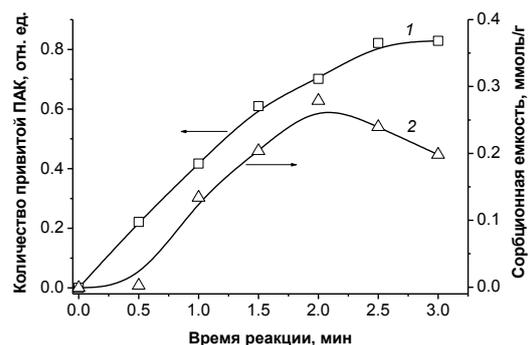


Рис. 2. Зависимости количества привитой ПАК (1) и сорбционной емкости материала «АкваСпан» по ионам Zn^{2+} (2) от времени реакции прививочной фотополимеризации

УФ-индуцированная прививочная полимеризация акриловой кислоты на поверхности микроволокон отечественного нетканого материала из ПП «АкваСпан» придает ему ионообменные свойства. Ионообменная емкость получаемого сорбента сопоставима или даже выше емкости таких известных карбоксильных полимерных сорбентов, как СМ-52 («Whatman», Великобритания), Ольвагель-СООН (Россия), MN («Purolite», Великобритания), Macro-Prep 50 CM («Biorad», США).

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке БРФФИ (проект X15M-062).

- Третинников О.Н., Приходченко Л.К., Шкрабатовская Л.В. Фотоиндуцированная прививочная полимеризация акриловой кислоты на поверхности пленок полипропилена из тонкого слоя недеаэрированного водного раствора мономера // Журн. прикл. химии. — 2013 (86), № 10, 1642–1647.

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ЭКСТРУЗИЯ В ТЕХНОЛОГИИ НАНОКОМПОЗИТОВ ПОЛИМЕР/ГЛИНА

С.П. Богданович, В.Н. Адериха, В.Н. Коваль, С.С. Песецкий

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

Введение

При практической реализации метода экструзионного компаундирования в расплаве полимер/глинистых нанокмозитов (н-ПКМ), особенно на основе термопластов, перерабатываемых при высоких температурах, могут иметь место чрезмерная деструкция макромолекул полимера (активируется частицами глины) и молекул ПАВ (приводит к уменьшению межплоскостного расстояния и ухудшению эксфолирования наночастиц в объеме полимера [1]), проникновение химически активных продуктов деструкции ПАВ в объем полимера. Как результат, существенно снижаются показатели свойств н-ПКМ. Применение для получения нанокмозитов современного компаундирующего оборудования позволяет за счет направленного варьирования технологических условий изменять в широких пределах свойства получаемых материалов

Цель данной работы — анализ влияния температурного режима работы материального цилиндра двухшнекового компаундирующего экструдера на особенности структуры и механические свойства нанокмозитов термопласт/глина.

Методика экспериментов

В экспериментах использовали ПЭТ марки 8200 производства ОАО «Могилевхимволокно» и ПА6 (марка для контакта с пищевыми продуктами), выпускаемый ОАО «Гродно Азот», а также исходные и обработанные ПАВ глины, производимые ЗАО «Метаклэй» (Россия), “Southern Clay Product Inc.” (США) и “Laviosa Chimica Mineraria” (Италия). Компаундирование н-ПКМ осуществляли с использованием двухшнекового экструдера TSSK-35/40 (диаметр шнеков 35 мм, L/D = 40, 10 секций материального цилиндра с независимым нагревом) при температуре в основных зонах смешения превышающей температуру плавления термопластов (экструзия в расплаве, ЭР) и ниже ее до $\approx 100^\circ\text{C}$ (низкотемпературная экструзия, НЭ).

Результаты и их обсуждение

Для нанокмозитов ПЭТ/глина установлено, что переход от режима, характерного для экструзии в расплаве, к низкотемпературной экструзии способствует повышению показателей деформационно-прочностных свойств (рис. 1). Независимо от типа использованной глины и ее концентрации образцы из ПЭТ/глина, полученные методом ЭР, обладают повышенной хрупкостью. Для большинства из них

значение ϵ_p столь мало, что разрушение при растяжении происходит без образования шейки (рис. 1, кривая 1). Очевидной причиной этого является интенсивная деструкция макромолекул матричного ПЭТ на стадии компаундирования. По данным рентгеноструктурного анализа степень расслаивания наноглин в матрице ПЭТ повышается при использовании режимов низкотемпературной экструзии.

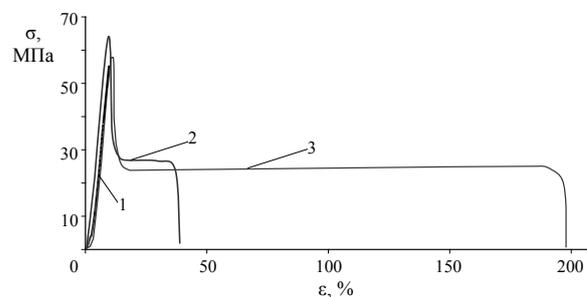


Рис.1. Деформационные кривые при растяжении композитов ПЭТ/глина Cloisite 30B — 1 мас.%; минимальные значения температуры в зонах смешения материального цилиндра экструдера: 1 — 260 °C; 2 — 200; 3 — 150 °C

Поскольку переход от ЭР к режиму НЭ обеспечивает интенсификацию сдвиговых воздействий на полимерный материал, то представлялось важным оценить влияние добавок пластификатора (ПФ), вводимых в полимерную матрицу. При этом в качестве матричного полимера использовали ПА6. При объемном пластифицировании полимерной матрицы, с одной стороны, возможно снижение сдвиговых воздействий при перемещении компонентов н-ПКМ в материальном цилиндре. С другой стороны, снижение уровня сдвиговых воздействий должно уменьшить степень механохимической деструкции макромолекул.

Установлено, неоднозначное влияние ПФ на свойства н-ПКМ ПА6/глина, которое может быть связано с типом СГС и ПАВ, используемых при обработке глин.

Выявлено нуклеирующее влияние наноглин на кристаллизацию термопластов, усиливающееся при повышении степени переохлаждения полимера в зонах смешения материального цилиндра экструдера.

1. Pesetskii S.S., Bogdanovich S.P., and Myshkin N.K. Tribological behavior of polymer nanocomposites produced by dispersion of nanofillers in molten thermoplastics // Ch.5. In: Tribology of polymeric nanocomposites, editors K. Friedrich and Alois K. Schlarb. — Oxford: Elsevier. — 2013, 119—162

ПОЛУЧЕНИЕ МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ ГИДРОГЕЛЕВЫХ СУБМИКРОННЫХ ЧАСТИЦ ХИТОЗАНА

В.И. Куликовская, В.Е. Агабеков

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

Создание композиционных полимер-неорганических нано- и субмикрочастиц является важной задачей при разработке многофункциональных контейнеров для биологически активных веществ [1, 2].

Цель данной работы — установление закономерностей адсорбции ионов Cu^{2+} в гидрогелевые хитозановые субмикрочастицы и получение на их основе композитов хитозан- Cu^0 .

Хитозановые субмикрочастицы синтезировали методом ионотропного гелеобразования. Катионы меди сорбировали в них из водных растворов CuSO_4 (II) с концентрацией от 0,1 до 1,1 М. Композит хитозан- Cu^0 получали путем восстановления катионов Cu^{2+} , адсорбированных в хитозановые частицы, до Cu^0 боргидритом натрия.

Показано, что при сорбции катионов меди в хитозановые частицы из водных растворов $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ с концентрацией от 0,1 до 0,5 М кинетические кривые сорбции Cu^{2+} запределяются через 30 минут, а в области более высоких концентраций (0,6–1,1 М) сорбционное равновесие достигается через 1 час. Установлено, что сорбция катионов меди приводит к уменьшению величины ξ -потенциала субмикрочастиц хитозана с $+(22 \div 24)$ мВ до $+(8 \div 12)$ мВ.

Во всем изученном концентрационном диапазоне (0,1–1,1 М) $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ изотерма сорбции катионов меди (II) частицами хитозана имеет практически линейный вид (рис. 1). Полученные экспериментальные данные хорошо описываются адсорбционным уравнением Фрейндлиха (коэффициент корреляции $R^2 = 0,98$): $A = K_F \cdot c^{1/n}$. Рассчитаны константы уравнения Фрейндлиха: $1/n = 0,97$ и $K_F = 0,036$. Константа $1/n$, показывающая интенсивность сорбции, близка к единице, что свидетельствует о сильном взаимодействии между адсорбатом и адсорбентом. Так, при сорбции Cu^{2+} наночастицами хитозана может иметь место не только физическая, но и хемосорбция за счет образования хелатного комплекса хитозана с катионами меди.

Получены образцы хитозановых частиц, содержащих до 29 ммоль Cu^{2+} /г сухого лиофилизированного порошка. Показано, что после десорбции в дистиллированной воде остаточное количество Cu^{2+} , которое способно прочно удерживаться в хитозановых частицах, составляет $\sim 2,7$ ммоль/г лиофилизированного порошка, что соответствует максимальному количеству катионов меди, которые могут об-

разовать хелатный комплекс с макромолекулами хитозана.

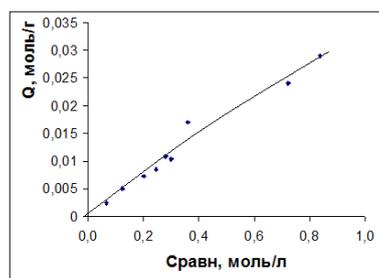


Рис. 1. Изотерма сорбции Cu^{2+} наночастицами хитозана

Получены композиционные полисахарид-неорганические субмикрочастицы путем восстановления адсорбированных катионов меди боргидритом натрия. Образование наночастиц меди подтверждено появлением в спектре поглощения золя полосы поверхностного плазмонного резонанса (ППР) при 580 нм, которая характерна для сферических наночастиц Cu^0 с диаметром 2—10 нм [3]. Средний гидродинамический диаметр композиционных частиц хитозан- Cu^0 составляет ~ 200 нм, в то же время в золе присутствуют агрегаты размером около 1 мкм. Установлено, что оптимальными условия для получения композиционных гидрогелевых частиц является использование боргидрида натрия с концентрацией 0,1 М и хитозановых частиц с содержанием Cu^{2+} 0,2–0,3 ммоль/л. Увеличение концентрации восстановителя или катионов меди в хитозановых частицах приводит к их агрегации и образованию хлопьевидного осадка.

Разработана методика получения гидрогелевых хитозановых частиц, содержащих до $\sim 2,7$ ммоль Cu^{2+} /г и на их основе синтезирован композит хитозан- Cu^0 .

1. Wang M., et al. Effects of Copper-Loaded Chitosan Nanoparticles on Intestinal Microflora and Morphology in Weaned Piglets // *Biol Trace Elem Res.* — 2012 (149), no. 2, 184—189
2. Daniel-da-Silva A. L. and Trindade T. Biofunctional Composites of Polysaccharides Containing Inorganic Nanoparticles in *Advances in Nanocomposite Technology*, ed. by Abbass Hashim, — 2011
3. Сайкова В. Влияние реакционных условий на процесс образования наночастиц меди при восстановлении ионов меди (II) водными растворами боргидрида натрия // *J. Siberian Federal University. Chemistry.* — 2012 (5), 61—72

ФОТООРИЕНТИРУЕМЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ ТОНКОПЛЕНОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ВОДОРАСТВОРИМОГО ПОЛИМЕРА И ДИАЗОПРОИЗВОДНОГО 5,5'-ДИОКСОДИБЕНЗОТИОФЕНА

С.Н. Ларикова, Ж.Д. Чапланова, В.С. Микулич, В.С. Безрученко, Е.А. Грачева

Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь; ichnm-lpp@mail.ru

Фотоориентируемые тонкопленочные материалы на основе азокрасителей широко используются в поляризационной голографии, оптоэлектронике, а также в качестве фотоориентантов жидких кристаллов. Введение азокрасителей в полимерную матрицу оказывает значительное влияние на спектральные характеристики и морфологию анизотропных тонких пленок [1]. Использование водорастворимых компонентов обеспечивает экологическую безопасность процесса получения тонкопленочных композиций.

Изучено влияние полимерной матрицы на анизотропные свойства и морфологию тонкопленочного материала на основе нового азокрасителя – калиевой соли 3,7-бис[1-(4-гидрокси-3-карбоксилат)-фенилазо]-5,5'-диоксодибензотиофена (AtA-2) и поливинилпирролидона (ПВП).

Материалы и методы исследования

Пленки и композиционные покрытия на основе AtA-2 формировали центрифугированием 1%-ных растворов красителя в воде [AtA-2(H₂O)] и ПВП [AtA-2(ПВП)] на кварцевых и кремниевых подложках, предварительно обработанных в системе УФ очистки Photo Surface Processor PL 16-110D (Sen Lights Corp, Япония). Электронные спектры поглощения регистрировали на спектрофлуориметре CM 2203 (Solar, Беларусь). Для изучения фотоиндуцированной оптической анизотропии образцы облучали линейно поляризованным (синий светодиод с $\lambda = 450$ нм, $I = 23$ мВт/см²) и полным светом ртутной лампы ДРТ-1000. Поляризованные спектры записывали на спектрометре Ocean Optics Maya2000Pro, США. Морфологию покрытий исследовали методом атомно-силовой микроскопии (NanoScope Multi-Mode, Veeco, США).

Результаты и их обсуждение

В спектрах поглощения пленок AtA-2(ПВП) наблюдается батохромный сдвиг максимума поглощения ($\lambda_{\text{макс}}$) относительно $\lambda_{\text{макс}}$ спектра пленки AtA-2(H₂O) (таблица), что может быть связано с образованием комплекса между молекулами AtA-2 и ПВП.

Изохромная точка и гипсохромный сдвиг $\lambda_{\text{макс}}$ в спектрах композиционных пленок AtA-2(ПВП), облученных 100 мин полным светом ртутной лампы (рис. 1), свидетельствуют о транс-цис-изомеризации красителя в полимерной матрице. В то же время спектральные характеристики пленки AtA-2(H₂O) при облучении изменяются незначительно.

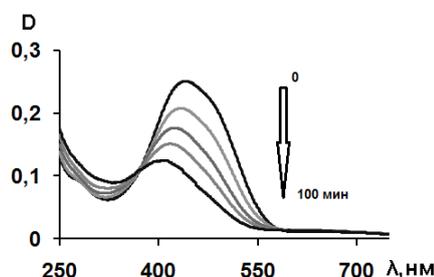


Рис. 1. Изменение оптической плотности пленки AtA-2(ПВП) при облучении УФ светом

Таблица. Характеристики пленок на основе AtA-2

	AtA-2(H ₂ O)	AtA-2(ПВП)		
		[ПВП], мас.%		
		1	5	10
$\lambda_{\text{макс}}$, нм	413	420	431	442
$\lambda_{\text{изоб}}$, нм	отсутствует	350	365	375
D_0/D_{100}	1,1	1,6	1,7	2,1
DR	1,4	2,0	2,3	3,0

С увеличением концентрации ПВП в исходных растворах значения $\lambda_{\text{макс}}$ и $\lambda_{\text{изоб}}$ сдвигаются в красную область спектра, а отношение оптических плотностей образцов до и после облучения (D_0/D_{100}) увеличивается (таблица).

Пленки на основе AtA-2 поляризуются при облучении линейно поляризованным светом. Дихроичное отношение (DR), которое является мерой оптической анизотропии пленок, увеличивается с ростом концентрации ПВП в исходных растворах.

Значения DR для пленок AtA-2(ПВП) выше, чем для пленки AtA-2(H₂O) при одинаковых условиях получения и облучения.

Пленка AtA-2(H₂O) зернистая с индексом шероховатости $R_{\text{ms}} = 4,5$ нм. Композиционные материалы AtA-2(ПВП) прозрачны, имеют аморфную структуру и гладкую поверхность ($R_{\text{ms}} \sim 0,5$ нм).

Таким образом, введение азокрасителя AtA-2 в матрицу поливинилпирролидона способствует фотоориентации молекул красителя в тонких пленках. Спектральные характеристики композиционных материалов зависят от концентрации ПВП в исходных растворах.

1. Чапланова Ж.Д., Муравский А.А., Рогачев А.А., Агабеков В.Е., Грачева Е.А.. Многослойные анизотропные пленки на основе азокрасителя бриллиантового желтого и органических полимеров // Журн. прикл. спектр. — 2013 (80), № 5, 675—679

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОПРОЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА И БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА

О.В. Гоголева

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия; oli-gogoleva@yandex.ru

Введение

Проблема целенаправленного улучшения триботехнических свойств сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), сочетающего превосходные термо- и химически- стойкие свойства с низкой износостойкостью остается на сегодняшний день актуальной задачей полимерного материаловедения.

Одним из путей повышения механических характеристик полимера является его дисперсное упрочнение, однако использование дисперсных наполнителей не всегда позволяет добиваться необходимого сочетания физико-механических, триботехнических и теплофизических свойств получаемых полимерных композиционных материалов (ПКМ). Использование в качестве наполнителей армирующих элементов является перспективным способом улучшения механических характеристик полимеров.

Результаты и их обсуждение

Перед использованием в качестве наполнителя базальтовое волокно (БВ) подвергали измельчению с применением режущей мельницы Fritsch Pulverizette 15 с установленным ситом размерностью 0,25 мм. Далее базальтовое подвергали механической активации в течении 2 мин. Установлено, что удельная поверхность базальтовых волокон при активации повышается в 4—6 раз, что обусловлено уменьшением их толщины и существенным изменением микрофотографии поверхности наполнителя, а именно появлением дефектов на поверхности волокон, повышающих ее шероховатость.

Наполнители вводились в СВМПЭ в количестве от 5 до 20 мас.%. Установлено, что оптимальный комплекс свойств, достигается при содержании 5 мас.% как активированного, так и неактивированного БВ. Показано, что скорость массового изнашивания ПКМ уменьшается до 7,7 раз при сохранении эластичности и повышении прочности, модуля упругости композитов на 30-40%.

Сущность повышения износостойкости при наполнении твердофазными дисперсными наполнителями заключается в образовании под действием компонентов наполнителя надмолекулярных структур в ПКМ, отличающихся от надмолекулярных структур в исходном полимере. Однако при использовании в качестве наполнителей волокон механизм повышения износостойкости иной, чем при наполнении дисперсными соединениями. В данном случае изменение свойств композита связано с формированием иной структуры: волокна, пронизывая поли-

мерную матрицу во всех направлениях, обеспечивают образование армированной структуры. Образование подобной армированной структуры композита придает ПКМ жесткость и, как следствие, высокую износостойкость.

Для установления влияния базальтового волокна на процессы структурообразования в СВМПЭ и, соответственно на характер изменения свойств, методом электронной микроскопии проведены структурные исследования. Установлено, что введение базальтового волокна не сопровождается изменением типа надмолекулярной структуры, которая остается ламеллярной, как и в исходном СВМПЭ. Показано, что на микрофотографии присутствует небольшая доля пластической деформации. Предположительно нанотриллины представляют собой ориентированные молекулы СВМПЭ, образующиеся в процессе пластической деформации. Базальтовые волокна, находящиеся в непосредственном контакте с молекулами СВМПЭ, могут являться зародышами кристаллизации полимера. При разрушении композита, в результате присутствующей небольшой доли пластической деформации, БВ увлекают за собой часть полимера, который был закристаллизован на их поверхности. Закристаллизованная часть полимера, вместе с аморфными участками, вытягивается в нанотриллины.

Результаты испытания образцов на ударную прочность показали, что композиты на основе СВМПЭ не разрушаются при данных условиях испытания. Это свидетельствует об их высокой стойкости к ударным воздействиям.

Таким образом, перечисленные свойства позволяют рекомендовать применение разработанных полимерных композитов в механизмах, подверженных высокой степени истирания, например, для изготовления рычагов подвески, опорных катков, осей качения подшипников скольжения, и других деталей для обеспечения этим деталям длительной износостойкости и ударопрочности, высокой теплоустойчивости, низкого веса, стойкости к агрессивным средам и не подверженности коррозии, что важно при эксплуатации оборудования, используемого в горнодобывающей и обогащательной промышленности.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта «Научно-образовательный фонд поддержки молодых ученых Республики Саха (Якутия)» 201302010131

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПОЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА КОМПЛЕКСНЫХ КАЛЬЦИЕВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.Л. Богданов¹, С.Ф. Ермаков¹, А.А. Рыбаков², В.Г. Константинов², В.Н. Данишевский²

¹Институт механики металлополимерных систем им В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь; al.bogdanov@tut.by)

²ОАО «Завод горного воска», г.п. Свислочь, Беларусь

Цель

Установление закономерностей влияния технологических режимов на процесс получения комплексных кальциевых композиционных смазочных материалов.

Материалы и методы исследования

Для экспериментальных исследований использовали образцы композиционных пластичных смазочных материалов (КПСМ) на основе минеральных масел и комплексного кальциевого загустителя, полученные в лабораторных условиях.

В качестве физико-механических свойств КПСМ оценивали предел прочности на сдвиг и температуру каплепадения по стандартным методикам.

Технологический режим исследовался на лабораторной реакторной системе IKALR2.ST, модифицированной для получения КПСМ.

Результаты и их обсуждение

Рассматриваемые КПСМ являются сложными многофазными системами и соответственно для получения стабильных КПСМ с оптимальными характеристиками требуется выбор максимально эффективных технологических режимов, учитывающих все особенности протекания как химических реакций, так и процессов структурообразования.

В процессе получения КПСМ в значительной мере изменяются как реологические, так и теплофизические свойства, которые зависят не только от рецептурного состава, но и от температурного режима получения [1—3].

В результате проведенных экспериментов получены технологические диаграммы для различных технологических режимов получения КПСМ (рис. 1).

Данные диаграммы позволяют фиксировать протекание как химических реакций (нейтрализация кислот), так и фазовые переходы полупродуктов КПСМ, которые сопровождаются либо поглощением, либо выделением тепла.

Установлено, что этапы технологического процесса получения КПСМ сопровождающиеся тепловыми эффектами также показывают одновременное изменение вязкости, при этом часто наблюдается повышение вязкости полупродуктов с ростом температуры реакционной среды, что указывает, например, на протекание реакции комплексообразования в системе ацетат-стеарат кальция.

Посредством анализа динамики вязкостной характеристики полупродуктов КПСМ установлена

необходимость изотермической термообработки для исследуемых составов в диапазоне температур 135—170 °С, а также определена эффективная температура термообработки КПСМ — в интервале 225—245 °С в зависимости от рецептурного состава КПСМ, что в свою очередь подтверждается методом дифференциального термического анализа.

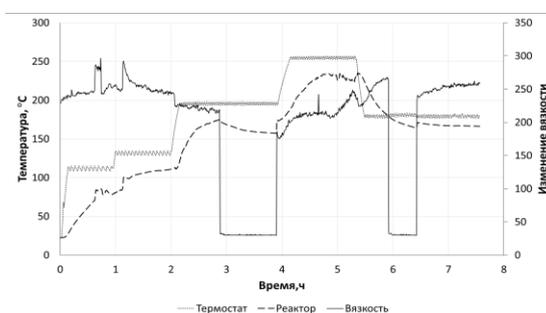


Рис. 1. Технологическая диаграмма процесса приготовления КПСМ

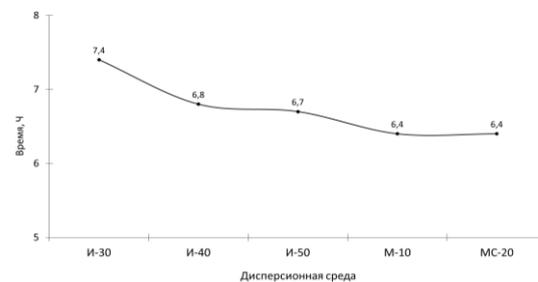


Рис. 2. Зависимость времени приготовления КПСМ от состава дисперсионной среды

Установлено, что с ростом вязкости дисперсионной среды снижается продолжительность технологического процесса (рис. 2), однако при этом следует отметить снижение физико-механических характеристик КПСМ.

Исследования проведены в рамках темы 10 научно-технической программы Союзного государства «Разработка инновационных технологий и техники для производства конкурентоспособных композиционных материалов, матриц и армирующих элементов на 2012—2016 годы».

1. Ишук Ю.Л. Технология пластичных смазок. — Киев: Наукова думка. — 1986
2. Ишук Ю.Л. Состав, структура и свойства пластичных смазок. — Киев: Наукова думка. — 1996
3. Фройштетер Г.Б., Трилийский К.К., Ишук Ю.Л., Ступак П.М. Реологические и теплофизические свойства пластичных смазок / Под ред. Г.В. Виноградова. — М.: Химия. — 1980

**КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО
КРАХМАЛА И СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ**А.А. Бойко¹, Е.Н. Подденежный¹, Н.Е. Дробышевская¹,
В.М. Шаповалов², К.В. Овчинников²¹Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Гомель, Беларусь; boiko@gstu.by²Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

Термопластичный крахмал (ТПК) — является одним из перспективных источников получения биоразлагаемых материалов [1]. Крахмал не является истинным термопластом, но в присутствии пластификатора (вода, глицерин, сорбитол и т.д.), при высокой температуре (90—180 °С) и сдвиге он плавится и разжижается, позволяя его использовать на литьевом, экструзионном и раздувном оборудовании, применяемом для синтетических пластмасс. К сожалению, ТПК имеет несколько недостатков, например, сильный гидрофильный характер, ухудшенные механические свойства по сравнению с обычными пластиками и значимые изменения его свойств после переработки [2]. Поэтому чаще всего биоразлагаемые материалы формируются на основе смесей ТПК и различных видов синтетических полимеров [3].

Когда ТПК находится в смеси с гидрофобным синтетическим полимером, последний защищает композиционный пластик от прямого контакта с водой или парами воды. Процесс формирования композита ТПК-полимер складывается из нескольких этапов: 1 — формирование аморфного ТПК из кристаллического нативного крахмала с использованием пластификатора; 2 — смешивание ТПК с компатибилизатором, лубрикантом, полимером, наполнителем и красителем; 3 — термообработка смеси, совмещенная с механическими усилиями, прикладываемыми к смеси ингредиентов.

Чаще всего, эти 3 этапа проводят в 2х шнековом экструдере с несколькими загрузочными воронками и удалением избыточной влаги вакуумным испарением на промежуточном этапе при использовании воды или водных смесей или суспензий пла-

стификаторов [4]. Нами предложен вариант получения композиционного биоразлагаемого материала путем совмещения нескольких этапов его формирования и приготовления порошкообразной смеси ингредиентов, содержащей высушенный нативный кукурузный крахмал, пластификатор, компатибилизатор и смесь синтетических полимеров. Нативный кукурузный крахмал сушат в термощкафу при 60 °С в течение 8 час., загружают в миксер, далее вводят пластификатор и перемешивают в течение 5 мин. Далее туда же добавляют навеску малеинового ангидрида и смесь полипропилена с полиэтиленом ПЭВД (9:1), и перемешивают еще в течение 5 мин. Полученную смесь загружают в воронку двухшнекового экструдера марки TSK-35/40 (PRC) с цилиндрическим отверстием D = 5мм, получают гранулированный материал. Далее из гранул на экструдере со целевой головкой вытягивают ленту шириной 50 мм и толщиной 0,5 мм. Предел прочности на растяжение полученного таким образом композиционного гидрофобного материала ленты составляет 19,0 МПа, а относительное удлинение — 250%.

1. Averous L. Biodegradable Multiphase Systems based on Plasticized Starch: a review // *Journal of Macromolecular Science-Polymer Reviews*. — 2004, C44, 231—274
2. Chapleau N, Huneault MA, Li H B. Biaxial Orientation of Polylactide/Thermoplastic Starch Blends. *International Polymer Processing*. 5: Jun. 7, 2012. — 2012, 402—409
3. Rodriguez-Gonzalez F.J., Ramsay B.A., and Favis B.D. High Performance LDPE/Thermoplastic Starch Blends: a Sustainable Alternative to Pure Polyethylene e // *Polymer*. — 2003 (44), 1517—1526
4. Schwach E, Averous L. Starch-Based Biodegradable Blends: Morphology and Interface Properties // *Polymer International*, — 2004 (53), 2115—2124

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА КОМПОЗИЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПА 6 И ПОЛИДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ СТРУКТУРИРОВАННОГО УГЛЕРОДА МЕТОДОМ СОВМЕЩЕННЫХ КОНТУРНЫХ КРИВЫХ

А.М. Валенков

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

Разработка высокоэффективных механизмов авиа- и машиностроительного назначения во многом зависит от долговечности и работоспособности различного рода триботехнических систем, при этом повышение износостойкости, а так же возможность проведения мероприятий по восстановлению рабочих поверхностей деталей фрикционного контакта, является актуальной задачей современного трибологического материала.

Одним из способов повышения триботехнических характеристик сопрягающихся поверхностей является формирование на них защитных антифрикционных покрытий на основе алифатических полиамидов в частности ПА 6 [1] и различных дисперсных наполнителей. В результате проведение оптимизации составов таких композиционных покрытий является актуальной задачей при их разработке.

Целью работы явилось проведение оптимизации состава композиционного покрытия на основе дисперсных порошков ПА 6 и частиц структурированного углерода.

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]. Данные частицы наполнителя модифицировали плазмохимическим способом, а также металлизацией их поверхности. Содержание частиц наполнителя варьировали в интервале 0...1 мас.%. В качестве полимерной матрицы применяли порошкообразный полиамид-6 с размером частиц не более 200 мкм, полученный криогенным измельчением гранулированного продукта ОСТ 6-06-09-83. Композиции готовили путем сухого смешения навесок исходных компонентов в шаровой мельнице ВЛМ-2 с применением керамических и стальных шаров диаметром 20—50 мм. Оптимизацию состава композиции на основе ПА 6 и полидисперсных частиц структурированного углерода осуществляли методом контурных кривых [3—4] по следующим критериям: модуль упругости при растяжении (E_p), разрушающее напряжение при растя-

жении (σ_p) и коэффициента трения (f).

Образцами для испытания на механические характеристики служили лопатки (длинной 50 мм, шириной 15 мм с шириной рабочей части 5 мм, толщиной 1 мм) из композиционной пленки, полученные с помощью вырубного штампа. Композиционную пленку получали вибровихревым способом на алюминиевой подложке предварительно обработанную полиметилсилоксановым маслом. После формирования покрытия, полученное покрытие отслаивали. Определение коэффициента трения проводили на возвратно-поступательном микротрибометре МТУ-2К7 (ИММС НАН Беларуси) без смазки при нагрузке 250, 500, 750 мН. В качестве контртела использовали шарик из стали ШХ15 ($R_a = 0,1$ мкм). Использовали образцы в виде стальных дисков диаметром 30 мм с нанесенным полимерным покрытием толщиной 500 мкм.

Результаты и их обсуждение

Анализ контурных кривых показывает, что максимальными значениями механических свойств (E_p 3200 МПа, σ_p 83 МПа) и более низким коэффициентом трения (f 0,07) обладает образец композиционного материала имеющий состав: 99,6 мас.% ПА 6 и 0,4 мас.% полидисперсных частиц структурированного углерода с плазмохимически модифицированной поверхностью, а наибольшей износостойкостью, образец с составом: 99,6 мас.% ПА 6 и 0,4 мас.% полидисперсных частиц структурированного углерода металлизированных никелем.

1. Shapovalov V.M., Valenkov A.M., and Buyakov I.F. Effect of Ultradispersed Particles of Structured Carbon on Deformation and Characteristics and Tribological behavior of Polyamide Coating // Journal Friction and Wear. — 2011 (32), № 6, 467—471
2. Способ получения углеродного наноматериала: пат. 10010 Респ. Беларусь, МПК 2006 D 01F 9/12, C01B 31/00, B82B 3/00 // Афіцыйны бюл. — 2006 / Нац. Цэнтр інтэлектуал. Уласн., 2006. / С.А. Жданок, А.П. Солнцев, А.В. Крауклис, И.Ф. Буяков
3. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента химической технологии: Учеб. пособие для хим.-технол. вузов. — М.: Высш. шк. — 1985
4. Планирование эксперимента и применение вычислительной техники в процессе синтеза резины / под ред. В.Ф. Евстратова, А.Г. Шварца. — М.: Химия. — 1970

О ВЛИЯНИИ ПРИМЕСНЫХ ИОНОВ НА СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ МЕТОДОМ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ

А.М. Валенков¹, С.В. Пискунов², И.И. Злотников²

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

²Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Гомель, Беларусь;
7367606@gmail.com

В последнее время микроплазменное анодирование или микродуговое оксидирование (МДО) широко применяется для получения на алюминии и его сплавах оксидно-керамических покрытий различного функционального назначения. Регулируя составы электролита и токовые режимы проведения оксидирования можно направленно управлять адгезионными, триботехническими, механическими, диэлектрическими и другими свойствами покрытий [1, 2].

В настоящей работе исследованы особенности процессов МДО алюминиевых сплавов, силикатно-щелочных электролитах содержащих ионы поливалентных металлов, а также их влияние на кристаллическую структуру и свойства получаемых покрытий. Кроме того, проведены исследования по поиску путей снижения энергозатратности процесса МДО.

Установлено, что введение в состав базового силикатно-щелочного электролита (жидкое стекло 30 г/л, гидроксид калия 2 г/л) ионов поливалентных металлов (Cu, Ni, Fe, Cr и некоторых других) не оказывает принципиального влияния на характер протекания процессов МДО, лишь несколько снижается напряжение, что связано с увеличением проводимости электролита. Покрытия, формируемые в таких электролитах, имеют характерную окраску, связанную с внедрением соответствующих примесных ионов в кристаллическую структуру Al_2O_3 .

Свойства некоторых покрытий, сформированных при оптимальном режиме на алюминиево-магниево-сплаве, приведены в табл. 1.

Как следует из приведенных данных, легирование покрытия ионами переходных металлов приводит к значительному повышению адгезии покрытий к полимерным субстратам, что позволяет успешно использовать МДО для повышения адгезии полимеров к алюминию и его сплавам. А увеличение износостойкости открывает пути использования деталей из алюминиевых сплавов в узлах трения.

Было установлено, что повышение концентрации базового электролита в 3 раза не повлияло на

потребление электроэнергии, но уменьшило конечное напряжение процесса, толщина покрытий при этом увеличилась на 30—38%. Увеличение плотности тока в 2 раза коррелирует с увеличением энергозатрат. Повышение времени проведения МДО с 5 минут до 20 приводит к увеличению потребляемой энергии примерно в 4,3 раза, а с 20 до 40 минут — в 2,1 раз. Использование переменного или выпрямленного тока при одной и той же плотности тока существенно не влияет на энергозатраты, однако использование переменного тока позволяет получать покрытия на 20—25% толще, чем при использовании выпрямленного тока.

Установлено, что легирование оксидно-керамических покрытий, получаемых методом МДО на поверхности алюминия ионами поливалентных металлов позволяет направленно управлять топографией и физическими свойствами поверхности, что расширяет области применения алюминиевых сплавов.

Разработанная технология получения модифицированных покрытий была успешно апробирована при нанесении износостойких покрытий на детали расходомеров и запорной арматуры.

Таблица 1. Свойства модифицированных покрытий

Характеристика	Модификатор электролита				
	нет	CuSO ₄	NiSO ₄	FeSO ₄	K ₂ Cr ₂ O ₇
Толщина, мкм	65	70	70	60	65
Микротвердость, ГПа	16,0	18,0	18,0	15,5	16,0
Шероховатость Ra, мкм	0,25	0,25	0,25	0,24	0,23
Адгезия к ПА 6, кН/м	1,42	1,88	1,84	1,55	1,98
Абразивный износ, мг/см ² ·мин	8,1	7,0	7,4	7,2	8,2

- Белеванцев В.И., Терлеева О.П., Марков Г.А. Микроплазменные электрохимические процессы. Обзор // Защита металлов. — 1998 (34), № 5, 469—484
- Атрощенко Э.С., Казанцев И.А., Розен А.Е., Голованова Н.В. Области применения и свойства покрытий, получаемых микродуговым оксидированием // Физика и химия обработки материалов. — 1996, № 3, 8—11

ВЛИЯНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ МЕДНЫХ ПОКРЫТИЙ

Н.Г. Валько, Е.А. Федорович

Гродненский государственный университет им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь; N.Valko@grsu.by

Введение

Химические способы нанесения покрытий широко применяются в промышленности. Одной из основных особенностей этого способа является то, что он позволяет получать равномерные покрытия на деталях сложной конфигурации [1].

В настоящее время интенсивно разрабатываются новые методики электрохимической защиты стальных изделий с использованием внешних воздействий. Актуальным является вопрос об использовании рентгеновского излучения в процессе химического осаждения, так как при облучении электролита происходит его радиолиз. Возникновение продуктов радиолиза [2] в облучаемом электролите является причиной изменения процесса первичной кристаллизации и соответствующего изменения фазового и элементного составов осажденных слоев, а также их механических свойств [3, 4].

Цель

Целью работы являлось исследование влияния рентгеновского излучения на электрохимическое осаждение меди на сталь 08кп.

Материалы и методы исследований

Химическое нанесение покрытий производилось на сталь 08кп в течение 45 мин., из электролита следующего состава: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ — 2,5 г/л, H_2SO_4 — 10 г/л. Осаждение образцов производилось в поле рентгеновского излучения, которое генерировалось рентгеновской трубкой с напряжением на ней 55 кВ и током 15 мА.

Исследовался массовый прирост в единицу времени и толщина покрытий с помощью магнитного толщиномера МТЦ-3.

Результаты и их обсуждение

При измерении толщины медных покрытий, полученных методом химического осаждения, было обнаружено, что толщина облучаемых покрытий в среднем на 10% меньше, чем у контрольных, не облучаемых в процессе металлизации, образцов. Масса, осаждаемой меди под излучением, напротив, в среднем на 12% выше, чем без излучения, что указывает на повышенную компактность и плотность покрытий. Обнаружено, что плотность покрытий,

осажденных в поле рентгеновского излучения, составляет 8900 кг, а у контрольных образцов 8100. Увеличение плотности медных слоев, полученных в поле рентгеновского излучения, обусловлено увеличением скорости осаждения вещества на подложке и формированием мелкокристаллического осадка. Рост массового прироста под облучением, в свою очередь, является результатом увеличения диффузии вследствие уменьшения толщины диффузионного слоя, вызванного интенсивным перемешиванием электролита активными и подвижными продуктами радиолиза [5]. Интенсивное перемешивание электролита радикальными частицами должно способствовать также осаждению беспористых покрытий. Обнаружено, что в поле рентгеновского излучения формируются покрытия с меньшим числом пор. Так среднее число пор у покрытий, химически осажденных под излучением составляет 6 п/см², а у контрольных образцов 8 п/см².

Таким образом, указанные экспериментальные факты позволяют заключить, что действие рентгеновского излучения на химическое осаждение меди из кислого раствора оказывает положительный эффект. В поле рентгеновского излучения скорость осаждения меди на сталь выше, чем без излучения. При воздействии рентгеновского излучения на электролит в процессе формирования происходит осаждение мелкокристаллических покрытий, с повышенной плотностью и с меньшим числом пор в сравнении с контрольными, необлучаемыми в процессе меднения покрытиями.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь.

1. Вансовская К. Металлические покрытия, нанесенные химическим способом. — Л.: Машиностроение. — 1985
2. Никандрова Л. Химические способы получения металлических покрытий. — Л.: Машиностроение. — 1971
3. Пикаев А.К., Шилов В.П., Гоголев А.В. Радиационная химия водных растворов актинидов // Успехи химии. — 1997 (9), № 66, 845—873
4. Ершов Б.Г. Атомы, ионы в необычных состояниях окисления и малые кластеры металлов в водных растворах // Ж. неорганической химии. — 2002 (47), № 4, 644—653
5. Белко А.В., Валько Н.Г. Исследование влияния рентгеновского излучения на электроосаждение никеля с наночастицами SiO_2 методом полного факторного эксперимента // Проблемы физики, математики и техники. — 2014 (18), № 1, 12—15

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ НА АДГЕЗИОННЫЕ СВОЙСТВА К МЕТАЛЛУ

Н.С. Винидиктова¹, Е.Ф. Кудина¹, О.А. Ермолович²

¹Институт механики металлополимерных систем им В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь; kudina_mpri@tut.by

²Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

Покрытия на основе эпоксидных и фенольных связующих обладают высокими эксплуатационными характеристиками, что обеспечивает их широкое применение для получения высококачественных защитных покрытий металлических поверхностей. Каждый из указанных типов полимеров имеет свои преимущества и недостатки. Эпоксидные смолы обладают малой усадкой при отверждении, высокой химической стойкостью, твердостью, прочностью, адгезией к полярным поверхностям, высокими диэлектрическими характеристиками, но уступают фенольным по стойкости к истиранию, адгезионной прочности и термостойкости. Однако, обладая широким рядом преимуществ, материалы, формируемые на их основе, обладают хрупкостью и склонностью к растрескиванию. В связи с ростом требований к эксплуатационным характеристикам покрытий проблема увеличения адгезии для данных видов материалов остается актуальной. Перспективными компонентами для улучшения физико-механических свойств покрытий на основе эпоксидных связующих являются сложный эфир ортокремниевой кислоты и этилового спирта — тетраэтоксисилан (ТЭОС). Снижение хрупкости покрытий может быть достигнуто введением различных видов каучуков.

Для повышения эксплуатационных характеристик покрытий интерес представляет получение связующего, в котором интегрированы положительные свойства нескольких компонентов.

Целью данной работы являлось проведение модифицирования эпоксидной смолы с получением комбинированных связующих и оценка влияния физико-химического модифицирования на адгезионные свойства к стальным поверхностям.

Объектами экспериментальных исследований являлись: эпоксидно-диановая смола ЭД-20 (ЭС), тетраэтоксисилан (ТЭОС) и каучуко-фенольный компонент (КФК), представляющий собой раствор каучука и модифицированной фенольной смолы в органическом растворителе. Комбинированные связующие получали при совмещении растворов ЭС/ТЭОС и ЭС/КФК в различных концентрационных соотношениях. Для отверждения эпоксидно-диановой смолы в комбинированное связующее вводили полиэтиленполиамин. В качестве металлической подложки применяли стальные пластины марки Ст3, которые предварительно очищали и обезжиривали. Покрытие получали при стандартных условиях с последующей термообработкой при температуре 195 °С в течение 2 ч.

Адгезионную прочность определяли методом решетчатых надрезов (ГОСТ 15140). Изучение процессов физико-химического взаимодействия компонентов смеси при формировании покрытия проводили методом ИК-спектроскопии (ИК-Фурье спектрометр NICOLET 5700).

Установлено, что получение комбинированного связующего ЭС/ТЭОС позволяет улучшать смачивание поверхности металлической пластины и формировать более ровное покрытие, чем на основе исходной ЭД-20. Установлены оптимальные концентрационные соотношения компонентов, обеспечивающие получение наиболее качественного покрытия с однородной структурой. Однако введение ТЭОС в эпоксидную смолу не приводит к увеличению адгезионной прочности получаемого покрытия.

Исследованы технологические приемы получения агрегативно устойчивых растворов комбинированного связующего при совмещении ЭС и КФК. Получена серия покрытий на основе связующего ЭС/КФК. Исследовано влияние соотношения эпоксидной и фенольной составляющих связующего на адгезионную прочность формируемого покрытия к стальной поверхности. Установлено, что введение в композицию КФК в количестве 50-70% обеспечивает получение качественного равномерного покрытия с высокой адгезией к стали. Показано, что введение КФК в эпоксидную смолу приводит к снижению жесткости и повышению эластичности формируемого покрытия по сравнению с покрытиями, получаемыми на основе исходных ЭД-20 или КФК. Наиболее высокие свойства покрытия (укривистость, гомогенность покрытия, адгезия к металлу, повышению эластичности) обеспечиваются при соотношении эпоксидного и фенольного составляющих в связующем 1/1.

Изучено влияние концентрации отвердителя на адгезию композиционных полимерных покрытий. Экспериментально установлены наиболее эффективные технологические приемы, обеспечивающие улучшение качества покрытия при повышении его адгезионной прочности.

Методами ИК-спектроскопии показано, что повышение прочности получаемого покрытия связано с физико-химическим взаимодействием компонентов, обеспечивающим формирование химически связанных взаимопроницающих полимерных матриц.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (код проекта Т15-102).

НАУКОЕМКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ КОМПОЗИТОВ

С.В. Выдумчик, О.О. Гавриленко, М.А. Ксенофонтов, Т.Г. Павлюкевич

НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ, Минск, Беларусь; lab_dozator@mail.ru

В работе представлено высокотехнологичное современное оборудование для смешения и подачи дозированного количества герметика или компаунда с последующим автоматическим распределением по запрограммированной траектории при производстве суперконденсаторов электрических и гибридных электромобилей, а также для герметизации электротехнических комплектующих.

Автоматизированные машины применяются для герметизации и компаундирования электротехнических изделий, блоков питания, драйверов, дросселей, трансформаторов, плат и других промышленных электронных устройств эластичными, жесткими, наполненными и ненаполненными уретановыми, силиконовыми, эпоксидными компаундами.

Новизна разработки заключается в том, что процесс подачи и нанесения герметика осуществляется роботизированной установкой, имеющей высокую точность дозирования, смешения и подачи компонентов. Оборудование оснащено специальным программным обеспечением и скоростной, динамичной, высокоточной, надежной системой координатного перемещения по заданному контуру.

Представленное оборудование является универсальным и обеспечивает необходимую точность позиционирования, обладает высокой производительностью, работает как по программируемым командам, так и по заранее подготовленным шаблонам с различными герметизирующими составами. Другими преимуществами оборудования являются: высокая скорость нанесения; простой и интуитивно понятный интерфейс управления; надежная и практичная система заправки компонентов.

В основу работы оборудования положен принцип подачи дозированного количества герметика (высоковязкого либо низковязкого) в распределительный клапан с последующим автоматическим распределением герметика по запрограммированному контуру.

Оборудование основано на современных конструкторских, инженерных и технических решениях и позволяет производить различные изделия для электронной, машиностроительной и других отраслей.

Автоматизированные машины для дозации, смешения и нанесения герметиков и компаундов при производстве электротехнических изделий состоят из двух основных агрегатов: смесительно-дозировочной установки и механизма координатного перемещения (рис. 1).

Оборудование состоит из следующих функци-

ональных узлов: расходные емкости для низковязкого и высоковязкого герметика; дозаторы для высоковязкого и низковязкого герметика; распределительный клапан подачи герметика; комплект пневмооборудования; рама для стационарного крепления узлов дозирующей установки; ПЭВМ для установки специализированного программного обеспечения и создания графических файлов траекторий нанесения герметика; электрооборудование для обеспечения питания электропотребляющих элементов комплекса и управления всеми исполнительными механизмами; пульт управления.

Механизм координатного перемещения предназначен для крепления распределительного клапана и перемещения его по запрограммированной траектории в трех координатах. Данное оборудование обеспечивает функцию нанесения герметика на несколько различных или одинаковых деталей, расположенных на рабочем столе.

Научное оборудование разработано и изготовлено с учетом самых передовых технологий в области дозации и имеет ряд преимуществ: компьютерное управление, точная и надежная система подачи, смешивания и нанесения клеящего состава, быстрая интеграция в производственную линию.

Данное оборудование является собственной разработкой, проектируется и изготавливается в соответствии с индивидуальной спецификой каждого производства. Благодаря этому все вопросы, связанные с его функционированием, можно решать без обращения в сторонние сервисные центры. Возможна поставка любых необходимых комплектующих и расходных материалов.



Рис. 1. Комплекс оборудования для нанесения уплотнительных герметиков по заданному контуру

ИССЛЕДОВАНИЕ УСАДКИ И КОРОБЛЕНИЯ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИХ ПЕРЕРАБОТКЕ ПО ЭКСТРУЗИОННО-ПРЕССОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

С.А. Герасименко

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

Качество полимерных деталей изготовленных по ЭПТ зависит от материала, конструкции пресс-формы и режимов переработки материалов. Коробление и усадка являются наиболее распространенными дефектами пластмассовых деталей с точки зрения качества. Значительное различие в величинах коэффициентов линейного термического расширения материала формы и изделия приводит к существенным объемным изменениям. Образование твердой наружной оболочки раньше, чем полностью затвердеет вся масса по сечению изделия, в свою очередь, препятствует тому, чтобы изменения объема протекали свободно, без затруднений. Сжимающие напряжения у поверхности вызывают коробление изделия. Из-за различной степени ориентации после охлаждения детали в полимере возникают остаточные напряжения, вызывающие коробление стенок.

Ребра жесткости позволяют уменьшить сечение отдельных элементов в местах сопряжения стенок различного сечения, а также способствуют предотвращению коробления. При повышении жесткости изделия за счет увеличения основной толщины, введения ребер, использования материала с большим модулем упругости, коробление уменьшается. Усадка и коробление термопластичных материалов в значительной степени зависят также от технологии их переработки, состава и уровня значений технологических факторов. К настоящему времени важнейшие закономерности изменения усадки и коробления изучены применительно к переработке термопластичных материалов литьем под давлением [1]. Для относительно нового метода получения крупногабаритных изделий, основанного на совмещении процессов экструзии и прессования термопластов (экструзионно-прессовой технологии, ЭПТ) [2—4], данные об усадке и короблении крайне ограничены.

Цель данной работы — изучить влияние состава термопластичных материалов, включая смесевые и наполненные композиты, на их усадку и коробление при формовании по 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, и получения образцов для

определения показателей механических свойств (рис. 1).

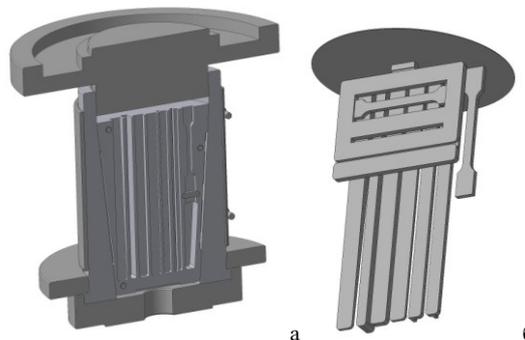


Рис. 1. Пресс-форма для получения образцов по ЭПТ (а) и экспериментальные образцы (б)

При получении образцов изменяли состав материала, уровень тепловых и силовых воздействий на расплав.

Установлено отсутствие линейной зависимости между длиной затекания 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.

Механическими свойствами, усадкой и короблением изделий можно управлять в широких пределах, варьируя состав ПМ. Введение в материалы различных наполнителей, стекловолокна, малых количеств низкомолекулярных веществ, химических вспенивающих агентов, способствующих образованию в изделиях закрытых пор, оказывает существенное влияние на механизм течения полимерного расплава в узких каналах технологической оснастки, уровень значений усадки и коробления.

1. Фишер Дж. М. Усадка и коробление отливок из термопласта. — СПб.: Профессия. — 2009
2. Герасименко С.А., Песецкий С.С. Влияние реологических свойств расплава полиэтилена на его формуемость при экструзионно-прессовой переработке // *Материалы. Технологии. Инструмент.* — 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. Инструмент.* — 2010 (15), № 1, 89—95
4. Герасименко С.А., Песецкий С.С. О формуемости смесей ПП/ПЭ при экструзионно-прессовой переработке // *Материалы. Технологии. Инструмент.* — 2011 (16), № 3, 71—79

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОЛУЧЕНИЯ АМИЛОПЕКТИНА ДЛЯ АДГЕЗИВОВ ПОСТОЯННОЙ ЛИПКОСТИ

В.А. Гольдаде^{1,2}, Е.А. Цветкова², Т.В. Арастович², О.А. Ермолович³

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

²Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь, tsvetkova@tut.by

³Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

Введение

Одной из важных задач пищевой, фармацевтической и медицинской промышленности является обеспечение населения продукцией высокого качества, полученной по безотходным, экономичным и экологически чистым технологиям. Свойства гидроколлоидов, полученных из природного сырья, позволяют эффективно использовать их в качестве основы в производстве изделий медицинской техники. Амилопектин относят к наиболее перспективным гидроколлоидам полисахаридной природы, однако получение его — сложный многостадийный технологический процесс.

Цель — разработка нового экономичного способа получения амилопектина из растительного сырья для использования в медицинских адгезивах (клеях) постоянной липкости.

Материалы и методы исследований

Экспериментальные образцы амилопектина получали из картофельного крахмала, суспендированного в обогащенной молочной антисептической сыворотке дрожжами штамма *Saccharomyces acedum lactis-1*, при температуре от 28 до 32 °С в термостате в течение 72 часов до образования гомогенной биомассы с рН равной 4,5—5,0. Штамм дрожжей *Saccharomyces acedum lactis* выделен из корня хрена *Armoracia*. Исползованная культура отличается высокой ферментативной активностью и обладает антибиотической активностью по отношению к грамположительным бактериям и грибам.

Результаты и их обсуждение

Для достижения цели использовали ферментативную биотехнологию, позволяющую снизить температуру обработки сырья и ускорить процесс разделения крахмала на амилозу и амилопектин.

Для получения амилопектина использовали три вида суспензий крахмала: водную, нативной молочной сыворотки и антисептической молочной сыворотки (рН ~ 5). После смешения исходных компонентов суспензии подвергали термической обработке при разных технологических режимах: давлении, температуре и времени выдержки. Затем, после охлаждения композиций, отделяли нерастворенную фракцию. Анализ показал, что из трех видов суспензий крахмала лишь продукт суспензии на антисептической молочной сыворотке дал красно-фиолетовое окрашивание в реакции на йод [1], и кроме того, он нерастворим в холодной воде. Полу-

ченные результаты можно объяснить тем, что при обработке крахмала сывороткой, полученной с использованием дрожжей *Saccharomyces acedum lactis*, происходит процесс частичного ферментативного гидролиза крахмала.

Исследуемые композиции подвергали автоклавированию, охлаждению и отделению растворенной фракции. Установлено, что оптимальное содержание крахмала в композициях составляет 6 мас.%. При большем содержании крахмала в исходной композиции наблюдался его избыток в конечном продукте. Экспериментально установлено, что при варьировании температуры и давления в автоклаве, а также времени предварительной выдержки композиции можно получать вещества с различными свойствами — от патоки (обладающей высокой липкостью в течение длительного времени хранения и эксплуатации) до кристаллоподобных структур (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид образцов экспериментальной партии. Размеры кристаллов ~ 2—7 мм

Анализ фрагментов ИК спектров исследуемых образцов показал достаточно хорошее совпадение характеристических полос поглощения с фрагментами стандартного ИК спектра амилопектина, что свидетельствует о возможности отнесения исследуемых образцов к полисахаридам [2].

Заключение

Предложена простая, экономически выгодная и экологически безопасная биотехнология получения амилопектина из картофельного крахмала с использованием антисептической молочной сыворотки. При варьировании технологических режимов возможно получение материалов с различной степенью гелеобразования, желирования или липкости в зависимости от целей и задач конкретного потребителя.

1. Гулюк Н.Г., Жушман А.И. Крахмал и крахмалопродукты. — Москва: Агропромиздат. — 1985
2. Анализ инфракрасных спектров крахмала [Электронный ресурс] // Крахмал. — URL: http://www.nprb.ru/uslugi_IR.html. — Дата доступа: 09.12.2013.

КРЕЙЗИНГ ПОЛИЭФИРНЫХ ВОЛОКОН ПРИ КОРОНОЭЛЕКТРИЗАЦИИС.В. Зотов¹, В.А. Гольдаде¹, К.В. Овчинников¹, М.А. Курбанов², А.А. Байрамов²,
А.Ф. Нуралиев², Н.В. Кузьменкова³¹Институт механики металлополимерных систем им В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь;
mpri@mail.ru²Институт физики НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан³Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации, Гомель, Беларусь**Цель**

Крейзинг полиэфирных волокон — явление, неизменно сопровождающее их ориентационную вытяжку. К настоящему времени исследованы основные закономерности и стадии крейзообразования [1], хотя сохраняется актуальность изучения возможностей модифицирования волокон по механизму крейзинга [2]. Цель настоящей работы — оценить физические изменения, происходящие в полиэфирных волокнах при вытяжке в различных средах в условиях комплексного модифицирующего воздействия, включая коронозлектризацию.

Материалы и методы исследований

Исследуемые образцы — пучки полиэтиленрефталатных (ПЭТ) волокон номинальной линейной плотностью 0,33—1,7 текс производства ОАО «СветлогорскХимволокно» с толщиной пучка ~ 270 мкм, длиной не менее 10 см и массой растягиваемого участка 0,10—0,15 г. Образцы подвергали одноосному растяжению с постоянной скоростью 30 мм/мин в сухом виде и в присутствии модифицирующих жидкостей: изопропанол; глицерин; водно-спиртовой раствор антимикробного препарата триклозана. На растягиваемый участок волокон воздействовали электрическим полем коронного разряда отрицательной полярности (напряженность 15 кВ/см, одиночный игольчатый электрод). Волокна исследовали методами оптической микроскопии, определяя визуальные изменения морфологии волокна, и термоактивационной токовой спектроскопии, измеряя термостимулированные токи (ТСТ) в диапазоне значений 10^{-13} — 10^{-10} А, протекающие в образцах волокон при линейном нагреве со скоростью 2 °С/мин.

Результаты и их обсуждение

Вытяжка волокон во всех случаях сопровождается существенным изменением внешнего вида волокна (рис. 1) — последнее приобретает гантелеобразную форму, иллюстрирующую чередование зон локализации высокоориентированного состояния. Образование специфических шеек и утолщений является конечным результатом процесса крейзинга, поэтому ввод модифицирующих агентов и внешнее электрофизическое воздействие целесообразно осуществлять на начальной стадии крейзообразования,

когда на поверхности волокна происходит интенсивная фибриллизация.



Рис. 1. Микрофотоснимок крейзованных ПЭТ волокон

По спектрам ТСТ ПЭТ волокон, подвергнутых комплексному модифицирующему воздействию, установлено изменение картины электретного состояния. Вытяжка на воздухе под действием коронного разряда ведет к сдвигу характеристического пика ТСТ в низкотемпературную область и изменению его интенсивности. Вытяжка в присутствии изопропанола позволяет добиться крейзинга волокон по классическому механизму, что содействует формированию глубоких структурных ловушек, аккумулирующих электретный заряд, привнесенный при коронозлектризации. Вытяжка в присутствии глицерина или водно-спиртового раствора триклозана сопровождается более слабыми поляризационными эффектами. Очевидно, последовательное образование и коллапс крейзов создают специфические условия для перераспределения электретного заряда в поверхностных слоях волокна. Коронозлектризация способствует взаимодействию внешних носителей заряда с собственным зарядом в ПЭТ волокне, вследствие чего на каждой стадии крейзинга идут конкурирующие процессы поляризации-деполяризации, дополнительную специфику в которые привносит присутствие поверхностно-активных модифицирующих агентов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского Фонда фундаментальных исследований (совместный белорусско-азербайджанский проект Т13А3-028).

1. Вольнский А. Ф., Бакеев Н. Ф. Структурная самоорганизация аморфных полимеров. — М.: Физматлит. — 2005
2. Пинчук Л. С., Гольдаде В. А. Крейзинг в технологии полиэфирных волокон. — Минск: Беларуская навука. — 2014

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИСТОВЫХ АРМИРОВАННЫХ СТЕКЛОТКАНЬЮ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИМЕРОВ

О.И. Карпович, А.Л. Наркевич, А.В. Дубина

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь; narkevichan@rambler.ru

Листовые полимерные материалы, армированные стеклянными тканями могут выполнять несущую, защитную и дополнительную теплоизолирующую функцию для пористых теплоизоляционных материалов, а также перерабатываться в другие изделия. Известны аналоги материалов на основе термопластов и тканых наполнителей, например [1], в качестве связующего в которых используют полипропилен, полиамид, поликарбонат, полиуретан и др., а в качестве наполнителя — углеродные, стеклянные и арамидные ткани. Известны волоконная, пленочная и расплавная технологии изготовления материалов на основе термопластов и тканого наполнителя [2]. Для непрерывных процессов получения предварительно пропитанных материалов и (или) изделий на основе тканых наполнителей и термопластичных полимеров крупнотоннажного производства наиболее подходящей является расплавная технология, не требующая специальной подготовки полимерного материала в виде волокон, вплетенных в ткань, и пленок.

Цель работы — разработка теоретических основ расплавного метода совмещения термопластичного полимера и тканого наполнителя для получения листового материала или изделий.

По расплавной технологии непрерывный тканый наполнитель с паковки протягивают через пропиточную головку, в которую подают полимерный расплав из пластикатора, например, червячного экструдера. После выхода из пропиточной головки препрег калибруется и охлаждается. В зависимости от назначения и жесткости препрега материал разрезается на листы или сматывается в рулон

К факторам, определяющим параметры процесса, относятся структура порового пространства наполнителя, вязкость матричного вещества, давление расплава и продолжительность его действия. Условие полной пропитки в пропиточной головке и условие образования достаточной для пропитки полимерной прослойки задавали зависимостью между усилием скоростью протягивания [3]. Необходимые для расчета коэффициент консистенции и показатель степени в законе течения расплава определяли с помощью капиллярного вискозиметра, а эффективный коэффициент проницаемости тканого наполнителя вычисляли с использованием экспериментальных данных, полученных при пропитке диска из стеклоткани расплавом полимера под давлением в замкнутой форме.

Расчеты показали, что параметры процесса

пропитки одного слоя стеклоткани шириной 80 мм ограничиваются только условием пропитки

Экспериментальную проверку процесса пропитки стеклоткани полимерными материалами проводили на универсальной пултрузионной линии на базе экструдера ЧП 32×25 [4]. Получены образцы листовых материалов и макет гофрированной панели на основе полиэтилентерефталата (рис. 1), отформованной непосредственно после выхода препрега из пропиточной головки.

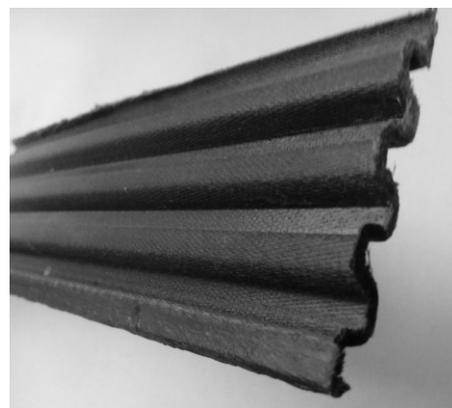


Рис. 4. Макет гофрированной панели

Теоретические основы могут быть использованы при проектировании опытно-промышленного оборудования для получения крупногабаритных заготовок и изделий.

Препреги могут использоваться для получения изделий сложной формы, а также из полученного листового материала можно изготавливать изделия как непосредственно после пропитки на стадии калибрования (одностадийные технологии), так и применяя повторный нагрев (двухстадийные технологии) методами прямого прессования, термоформования и пултрузии.

1. PiPreg Thermoplastic Composites // Porcher Industries [Electronic resource]. — Mode of access: http://www.porcher-ind.com/uploads/files/Selector_Guide_Pipreg2014.pdf — Date of access: 22.03.2015.
2. Ahn, K.J. and Seferis J.C. Prepreg Process Analysis // Polymer Composites. — 1993 (14), no. 8, 349—360
3. Ставров В. П. Формообразование изделий из композиционных материалов. — Минск: БГТУ — 2006
4. Ставров В.П., Зуев А.П., Марков А.В. Универсальная установка для изготовления методом пултрузии колокольных композитов с термопластичной матрицей // Полимерные композиты 98: тезисы докл. межд. конф., Гомель, 29—30 сентября 1998 г. / ИММС НАНБ. — Гомель — 1998, 184

ВЛИЯНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ДОБАВОК НА ПРОЧНОСТНЫЕ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ АЛИФАТИЧЕСКОГО ПОЛИИМИД-6

В.И. Колесников¹, А.И. Буря², Н.А. Мясникова¹, П.Г. Иваночкин¹, С.А. Данильченко¹

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

²Днепродзержинский государственный технический университет, Днепродзержинск, Украина

Введение. Целесообразность использования полимеров в машиностроении в качестве матрицы композитных материалов антифрикционного назначения обусловлена следующими факторами: низким в сравнении с металлами коэффициентом трения; высокой для конструкционных материалов удельной прочностью, способностью воспринимать упругие деформации, препятствующие образованию адгезионного сцепления в зоне трения полимер-металл, стойкостью к действию многих агрессивных по отношению к металлам жидких и газообразных сред. Расширение сферы использования полимеров ведется путем модификации свойств известных типов полимеров. Наиболее доступным и приемлемым видом модификации является создание композиционных материалов, представляющих собой многокомпонентную систему, способную изменить первоначальные свойства полимера.

К числу эффективных методов повышения эксплуатационных характеристик полимерных материалов следует отнести армирование их волокнистыми наполнителями, например углеродными, стеклянными, органическими волокнами. Использование композитов с комплексными (гибридными) наполнителями существенно расширяет возможности создания материалов [1], способных направлено перестраивать структуру и свойства в зависимости от эксплуатационных нагрузок. Введение антифрикционных наноразмерных [2] добавок совместно с жесткими прочными наполнителями в некоторых случаях обеспечивает синергетический эффект, снижающий не только внешнее, но и внутреннее трение.

Материалы и методы исследования. Исходная полимерная матрица — алифатический полиимид-6. Для улучшения физико-механических и трибологических характеристик в матрицу было введено углеродное гидратцеллюлозное волокно (40%) и антифрикционные добавки: термически расширенный графит ТРГ (3%), наноразмерные (40—100 нм) добавки: шпинели железа, марганца (1,5—3,0%), ПТФЭ марки Ф4МБП (5%). Наноразмерные компоненты были получены на лабораторной бисерной мельнице MikroCer, производства фирмы «NETZSCH», предназначенной для тонкого (до 40—50 нм) измельчения и диспергирования твердых веществ. Особенностью механического измельчения является эффект механоактивации, изменения энергетического состояния вещества в процессе измельчения.

Трибологические испытания и исследования сравнительной износостойкости образцов наноком-

позитов проводились по схеме «вал—частичный вкладыш» при различных удельных давлениях и скоростях скольжения в зоне фрикционного взаимодействия. Для проведения испытаний применялся комплекс оборудования для проведения трибологических испытаний, имеющий нагружающее устройство, устройство для измерения силы трения и включенный последовательно с динамометром силовой тензоэлемент для непрерывной записи силы трения при преобразовании её в коэффициент трения на ПК. Частичные вкладыши изготавливались из исследуемых композитов, ролики (контртело) — из Ст 45. В процессе испытания непрерывно фиксировался коэффициент трения. Исследования микротвердости композитов проводились методом наноиндентирования с помощью системы анализа механических свойств материалов NanoTest 600 при максимальной нагрузке от 0,5 до 200 мН, полимерные образцы многократно продавливались алмазным индентором сферической формы.

Результаты и их обсуждение. Результаты испытаний и исследований показали, что введение в полиимидное связующее углеволокна повышает твердость КМ с 0,13 до 0,28 ГПа и значительно (в 6—8 раз) повышает износостойкость композита. Введение антифрикционных нанодобавок практически не влияет на прочностные характеристики, однако, позволяет снизить коэффициент трения от значений 0,35—0,45 до значений 0,18—0,22. Таким образом, применение наноразмерных частиц в качестве наполнителей способствует формированию новых соединений в поверхностном слое, отличающихся повышенной износостойкостью, что особенно характерно для экстремально высоких нагрузок. С ростом дисперсности наполнителя можно минимизировать степень наполнения полимерной матрицы, при которой ее прочность и износостойкость растет без увеличения модуля упругости, жесткости и коэффициента трения.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-29-00116, грант предоставлен Ростовскому государственному университету путей сообщения, г. Ростов-на-Дону, Россия).

1. Кузнецов В. А. Гибридные композиционные материалы на основе химических волокон и нитей с органической матрицей / Итоги науки и техники. ВИНТИ, Химия и технология высокомолекулярных соединений. — 1986, вып. 21, 199—249
2. Охлопкова А.А., Андрианова О.А., Попов С.Н. Модификация полимеров ультрадисперсными наполнителями. — Якутск: ЯФ изд-ва СО РАН. — 2003

СТРУКТУРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ УГЛЕЙ ДЛЯ НАНОТОПЛИВА

К.А. Корзун, А.А. Ковалевский, В.А. Лабунов

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь;
kristin.korzun@gmail.com

Цель

В связи с наметившимися тенденциями подорожания нефти, а также с прогнозируемым исчерпанием ее запасов уже в текущем столетии внимание многих специалистов направлено на изучение возможности замены нефтяных топлив на угольные суспензии. Целью данной исследовательской работы заключается в разработке водоугольных суспензий и замены ими нефтяных топлив для двигателей внутреннего сгорания.

Материалы и методы исследований

На основе выполненных научно-исследовательских работ создана технология производства экологически чистого водоугольного топлива с использованием практически любых сортов угля, которое конкурентоспособно с твердым углем, а также жидким и газообразным топливом. Создание этого топлива основано на использовании малоэнергоемких механо-химических и механических процессов переработки исходных компонентов. Созданное топливо является топливом нового поколения, искусственным видом композиционного топлива из угля и воды с участием пластификаторов. В основе процесса его приготовления лежит механохимическая активация, в ходе которой разрушается структура угля как природной «горной» массы с образованием частиц твердой фазы с активной поверхностью. Исходная вода также претерпевает ряд превращений, в результате чего образуется химически активная дисперсная среда. В процессе производства топливо может быть деминерализовано для снижения зольности до 0,5—1,5% и использоваться вместо мазута и природного газа в качестве моторного топлива.

Результаты и их обсуждение

Установлено, что наномасштаб и гранулометрический состав бурых углей с нанопорошками кремния определяют теплоту сгорания и реологические свойства топлива. Повышение теплоты сгорания топлива обусловлено двумя факторами: развитием экзотермических реакций в процессе горения топлива между наноразмерными частицами углерода и кремния в результате локально самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, разложением воды в процессе горения водоугольного топлива на водород и кислород с участием наноразмерных порошков кремния. Образующийся водород сгорает с выделением значительно большего количества тепла, чем уголь, в результате суммарный тепловой эффект от сгорания топлива увеличивается. Важнейшей особенностью нанокремнийводо-

угольного топлива (НАНОКОВУТ) является возможность производства его со свойствами, задаваемыми потребителем, для конкретных, в том числе действующих агрегатов. Закономерности горения НАНОКОВУТ существенно отличаются от традиционных видов топлива. Дисперсная среда, выполняющая роль промежуточного окислителя, практически на всех основных стадиях его горения активизирует поверхность частиц твердой фазы. Поэтому воспламенение распыленных капель начинается не с воспламенения летучих паров, а с гетерогенной реакции на их поверхности, в том числе с водой и водяным паром. Процесс горения НАНОКОВУТ характерен высокой полнотой выгорания топлива (98—99,7%), малыми избытками воздуха (3—7%). В связи с особенностями процесса горения топливо сгорает без выбросов продуктов монооксида углерода, вторичных углеродов, сажи и канцерогенных веществ. Резко сокращается образование и выбросов твердых частиц микронных фракций (до 80—95%), оксидов серы (до 70—85%) и оксидов азота (до 80—90%).

Описанное новое топливо уже сегодня конкурентоспособно по отношению к потребляемому углю, к жидкому и газообразному топливам. Стоимость НАНОКОВУТ, готового для прямого использования, в расчете на тонну условного топлива, ниже стоимости мазута в 2—4 раза и не превышает 15—20% цены исходного угля на месте его добычи.

Разработанный метод получения КОВУТ позволяет сформировать экологическое эмульсионное водоугольное топливо, имеющее более развитую поверхностную структуру, что обуславливает повышенную (в 1,3—1,5 раза) теплотворную способность, суженный (на 200—300 °С) температурный диапазон воспламенения, повышенную (в 1,2—1,5 раза) седиментационную стабильность и обеспечить структурную вязкость 0,5—0,8 Па·с и использовать его в качестве дизельного топлива.

1. Ковалевский А.А., Строгова А.С., Лабунов В.А., Цыбульский В.В., Шевченко А.А. Структура и фазовый состав системы каменный уголь-кремний, модифицированной механоактивацией // Материалы. Технологии. Инструмент. — 2012 (17), № 1, 65—71
2. Ковалевский А.А., Лабунов В.А., Строгова А.С., Цыбульский В.В., Шевченко А.А. Исследование влияния среды при тонком измельчении на состав углей // Материалы. Технологии. Инструмент. — 2012 (17), № 3, 71—78
3. Ковалевский А.А., Лабунов В.А., Строгова А.С., Цыбульский В.В., Шевченко А.А. Особенности диспергирования бурых углей с добавками наноразмерных порошков кремния // Материалы. Технологии. Инструмент. — 2013 (18), № 1, 46—51

ПОЛИМЕРНЫЕ ФИЛЬТРЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МОЛОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ

А.Г. Кравцов¹, А.В. Зубарева², С.В. Зотов³, К.В. Овчинников³, Н.Е. Савицкий⁴

¹Гомельский филиал НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²Институт механики металлополимерных систем им В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь; mpri@mail.ru

³Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

⁴ООО «Полимер», Гомель, Беларусь

Цель

Основное назначение исследований и разработок в области полимерного материаловедения — их применение для решения важных народнохозяйственных задач. Разработанные в Гомельской области в рамках Региональной научно-технической программы полимерные волокнисто-пористые фильтры зарекомендовали себя в качестве эффективного средства очистки молока от различных загрязнений [1]. Цель настоящей работы — продемонстрировать ряд структурных особенностей разработанных фильтров и показать возможность их применения для повышения радиологической чистоты молочной продукции, производимой в Гомельской области

Материалы и методы исследований

Исследуемые образцы — полимерные волокнисто-пористые фильтроэлементы для очистки молока «Вега» (Россия), «Гера» (Россия) и произведенные ООО «Полимер» (Беларусь). Волокнистую структуру исследовали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Также определяли эффективность очистки молока, в том числе по критерию радиационной чистоты отфильтрованного продукта.

Результаты и их обсуждение

Изделия компании «Вега» позиционируются производителем как нанофильтры для очистки молока с антимикробной добавкой, ионами серебра и индикаторами мастита. Фильтр-картридж состоит из 3 слоев с четкими границами между ними. По данным СЭМ, волокна фильтра ровные, без существенных дефектов, но не одинаковы по диаметру. В объеме волокон имеются темные вкрапления, на поверхности волокон — каверны.

Изделия «Гера» также заявляются как содержащие серебро и проявляющие антибактериальную активность. Фильтр является 2-слойным. По данным СЭМ, волокна имеют снаружи и внутри темные вкрапления. Плотность упаковки волокон мала, упаковка нерегулярна. Основная часть волокон имеет диаметр около 100 мкм, однако присутствуют значительно более тонкие волокна.

Изделия ООО «Полимер», по данным СЭМ, характеризуются стабильным диаметром волокон (около 100 мкм). Волокна расположены упорядо-

ченно и не имеют видимых дефектов, посторонние целевые добавки отсутствуют. Данные эксплуатационных испытаний фильтров (рис. 1) показывают их высокую эффективность: очистка молока от механических примесей — до 98%, от продуктов маститов — до 50%, снижение количества соматических клеток — до 65%, снижение количества микробных клеток — до 50%, содержание жира, белка, лактозы — без изменений. Достигается повышение сортности молока до категории «Экстра» и увеличение срока его хранения.



Рис. 1. Комплект ООО «Полимер» для очистки молока

В условиях складывающейся рыночной конъюнктуры предпочтительным является применение отечественных фильтров, не уступающих зарубежным аналогам, что позволяет повысить конкурентоспособность молочно-товарной отрасли Беларуси с учетом ее специфики. Полимерный фильтр по рис. 1, волокна которого содержат электростатический заряд ($5\text{--}15\text{ нКл/см}^2$), позволяет снизить активность Cs^{137} в отфильтрованном молоке в 1,5—3 раза, а трансураниевых элементов — в 2—10 и более раз [2]. По-видимому, электростатический заряд волокон в условиях одноразового применения фильтроэлемента успевает реализовать электростатический захват частиц загрязнений, в том числе обладающих избыточным электрическим зарядом вследствие ионизирующего излучения содержащихся в них долгоживущих радионуклидов. Очистка с помощью таких фильтров позволяет повысить радиационную безопасность молока.

1. Кравцов А.Г., Зотов С.В., Савицкий Н.Е., Барановский М.В. Тонкая очистка молока отечественными полимерными фильтрами // Наука и инновации. — 2011 (97), № 3, 69—71
2. Зубарева А.В., Кравцов А.Г., Наумов А. Д., Зотов С. В., Король Р.А. Способ очистки молока от долгоживущих радионуклидов / Решение о выдаче патента Респ. Беларусь от 03.02.2015 г. по заявке № а20121692 от 03.12.2012 г.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЮ ПОЛИОЛЕФИНОВ В ПРОЦЕССЕ РЕАКЦИОННОЙ ЭКСТРУЗИИ

Ю.М. Кривогуз

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

Цель

В настоящее время происходит постоянное совершенствование и модернизация экструзионного оборудования, которое может использоваться в качестве химических реакторов непрерывного действия. Важнейшим условием применения экструдеров в качестве реакторов непрерывного действия является наличие в материальном цилиндре одной или нескольких зон дегазации. Наличие зон дегазации обеспечивает удаление побочных продуктов реакции, а также низкомолекулярных соединений, не вступившие в реакцию, что способствует улучшению качества функционализированных полиолефинов (ФПО). Несмотря на то, что зоны дегазации имеются в большинстве моделей современного экструзионного оборудования, систематические исследования по влиянию дегазации на протекание функционализации ПО в ходе реакционной экструзии (РЭ) практически отсутствуют.

Цель данной работы — установление влияния условий дегазации расплава ФПО на выход функционализированных продуктов и свойства смесевых материалов на основе ПА6, получаемых при их использовании.

Материалы и методы исследований

Объектами изучения был линейный полиэтилен низкой плотности (ЛПЭНП) (марка Exceed 1018 НА, производства Exxon Mobile), прививаемый монономер — *транс*-этилен-1,2-дикарбоновая кислота (ТЭДК), квалификация «чч»); пероксидный инициатор — 1,3-бис (трет-бутилпероксиизопропил) бензол. Концентрация ТЭДК во всех экспериментах составляла 1,2 мас.% при содержании пероксидного инициатора 0,3 мас.%.

Прививку ТЭДК к макромолекулам ЛПЭНП осуществляли с использованием экструзионно-грануляционной линии на базе промышленного двухшнекового экструдера STE50 (производства Китая) производительностью ~200 кг/ч. Экструдер STE50 (L/D = 40) оснащен 10-ю зонами обогрева, одна из которых имеет отверстие для вакуумирования, а одна — отверстие для естественного вентилирования. Температура в основных реакционных зонах материального цилиндра экструдера составляла 220 °С.

Функционализацию проводили при следующих условиях:

- 1) без вакуумирования и закрытым отверстием естественной вентиляции;
- 2) без вакуумирования и открытым отверстием естественной вентиляции;

3) с вакуумированием и открытым отверстием естественной вентиляции.

Результаты и их обсуждение

Как следует из анализа экспериментальных данных условия дегазации заметно влияют на свойства функционализированного ЛПЭНП (ФЛПЭНП). Так при работающей зоне вакуумирования и естественной вентиляции рабочего цилиндра экструдера STE50 содержание непривитой ТЭДК в объеме ФЛПЭНП резко снижается и составляет всего около 11,0 мас.%. В то время как без дегазации в объеме ФЛПЭНП доля непрореагировавшей кислоты доходит до 37,0 мас.%.

Кроме этого, условия дегазации влияют также и на реологические свойства ФЛПЭНП. Так осуществление РЭ в отсутствии вентилирования и дегазации приводит к росту ПТР и снижению вязкости расплава ФЛПЭНП. В случае естественной вентиляции и дополнительной дегазации вязкость ФЛПЭНП резко возрастает. В докладе рассмотрены причины наблюдаемых эффектов.

Одной из важных областей применения ФПО является получение при их использовании смесевых материалов с алифатическими полиамидами (ПА). Введением ФПО в ПА обеспечивается возможность получения ударопрочных композитов, управления реологическими и высокоэластическими свойствами расплавов, а также комплексом других технических характеристик. В связи с этим представляло интерес изучить влияние дегазации на свойства подобных композитов.

Главный результат, вытекающий из экспериментальных данных, заключается в том, что дегазация оказывает сильное упрочняющее действие на спаи потоков расплава для смесей ПА6/ЛПЭНП-п-ТЭДК.

Так образцы со спаем из смеси ПА6/ЛПЭНП-п-ТЭДК, полученной без дегазации, разрушаются хрупко. При растяжении они не обнаруживают предела текучести и рвутся по спаю в центральной части лопатки при напряжении 33,5 МПа и относительном удлинении 59,3%. Дегазация изменяет характер деформационного поведения при растяжении образцов со спаем. Разрушающее напряжение для них повышается в 1,4—1,5 раз, а относительное удлинение при разрыве возрастает до 320,0%, приближаясь к таковому на образцах без спаев. Одной из причин столь сильного влияния дегазации является интенсификация межфазного взаимодействия в системе ПА6/ЛПЭНП-п-ТЭДК.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ НА ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЮ ПОЛИОЛЕФИНОВ В РАСПЛАВЕ

Ю.М. Кривогуз, О.А. Макаренко

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

Цель

Основной целью работы является изучение влияния различных типов углеродных наноматериалов (УНМ) на протекание свободнорадикальной прививки транс-этилен-1,2-дикарбоновой кислоты (ТЭДК) к полиолефинам (ПО) в процессе реакционной экструзии (РЭ), анализ структуры и свойств функционализированных ПО (ФПО) и их смесей с полиамидом 6 (ПА6).

Материалы и методы исследований

Объектами исследований служили сополимер пропилена и этилена (с-ПП, марка 8332М, содержание звеньев этилена ≈ 7 мас.%; производство ОАО «Нижекамск Нефтехим», Россия), линейный полиэтилен низкой плотности (ЛПЭНП, марка Exceed 1018 НА, производства Exxon Mobil, США). При получении смесей ПА6/ФПО в качестве базового полимера использовали ПА6 производства ОАО «Гродно Азот».

Для функционализации ПО в качестве прививаемого мономера использовали ТЭДК ($C_4O_4H_4$, квалификации «ч»); свободнорадикальный инициатор – пероксид 1,3-бис (трет-бутилпероксиизопронил) бензол (Perk-14). В качестве УНМ использовали многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ), полученные в Институте тепло- и массообмена (ИТМО) НАН Беларуси, нанотрубки NC700 производства компании Nanosyl (Бельгия), а также технический углерод (ТУ N220). При функционализации ПО концентрация прививаемой ТЭДК в экспериментах была постоянной и составляла 1 мас.%. Содержание Perk-14 при прививке к с-ПП принимали равным 0,12 мас.% и 0,15 мас.% — при прививке к ЛПЭНП. Концентрацию УНМ, вводимых в реакционную смесь, изменяли в диапазоне от 0,01 до 0,3 мас.%.

Для приготовления реакционной смеси вначале УНМ подвергали УЗ-диспергированию в среде ацетона (установка УЗДН-1УЧ.2, Россия, ГОСТ 5.687–70, частота 22 кГц, длительность 15 мин, начальная температура 23°C). Затем в полученной дисперсии растворяли требуемое количество инициатора Perk-14. Далее гранулы ПО обрабатывали этим раствором, тщательно перемешивая их до полного испарения растворителя. После этого их опудривали порошкообразной ТЭДК. Затем осуществляли прививку ТЭДК по технологии РЭ [1].

Результаты и их обсуждение

Из анализа экспериментальных данных следу-

ет, что все используемые в экспериментах УНМ оказывают влияние на прививку ТЭДК к ПО. По мере повышения концентрации УНМ в реакционной смеси значения эффективности прививки (α) снижаются. При этом зависимости α от содержания УНМ имеют немонотонный характер. В диапазоне концентраций от 0,01% до 0,1% УНМ наблюдаются максимальные значения данного показателя. Степень влияния УНМ определяется их концентрацией и типом. Наибольшее влияние на α оказывают МУНТ, полученные в ИТМО НАН Беларуси.

Кроме этого, МУНТ оказывают более сильное воздействие по сравнению с другими УНМ на реологические параметры ПО как в случае функционализации ЛПЭНП, так и с-ПП. При свободнорадикальной прививке ТЭДК к ЛПЭНП и с-ПП добавки МУНТ, вводимые в количестве $\geq 0,1$ мас.%, ингибируют побочные процессы как сшивания, так и деструкции макромолекул ПО, в то время как нанотрубки NC7000 и ТУ N220 ингибируют, главным образом, деструкцию с-ПП. В докладе анализируются причины влияния УНМ на прививку мономера и побочные реакции в ПО при их функционализации в расплаве.

Добавки УНМ оказывают влияние на кристаллическую структуру функционализированных ЛПЭНП и с-ПП. Нуклеирующий эффект УНМ в случае функционализации с-ПП выражен более ярко.

Изменения механических свойств ФПО обуславливаются, главным образом, ходом конкурирующих побочных реакций деструкции и сшивания макромолекул, протекающих при функционализации, на которые заметное влияние оказывают добавки УНМ.

В смесях ПА6/ЛПЭНП-п-ТЭДК добавки УНМ способствуют повышению ударной вязкости, причем значения данного показателя на образцах с прямоугольным надрезом выше таковых для образцов с острым надрезом. Смеси ПА6/с-ПП-п-ТЭДК не зависят от типа УНМ разрушаются хрупко и характеризуются сравнительно невысокими значениями ударной вязкости. Данный результат является следствием интенсивной деструкции макромолекул с-ПП при его функционализации в присутствии УНМ.

1. Krivoguz Yu. M., Makarenko O.A., and Pesetskii S.S. Functionalization of Polyolefin Melts Containing Carbon Nanotubes and Properties of Their Blends with Polyamide 6// J Polym Eng. — 2015; — DOI 10.1515/polyeng-2014-0225

ВЛИЯНИЕ ТИПА НАГРЕВА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ГИБРИДНЫХ КОМПОЗИТОВ

Е.Ф. Кудина

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

В настоящее время возрос интерес к проведению технологических процессов, требующих термической активации, в условиях диэлектрического нагрева (ДН). ДН обладает высокой эффективностью, обеспечивает быстрое отверждение термореактивных связующих при увеличении прочности, устраняет остаточные напряжения. Применение ДН интенсифицирует переход гидрогелей в ксерогели, позволяет получать гибридные композиты, улучшает пропитку волокнистых материалов, снижает коэффициент трения и повышает термостабильность материалов. Осаждение кремнезема из водного раствора силиката натрия (ВРСН) в условиях ДН приводит к получению порошков с более низкой насыпной плотностью, развитой поверхностью и адсорбционной способностью. Изучению воздействия ДН посвящено много работ, однако основная их часть относится к изучению физических аспектов воздействия излучения или решению прикладных задач. Кроме этого опубликованные результаты по воздействию ДН противоречивы.

В данной работе проведены сравнительные исследования влияния диэлектрического и обычного нагрева на процессы структурообразования функционализированных ВРСН и структуру и свойства формируемых на их основе дисперсных продуктов.

Исследовано влияние режимов двух типов нагрева на свойства ВРСН. Установлено, что воздействие нагрева на ВРСН является двухстадийным процессом: сначала происходит повышение агрегативной устойчивости раствора, затем — увеличение степени полимеризации силикат-анионов. Показано, что первый этап сопровождается снижением структурной энергии активации вязкого течения минерального раствора (после ДН — до 66 раз, после термообработки — до 7,0 раз) и вязкости, вследствие образования низкомолекулярных кремнекислородных продуктов. Второй этап обусловлен полимеризацией силикат-анионов. Вид воздействия определяет кинетику структурообразования ВРСН. Установлено, что ДН является специфическим и по механизму отличается от обычного термического нагрева. Показано, что применение ДН позволяет увеличить степень полимеризации кремнекислородных полимерных цепей и степень кристалличности формируемого ксерогеля. Фазовый состав ксерогеля определяют условия формирования. В условиях ДН образуется кристаллическая фаза β - $\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ с включениями частиц SiO_2 размером до 20 нм.

Исследованы особенности и закономерности процессов структурообразования функционализиро-

ванного ВРСН в условиях диэлектрического и изотермического нагревов. Установлено, что кинетика процесса структурообразования функционализированного ВРСН определяется типом и концентрацией вводимого модификатора, а также технологическими условиями проведения процесса, которые определяют структуру формируемых ксерогелей. После ДН структурообразование смесей протекает в две стадии: 1 — повышение агрегативной устойчивости, 2 — интенсифицирование межмолекулярных взаимодействий компонентов, приводящего к формированию композитов с индивидуальной структурой, обусловленной формированием гибридной матрицы (интеркаляция органосиликатной и силикатных ($\text{Na}_2\text{Si}_3\text{O}_7$ и $\text{Na}_6\text{Si}_8\text{O}_{19}$) фаз) с диспергированными наночастицами кремнезема в новых полиморфных модификациях.

Кинетика структурообразования функционализированного ВРСН увеличивается с ростом концентрации модификатора и временем воздействия. Увеличение времени ДН на функционализированные ВРСН повышает вязкость растворов и краевой угол смачивания, связанных с ростом функциональной активности компонентов смеси. Установлено, что оптимальное время ДН для достижения наиболее высокой агрегативной устойчивости смеси — 1—3 мин., а ускорения кинетики структурообразования — более 5 мин. Установлено, что воздействие ДН на раствор ВРСН/олигомер эпоксидиановой смолы, по сравнению с обычным термическим нагревом, является наиболее эффективной и энергосберегающей технологией формирования материала. Отверждение олигомера эпоксидной смолы в условиях ДН улучшает технологический процесс (уменьшает время в 3 раза и температуру на 15 °С, сокращает концентрацию отвердителя на 5%) и увеличивает прочность материала до 16% без использования отверждающего реагента. Проведен анализ влияния технологических условий на процессы структурообразования в функционализированных минеральных растворах и структуру формируемых продуктов. Установлено, что формирование композиционного материала из смеси ВРСН/эпоксидная смола при ДН увеличивает прочность до 5 раз; а в совокупности с дополнительной термообработкой прочность возрастает до 8 раз, а теплостойкость — на 120°. По разработанным схемам получены высокодисперсные продукты, которые могут быть использованы в качестве функционально активных модификаторов.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (проект T13-098).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ЭКСТРУЗИИ НА СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

В.В. Мозгалёв

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

Цель

Целью работы являлось определение степени влияния переменных параметров процесса экструзии, таких как состав перерабатываемого материала, давление, температура, интенсивность и продолжительность воздействия на сырьё на реологические параметры экструдата, усадку, деструкцию, равномерность распределения частиц наполнителя.

Материалы и методы исследований

Экструзия представляет собой непрерывный технологический процесс, в результате которого готовые изделия получают посредством продавливания расплавленного материала сквозь формующий инструмент (фильеру, экструзионную головку). Экструзию, другими словами, можно опередить как комплексный физико-химический процесс, протекающий под воздействием механических усилий и высокой температуры [1].

При изготовлении или подготовке резиновых смесей, в частности при навивке протектора для сверхкрупногабаритных шин (СКГШ), важное значение имеют технологические параметры процесса экструзии (шприцевания), поскольку они влияют на усадку и, соответственно, на геометрические размеры заготовки, а значит и массу протектора.

В качестве объектов исследования были выбраны образцы шинных резиновых смесей на основе натурального каучука (НК) назначения протектор-беговая для сверхкрупногабаритных шин и бутадиен-стирольного каучука (БСК) для сельскохозяйственных шин.

Испытания проводились с использованием штифтового экструдера холодного питания фирмы Rubicon ЕЕК 45.14 М-12/70 при различных температурах, давлении и продолжительности воздействия на сырьё. Также исследовалось влияние штифтов на эффективность смешения и качество материала.

Для изучения были выбраны реологические параметры экструдата, усадка, деструкция, равномерность распределения частиц наполнителя.

Результаты и их обсуждение

Динамика течения резиновой смеси в экструдере в значительной степени зависит от количества штифтов, их высоты, размера и конструкции. Изменение данных параметров приводит к изменению характера и интенсивности течения материала, что

связано с количеством зон активного смешения. Одновременно с процессом смешения проходят и процессы деструкции, причем как механической, так и термической. Степень протекающих процессов деструкции можно определить косвенными методами, например, по таким показателям как прочность при растяжении и относительному удлинению при разрыве [2]. Было установлено, что для исследуемых резиновых смесей процессы деструкции интенсивно протекают лишь в режимах, для которых характерна повышенная температура и высокое давление в головке.

В работе были определены значения величин набухания экструдата, выходящего из фильеры, связанные с эффектом Барруса. Выявлено влияние скорости вращения шнека, температуры по зонам и давление в головке данного экструдера на технологические параметры исследуемых резиновых смесей, а также на основании экспериментальных данных установлена корреляция между данными показателями.

Установлено, что именно давление в головке экструдера оказывает наибольшее влияние на исследуемые параметры.

Существенное влияние также оказывает и состав резиновой смеси. Было проведено ряд экспериментов, по результатам которых было установлено, что усадка заготовок зависит от дозировки и размера наполнителя: уменьшается при увеличении дозировки наполнителя и увеличивается при уменьшении дисперсности. Однако особое внимание при изучении процесса экструзии на усадку резиновых смесей следует уделять не только количественным, но и качественным показателям наполнителей [2].

Таким образом, можно сделать вывод, что усадка экструдата, наполненного техническим углеродом, хоть и имеет небольшое значение по величине, однако несёт достаточно большую проблему для резиновой промышленности. Наибольшее влияние усадка оказывает при навивке протектора на СКГШ, поскольку даже незначительное изменение его размеров сильно влияет на ходимость, долговечность и эксплуатационные характеристики шины.

1. Корнев А.Е., Буканов А.М., Шевердяев О.Н. Технология эластомерных материалов: учеб. для вузов. — Москва: ЭКСИМ, 2000
2. Бартнев Г.М., Зуев Ю.С. Прочность и разрушение высокоэластичных материалов. — М.: Химия. — 1980

ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ЗАЩИТНОЙ ПЛАСТМАССОВОЙ ОПЛЕТКИ

А.К. Новиков¹, А.В. Сиканевич², А.А. Давыдов¹, Н.Ф. Соловей³

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь; otde15mpri@tut.by

²Республиканское унитарное предприятие СКТБ «Металлополимер», Гомель, Беларусь

³ОАО «Научно-технический центр комбайностроения» ПО «Гомсельмаш», Гомель, Беларусь

Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси и РУП СКТБ «Металлополимер» разработали и наладили серийное производство защитной пластмассовой оплетки для гидравлических, пневматических шлангов и электропроводки сельскохозяйственной, дорожной и других видов техники.

В зависимости от особенностей техники и условий ее эксплуатации оплетка обеспечивает защиту от механических повреждений и должна обеспечить выполнение следующих технических требований: необходимые геометрические и физико-механические параметры; теплостойкость; стойкость к воздействию атмосферных факторов; устойчивость к воздействию топлива, масла, антифриза, электролита, огнестойкость.

При исследовании указанных свойств применяли образцы, полученные литьем под давлением, а также изготовленную оплетку.

Проверку наружного, внутреннего диаметра и шага оплетки осуществляли с помощью штангенциркуля ШЦ-1 по ГОСТ 166 с погрешностью измерения 0,1 мм.

Прочность и относительное удлинение определяли по ГОСТ 11262 на образцах в виде лопатки типа 1. Скорость перемещения подвижного зажима испытательной машины 50 мм/мин.

Оплетку подвергали воздействию эксплуатационных факторов в везерометре Q-SUN Xenon Test Chamber Model Xe-3-HS производства США. Мощность УФ облучения 0,51 Вт/м²; температура воздуха в камере 38°C, температура черного тела 65°C, влажность — 50%.

Исследование пиков плавления и кристаллизации методом дифференциальной сканирующей микрокалориметрии проводили на приборе Diamond DSC, фирма Perkin Elmer, precisely, США.

При определении прочности расплава к расплаву материала, находящегося в цилиндре литейной машины, прикладывалась нагрузка с таким расчетом, чтобы задаваемая скорость перемещения поршня литейной машины, а значит скорость истечения расплава из капилляра была постоянной. Достигнув определенной длины, экструдат обрывался под действием собственного веса.

Вязкостные свойства измеряли на приборе 5MPСА, фирма Ray-Rap, Великобритания: показатель текучести расплава (ПТР, г/10 мин, ПЭ —

190 °C / 5 кг, ПП — 230 °C / 2,16 кг, диаметр капилляра (2,095±0,005) мм); плотность расплава г/см³; скорость сдвига, j, с-1; вязкость J, Па·с.

Плотность определяли методом гидростатического взвешивания в н-гептане по ГОСТ 15139-69, взвешивание осуществляли на лабораторных электронных весах (RV214, Adventurer Pro, фирма «ОНАУС Europe», Швейцария).

Стойкость к горению определяли по ГОСТ 28157-89 методом Б — при вертикальном расположении образца.

Определение стойкости оплетки к воздействию масла, бензина, дизельного топлива, электролита и антифриза проводят путем погружения ее в среду на 1 ч. Испытания проводили при температуре 20±5 °C. После испытания оплетка не должна размягчаться, изменять внешний вид и размеры.

Указанными методами были исследованы различные исходные базовые полимерные материалы полиэтилена и полипропилена, композиты на их основе, а также процесс изготовления оплетки из них. Для промышленного производства оплеток разработаны полимерные композиционные материалы на основе различных полиолефинов (полиэтилена — ПЭ, полипропилена — ПП, О — огнестойкие) марок: МКО-ПП, МКО-ПЭ, МКО-О-ПЭ, МКО-О-ПП по ТУ ВУ 400084698.256-2015. Примеры обозначения оплеток при заказе: оплетка полимерная из материала марки МКО-ПП наружным диаметром 20 мм, внутренним диаметром 16 мм и шагом спирали 20 мм — «Оплетка полимерная МКО-ПП — 20x16x20 ТУ ВУ 400084698.255-2015», то же из материала марки МКО-ПЭ — «Оплетка полимерная МКО-ПЭ-20x16x20 ТУ ВУ 400084698.255-2015»; огнестойкая полимерная оплетка из материала марки МКО-О-ПП наружным диаметром 12 мм, внутренним диаметром 9,6 мм и шагом 10,5 мм — «Оплетка полимерная МКО-О-ПП — 12x9,6x10,5 ТУ ВУ 400084698.255-2015», то же из материала марки МКО-О-ПЭ — «Оплетка полимерная МКО-О-ПЭ — 12x9,6x10,5 ТУ ВУ 400084698.255-2015».

По результатам разработки осуществляются поставки оплетки на различные отечественные предприятия: ОАО «Гомсельмаш», ОАО «Минский тракторный завод», ОАО «АМКОДОР», ОАО «БелАЗ».

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН ДЛЯ ОЧИСТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД

В.М. Станкевич¹, А.С. Михневич², Ю.М. Плескачевский³, И.И. Суторьма¹

¹Гомельский инженерный институт МЧС Республики Беларусь, Гомель, Беларусь; stankevich_v@mail.ru

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

³Гомельский филиал НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

Мембранная фильтрация — один из наиболее широко распространенных лабораторных и промышленных процессов очистки жидкостей от коллоидных загрязнений [1]. Технологии очистки технологических сред, основанные на мембранных процессах, интенсивно развиваются [2], усложняются процессы мембранной фильтрации и мембранных аппаратов, занятых в этом процессе. Одним из таких способов является фильтрация под давлением, которая позволяет достигнуть более высокой производительности. Наиболее производительными из мембран благодаря небольшой толщине являются трековые. Трековые мембраны (ТМ) характеризуются высокой производительностью, селективностью разделения сред (разброс размеров пор не более $\pm 2\%$), возможностью регенерации и рядом других преимуществ [1—4]. В настоящее время процессы мембранной фильтрации с использованием ТМ задействованы в многих технологических схемах, и сфера их применения расширяется. Кроме того, для микро- и ультрафильтрации технологических жидкостей в ИММС НАН Беларуси разработан мембранный модуль [5, 6]. Однако конструкция данного фильтрационного модуля не позволяет регенерировать ТМ обратным потоком жидкости или газа с целью повышения долговечности данных фильтрующих элементов, что приводит к разрушению последних.

Задачей являлась разработка мембранного фильтрационного модуля, позволяющего повысить долговечность ТМ при очистке технологических сред при повышенных давлениях и обладающего возможностью регенерации ТМ обратным потоком жидкости или газа.

Испытания проводили на лабораторной фильтрационной установке. Механическую прочность фильтрующих элементов определяли по перепаду давления фильтруемой среды, при котором образец разрушается.

ТМ были изготовлены на основе полиэтилентерефталатной пленки толщиной 10 мкм в Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований (ЛЯР ОИЯИ, г. Дубна, Московская область). Диаметр пор ТМ составлял 0,1 мкм.

Для использования мембранных материалов в процессах микро- и ультрафильтрации под давлением применяют модули, в конструкцию которых вво-

дят либо отражатель потока фильтруемой среды [1], либо опорный перфорированный диск, либо опорный перфорированный диск с неперфорированным участком [5, 6]. Однако данные модули не гарантируют сохранение механической целостности ТМ, толщина которых составляет 10—20 мкм, при работе в режиме регенерации ТМ обратным потоком фильтруемой среды с целью повышения долговечности мембран.

В результате выполнения работы разработана конструкция мембранного фильтрационного модуля, в котором между входным отверстием и ТМ установлен дополнительный перфорированный диск, содержащий неперфорированный участок, диаметр отверстий в котором меньше на 10—15%, чем диаметр отверстий в опорном перфорированном диске, содержащем неперфорированный участок, расположенном между ТМ и выходным отверстием.

Стеновые испытания в режиме регенерации ТМ обратным потоком жидкости или газа показали, что давление разрушения ТМ в режиме регенерации обратным потоком воздуха составило $\geq 0,5$ МПа, а деионизованной воды — $\geq 0,35$ МПа.

Авторы благодарят д.х.н. Апеля П.Ю., заместителя начальника Центра прикладной физики ЛЯР ОИЯИ по научной работе, за предоставленные образцы трековых мембран.

Работа выполнена в рамках международного сотрудничества Республики Беларусь в ОИЯИ (шифр 04-5-1076-2009/2016 «Радиационные эффекты и физические основы нанотехнологий, радиоаналитические и радиоизотопные исследования на ускорителях ЛЯР»).

1. Брок Т. Мембранная фильтрация / Пер. с англ. — М.: Мир. — 1987
2. Мулдер М. Введение в мембранную технологию / Пер. с англ. — М.: Мир. — 1999
3. Флеров Г. Н. Синтез сверхтяжелых элементов и применение методов ядерной физики в смежных областях // Вестн. АН СССР. — 1984, № 4, 35—48
4. Fisher B.E. and Spohr R. Production and Use Nuclear Tracks: Imprinting Structure on Solids // Revs. Mod. Phys. — 1983 (55), № 4, 907—947
5. Станкевич, В.М. Мембранный модуль для фильтрации под давлением технологических жидкостей // Материалы, технологии, инструменты. — 2005 (10), № 2, 98—100
6. Фильтрующее устройство: пат. 1983 Респ. Беларусь, МПК7 В 01 D 29/05 // Афіцыйны бюл. / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. — 2005, № 2, 273—274

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА В КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА

В.В. Тимошенко, А.В. Шаповалов

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

В настоящее время ежегодно при гидролизе древесины хвойных и лиственных пород образуется около 5 млн т. гидролизного лигнина.

Основные направления применения гидролизного лигнина: топливно-выгорающая добавка в производстве керамических материалов; заменитель опилок в строительных изделиях; сырье для получения феноллигниновых полимеров; применение в качестве пластификатора и интенсификатора [1—4]. В то же время представляет интерес использование гидролизного лигнина в качестве наполнителя пластмасс, в частности, полиэтилена. Поэтому целью данной работы является исследование возможности применения гидролизного лигнина в композиционных материалах на основе полиэтилена.

В качестве основы при получении композиций использовали гидролизный лигнин (ГЛ), образующийся на Речицком гидролизном заводе, полиэтилен высокого давления (ПЭВД) (ГОСТ 16337). В качестве модификаторов использовали: комплексный модификатор (КМ) разработанный в ООО «ЛАРТА Текнолоджи», стеарат цинка (StZn), полиэтиленовый воск ПВ-200, сополимер этилена с винил ацетатом (СЭВ).

Технологический процесс изготовления лигнинно-полимерных композиций состоит из операций сушки (печь SNOL), измельчения и фракционного отсева частиц наполнителя (сито с размером ячейки 0,4мм), смешения компонентов (в смесителе барабанного типа), грануляции полученного материала и получения изделий (экструзионное оборудование).

Исследование физико-механических характеристик проводили на комплексе «INSTRON 5567» по стандартной методике, определение ударной вязкости по Шарпи (без надреза) проводили по ГОСТ 4647 с помощью маятникового копра (фирма VEB Werkstoffprufmaschinen), показатель текучести расплава (ПТР) композитов на основе гидролизного лигнина и полиэтилена высокого давления определяли по ГОСТ 11645 на приборе ИИРТ-М при температуре $(190 \pm 0,5)$ °С и нагрузке 5 кг, оценку водопоглощения композиций проводили согласно ГОСТ 4650–80, исследование технологичности процесса переработки композиций проводили на экструзиографе «RHEOCORD 90» (НААКЕ)

В результате проведенных исследований установлено, что наиболее высокие физико-механи-

ческие характеристики имеют композиты с использованием КМ и StZn. Так прочность при растяжении образцов таких композитов возрастает на 70% (с 6 до 10—12 МПа), относительное удлинение при разрыве в 3 раза (с 4 до 9—12%), ударная вязкость в 2,5 раза (с 9 до 20—22 кДж/м²), ПТР в 1,9 раза (с 4,4 до 8,3—8,6 г/10мин.), влагопоглощение снижается с 0,9 до 0,7—0,8%. Это обусловлено тем, что используемый в данной композиции КМ выполняет роль компатибилизатора между лигнином и ПЭВД, улучшая вязко-упругие свойства композиции, с образованием более однородной структуры композита. Одной из причин повышения механической прочности материала является улучшение реологической и адгезионной составляющей в смеси при ее переработке в изделие.

Показано, что для получения максимальных свойств исследуемого композита необходима предварительная подготовка компонентов смеси к переработке: сушка гидролизного лигнина при температуре 80—90 °С до остаточной влажности 1,5—2% при наличии в экструзионном оборудовании зон дегазации влажность лигнина может находиться в пределах 10—15%, измельчение и просеивание гидролизного лигнина до размера не более 0,4 мм., поэтапное смешение компонентов смеси в течении 20—25 мин. в смесителе барабанного типа; предварительное гранулирование смеси на двухшнековом экструдере.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования лигнина в композиционных материалах для производства изделий технического назначения, в частности, при изготовлении длинномерных изделий (труба, погонаж, лист), а также литевых изделий на шнековых и поршневых термопласт автоматах.

1. Раувендаль К. Экструзия полимеров. — СПб.: Профессия. — 2006
2. Функциональные наполнители для пластмасс / Марино Ксантос (ред.), пер. с англ. под ред. В.Н. Кулезнева. — М.: Научные основы и технологии. — 2010
3. Люткевичус М., Сапрагонас И. Влияние дисперсных частиц на напряженное состояние в композитах с полимерной матрицей // Механика. — 1999, №2(217). 9–15 (на английском языке).
4. Baltušnikas A. and Grybėnas A. The Effect of Thermal Transitions on Activity of Diatomite in Epoxy Composites // Materials Sci. ISSN 1392–1320. — 1997, no. 1, 68

ПОЛИМЕРНО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЛЮМИНОФОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СВЕТОДИОДНЫХ ПРИБОРОВ

О.В. Урецкая, Н.Е. Дробышевская, Е.Н. Подденежный, А.А. Бойко

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

Цель

Для создания люминофорных светопреобразователей, а также люминесцентных меток для защиты посуды и других изделий из полимеров от подделок, были сформированы композиционные материалы полимер-люминофор на основе прозрачных полимеров — полипропилена и смеси полиэтилен-полипропилен.

Материалы и методы исследований

В качестве прозрачной матрицы были использованы: полиэтилен высокого давления ПЭВД, полипропилен порошковый. В качестве люминесцентного материала применялись наноструктурированный порошок иттрий-алюминиевого граната, активированные ионами церия, полученные методом горения и прокаленные в воздушной среде до 1100 °С. Разработаны основные этапы получения композитов с использованием в качестве пластификатора эвтектической смеси холин хлорида ChCl и сорбитола. Вначале готовится эвтектическая смесь холин хлорида и сорбитола, смешивается и перетирается в ступке, нагретой до 80 °С в массовом соотношении холин : сорбитол, равном 2:1, до состояния полупрозрачной жидкости, добавляем к смеси порошок полимера и перемешиваем до состояния однородной смеси. Затем добавляем порошок кристаллического люминофора в количестве 10, 20, 30% от общей массы наполнителя и еще раз тщательно перемешиваем в ступке. После этого отпрессовываем таблетку диаметром 20 мм и толщиной 3—4 мм на ручном прессе и помещаем в вафельницу, закрываем крышку и проводим термообработку при температуре 140—145 °С (рис. 1).

Из рассмотрения спектра люминесценции композита «ПЭВД — $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}$ », на длине волны возбуждения 445 нм (излучение синего светодиода), видно, что при облучении образца светодиодом возникает яркое излучение со спектром, идентичным белому свету, что может быть использовано в люминофорных светопреобразователях светодиодных осветительных приборов.

Спектры люминесценции образцов №№ 1—3 снимали при длине волны возбуждения 445 нм (рис. 2).

Результаты и их обсуждение

1) Разработаны этапы формирования компози-

ционных наноструктурированных люминесцентных материалов, состоящих из матрицы полимера и наноструктурированного порошка иттрий-алюминиевого граната, легированного ионами церия.

2) Измерены спектры возбуждения и спектры люминесценции модельных образцов композиционных материалов, состоящих из полиэтилена ПЭВД с пластификатором, наполненного наноструктурированным порошком люминофора ИАГ:Се.

3) Композит «полимер — наноструктурированный порошок иттрий-алюминиевого граната» может быть предложен в качестве модельной системы с целью создания люминофорных светопреобразователей, а также люминесцентных меток для защиты посуды и других изделий из полимеров от подделок.



Рис. 1. Фотографии полученных образцов на основе полиэтилена ПЭВД с наполнителем — наноструктурированным порошком $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}$: ПЭ1 — 10 мас.%, ПЭ2 — 20 мас.%, ПЭ3 — 30 мас.%

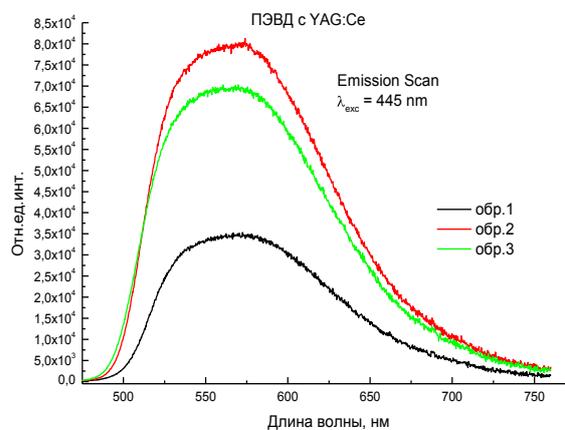


Рис. 2. Спектры люминесценции образцов №№ 1—3, полученные при длине волны возбуждения 445 нм

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ШИННЫХ РЕЗИН

В.Д. Федоров¹, А.В. Васильев², Т.М. Абрамова¹,
Т.П. Валенчиц², В.Н. Коваль¹, С.С. Песецкий¹

¹Институт механики металлополимерных систем им В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь;
otdel5mpri@tut.by,

²ОАО «Белшина», Бобруйск, Беларусь

Введение

В настоящее время значительный интерес вызывает стремление получить нанокompозиты для шинных резин, обладающие низкой стоимостью и по комплексу свойств и техническим характеристикам превосходящих традиционные полимерные материалы. Одними из важнейших типов нанонаполнителей являются углеродные наноматериалы и слоистые глинистые силикаты (СГС). Применительно к шинным резинам, содержащим СГС, требуется изучение вопросов, связанных с формированием концентратов СГС и их структурой, выяснением роли органофилизационных наночастиц и их взаимодействия с агентами вулканизации, установление влияния ПАВ, на показатели эксплуатационных свойств резин; выяснение роли технологии смешения и вулканизации на интеркаляцию/экслоиацию наноглин и плотность сшивания каучука. Технологии каучук/глинистых нанокompозитов весьма пристальное внимание уделяют многие мировые фирмы-производители шин. Подтверждением этому является высокая патентная активность фирм.

Цель данной работы — получение и испытание шинных резин с добавками СГС и углеродного слоистого наноматериала (УСНМ), вводимых из концентратов, оптимизация в лабораторных условиях составов резин, содержащих СГС и УСНМ.

Материалы и методы исследований

В экспериментах использовали исходные и обработанные ПАВ СГС (ЗАО «Метаклэй» (Россия), “Southern Clay Product Inc.” (США) и “Laviosa Chimica Mineraria” (Италия)), в качестве УСНМ использовали графен (PelletsKNG-T181, Xiamen Knano Technology Co. LTD, China) и графит (ГЛС-3, РФ). Для проведения исследований отработана технология получения концентратов органофицированных СГС (о-СГС) в шинных каучуках, основанная на приготовлении концентратов с каучуком в расплавах в материального цилиндрадвухшвенкового экструдера. Совместно с ОАО «Белшина» изготовлены образцы резиновых смесей подканавочного слоя с применением концентратов с о-СГС, УСНМ и коротковолокнистыми наполнителями.

Результаты и их обсуждение

Показано, что при экструзионном совмещении о-СГС с расплавами НК и ХБК возможна частичная

интеркаляция макромолекул каучуков в межслоевое пространство. О-СГС, содержащие в составе ПАВ только неполярные фрагменты лучше диспергируются в неполярном НК, а о-СГС, имеющие в составе углеводородного фрагмента ПАВ концевые полярные ОН-группы (Cloisite 30В) лучше эксфолированы в полярном ХБК (рис. 1).

Выполнен рентгеноструктурный анализ резиновых смесей, включающих СГС, о-СГС и гибридные углеродные наполнители (ТУ/УСНМ), для составов, включающих УСНМ, получены данные о влиянии соотношения компонентов на теплопроводность. Установлена возможность существенного повышения коэффициента теплопроводности резин и снижения теплообразования при введении в их состав графена и графита.

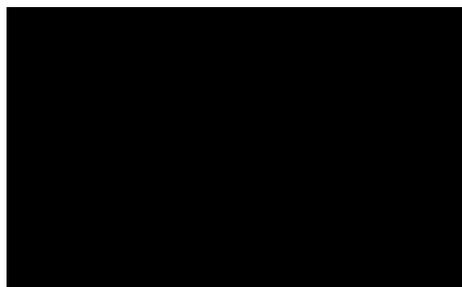


Рис.1. Рентгеновские дифрактограммы исходной наноглины Cloisite 30В и ее концентрата в ХБК, полученного при однократной и двухкратной экструзии.

На основании полученных экспериментальных данных о теплофизических характеристиках резиновых смесей подканавочного слоя СКГШ, содержащих ТУ/графен (графит) показана перспективность получения резин с пониженным теплонакоплением за счет повышенных значений коэффициентов их тепло- и температуропроводности.

1. Jancar J. and Robeson J.F. Polymer Nanotechnology: Nanocomposites // Polymer. — 2008 (49), 3187—3204
2. Rubber Composition for Tire Treads and a Pneumatic Tire Having a Tread Made of such Composition: Пат. США 7220794. Sumitomo Rubber Industries, Ltd. — 2007
3. Wu Y., Huang H., Zhao W., Zhang H., Wang Y., and Zhang L. Flame Retardance of MMT/Rubber Composites // Journal of Applied Polymer Science. — 2008 (107), 3318—3324
4. Zhang H., Wang Y., Wu Y., Zhang L., and Yang J. Study on Flammability of Montmorillonite/Styrene-Butadiene Rubber (SBR). Nanocomposites // J. Appl. Polym. Sci. — 2005 (97), 844—849

ВТОРИЧНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВВ.М. Шаповалов¹, С.Г. Кудян², В.И. Ткачев³¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь;

v.shapovalov@tut.by, mpolimer@yandex.ru

²РУП СКТБ «Металлополимер», Гомель, Беларусь³КУП «Спецкоммунтранс», Гомель, Беларусь

В настоящее время в мировой практике особое место занимает разработка новых материало- и ресурсосберегающих технологий, базирующихся на процессах переработки отходов полимеров. Однако в Беларуси перерабатывается порядка 10—15% полимерных отходов, образуемых в твердых коммунальных отходах. Поэтому проблема увеличения объемов их переработки обретает актуальное значение не только с позиций охраны окружающей среды, но и, прежде всего, с увеличивающимся дефицитом первичного сырья, которое изготавливается из нефтепродуктов. В то же время использование отходов полимеров позволяет существенно экономить первичное сырье (прежде всего нефть) и электроэнергию, необходимых для получения первичных полимеров. При этом в процессе утилизации и переработки полимерных отходов достигается получение дополнительного количества потребительских продуктов для различных отраслей народного хозяйства без повторного загрязнения окружающей среды. В связи с этим переработка полимерных отходов является не только экономически целесообразным, но и экологически предпочтительным решением проблемы их использования.

Исходя из концепции о более полном использовании полимерных отходов важным является разработка и внедрение в Республике Беларусь новых технологий путем разработки специализированного оборудования по сортировке, измельчению и отмывке загрязненных вторичных полимерных материалов, а также использования при их переработке активных модификаторов, обеспечивающих повышение их физико-механических характеристик, близких к уровню первичных полимеров. Предварительно проведенные исследования позволили установить, что применительно к переработке полимерных отходов необходимо учитывать предисторию их образования (наличие в нем остатков катализато-

ров, стабилизаторов, загрязнений) для обоснования возможности их использования при создании композитов и разработки научно обоснованных подходов для регулирования их физико-механических и технологических свойств. Наряду с рецептурно-технологическими проблемами вторичной переработки полимерных отходов, его эффективность во многом зависит от уровня научно-технической оснащенности. Поэтому разработка новых технологий утилизации и создание специализированного энергосберегающего перерабатывающего оборудования являются важными задачами в решении этой проблемы. Одним из путей увеличения жизненного цикла вторичных полимеров является подход, основанный на использовании комплексных модификаторов, т.е. модификаторов, способных инициировать повышенный уровень эксплуатационных свойств вторичного полимера как в процессе переработки, так и при его эксплуатации в изделии. В особенности это важно учитывать для полимерного сырья, получаемого при сортировке и мойке полимерных материалов, образуемых в твердых коммунальных отходах.

В результате такого подхода достигается получение ценного полимерного сырья, обеспечивающего не только замену и экономию первичного полимерного сырья (соответственно уменьшение углеродородного сырья), но и решение экологических проблем. При этом повышение качества полимерного сырья из отходов потребления практически всегда будет способствовать расширению номенклатуры изделий, что будет способствовать получению конкурентноспособной продукции технического назначения. Часть полимерных отходов, не способных к переработке, можно подвергать сжиганию в специальных печах, что позволит получать дополнительную энергию и тепло.

ВЛИЯНИЕ ИЗОЦИАНАТНЫХ УДЛИНИТЕЛЕЙ ЦЕПИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОЛИЭФИРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.В. Шевченко

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

Введение

Полиизоцианаты потенциально могут использоваться для удлинения цепи полиалкилентерефталатов, поскольку относительно легко вступают в реакцию с гидроксильными (преимущественно) и карбоксильными группами, образуя амидные группы [1, 2].

Цель

Установить закономерности, характеризующие влияние добавок изоцианатных удлинителей цепи (УЦ) на молекулярную структуру, релаксационные, реологические и механические свойства полиэфирных материалов разных типов.

Материалы и их исследование

В экспериментах использовали гранулированный полибутилентерефталат ПБТ (ТУ ВУ 700117487.170–2006), полиэтилентерефталат марка ПЭТ-8200 (ТУ РБ 03301552.001-95), полиэфирные термоэластопласты ПТЭП, представляющие собой полибутилентерефталат-политетраметиленоксидный блок-сополимер, содержащий политетраметиленоксидный блок с молекулярной массой 1000 (Б-2,5) и 2000 (Б-4м), ТУ РБ 700117487.170-2006.

В качестве УЦ применяли: модификатор гетероцепных термопластов (МГТ-Ж, ТУ ВУ 400084698.268–2014) — темно-коричневая жидкость на основе смеси диизоцианатов. Стабилизатором служил В-561 — смесевой стабилизатор ф. “BASF”, ФРГ.

Компаундирование осуществляли на экструзионно-грануляционной линии, смонтированной на базе двухшнекового экструдера TSSK-35/40 (производство КНР, диаметр шнеков 35 мм, $L/D = 40$, 10 секций материального цилиндра с независимым нагревом и точным поддержанием температуры).

Результаты и их обсуждение

Введение УЦ приводит к снижению показателя текучести расплавов (ПТР, рис. 1) и росту значений характеристической вязкости растворов ($[\eta]$, рис.2) всех исследуемых полимеров, одной из причин чего является рост молекулярной массы (ММ).

По данным дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) при введении УЦ наблюдается замедление кристаллизационных процессов в полиэфирах, что фиксируется по росту значений температуры холодной кристаллизации ПЭТ и снижению температуры кристаллизации из расплава ПЭТ, ПБТ, ПТЭП. Наблюдается также снижение степени

кристалличности, что связано с изменением ММ полимера: чем больше длина макромолекул, тем труднее протекает кристаллизация полиэфира.

Кроме того, добавки изоцианатного УЦ влияют на показатели механических свойств материалов: вызывают рост деформационной способности, повышение верхнего и нижнего пределов текучести. При повышенных концентрациях (0,9 и 1,25%) УЦ может наблюдаться снижение относительного удлинения при растяжении, что вероятно вызвано наличием химических межмолекулярных сшивок.

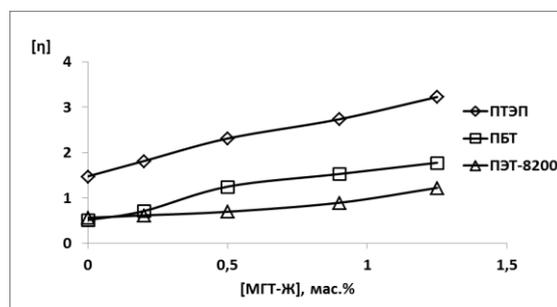


Рис. 1. Влияние концентрации МГТ-Ж на изменение $[\eta]$ полиэфиров

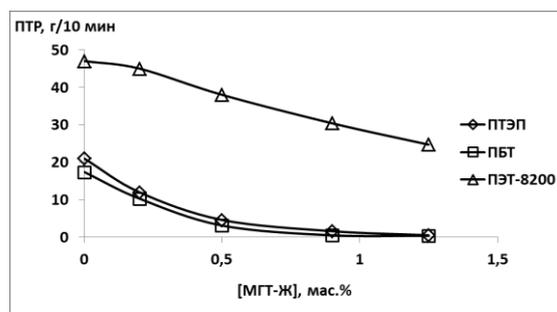


Рис. 2. Влияние концентрации МГТ-Ж на изменение ПТР полиэфиров

Выводы

Введение УЦ в полиалкилентерефталаты в процессе реакционной экструзии может использоваться для повышения их молекулярной массы, управления реологическим поведением расплавов и механическими свойствами материалов.

1. Песецкий С.С., Шевченко В.В., Дубровский В.В. Макромолекулярные превращения в расплавах полиалкилентерефталатов и реакционная компатибилизация полиэфирных материалов (обзор) // *Материалы. Технологии. Инструменты.* — 2013 (18), № 3, 51—80
2. *Modern Polyesters: Chemistry and Technology of Polyesters and Copolyesters* / Ed. Scheirs J., Long T.E. — Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. — 2003

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ВЫТЕКАНИЯ МАСЛА ИЗ ВОЛОКНИСТО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.Ю. Шумская¹, Л.А. Калинин¹, В.В. Снежков²

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь;
viktoriya-shumsk@mail.ru

²ОДО «Научно-технический центр ЛАРТА», Гомель, Беларусь

Работа фильтров-коалесцеров, обеспечивающих очистку рабочих сред путем улавливания водно-масляной аэрозоли, лимитируется процессом вывода масла из пористой структуры материала фильтра.

Целью работы было изучение процесса самоочистки фильтрующих полимерных материалов различных типов отличающихся пористостью, морфологией, структурой.

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

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

При изучении движения масла вдоль волокон ВПМ образец в течение 30 мин пропитывался в емкости с маслом. Заполненный маслом образец подвешивался на установленный на весах штатив и фиксировалась скорость убыли массы образца.

Скорость протекания масла, поперек волокон, через слой ВПМ изучалась на ячейке в виде цилиндра высотой в 200 мм с перфорированной нижней частью, вокруг которой был обернут слой ВПМ. Масло наливалось в ячейку до примерно постоянного уровня, а вытекающее масло собиралось в установленный на весах стакан.

Установлено, что скорость вытекания масла из слоя носит экспоненциальный характер и зависит от поровой структурой материала и её устойчивости. Наиболее легко отдают масло жесткие материалы типа полипропилен. Характерно, что по мере вытекания масла во всех образцах остается «масляная ванна», в которой практически все поры заполнены маслом, а ее высота зависит от поровой структуры и может колебаться от 10 до 100 мм. Мягкие материалы, в которых волокна не скреплены между собой, при пропитывании маслом за счет действия капиллярных сил резко сжимаются, что приводит к существенному снижению пористости.

Таким образом, для эффективного функционирования, фильтр-коалесцер должен быть изготовлен из максимально жесткого ВПМ состоящего из скрепленных между собой волокон.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УДАРНО-ВОЛНОВОЙ ОБРАБОТКИ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫХ МЕТАЛЛОФТОРОПЛАСТОВЫХ КОМПОЗИТОВ

Н.А. Адаменко, А.В. Казуров

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия; mvpol@vstu.ru

К перспективным антифрикционным материалам, работающим в жестких условиях эксплуатации относятся высоконаполненные металлофторопластовые композиционные материалы (КМ), в которых металл образует несущую пространственную непрерывную фазу (каркас), а полимер обеспечивает эффект самосмазываемости [1, 2]. Ударно-волновая обработка (УВО) является перспективным способом получения КМ, при котором происходит термодинамическая активация их компонентов с реализацией между ними повышенного адгезионного взаимодействия.

Целью работы являлась оценка эффективности применения УВО при получении каркасных КМ на основе фторопласта-4 (Ф-4) с помощью исследования их теплофизических свойств. В работе проводили сравнительные исследования влияния статического прессования (СП) и УВО на тепловое расширение, теплопроводность и коэффициент трения фторопластовых КМ с наполнением от 40 до 70% порошком меди. При получении меднофторопластовых КМ СП порошковых смесей осуществляли в прессформах давлением 0,4 ГПа, УВО проводилось в цилиндрической стальной оболочке давлением в ударном фронте 0,4—0,6 ГПа [3]. Тепловое расширение меднофторопластовых композитов определяли на установках термомеханического анализа ТМИ-1 и Netzsch TMA 402 F3 *Hyperion* [4]. Коэффициент теплопроводности (λ) измерялся при комнатной температуре (22 °С) на установке КИТ-02Ц «Теплофон». Микроструктуры исследовали на микроскопе Olympus 61ВХ. Испытания на трение проводили на машине СМЦ-2 при скорости скольжения 3 м/с, удельной нагрузке 0,5 МПа и температуре в зоне трения 80 °С.

Установлено, что во всем исследуемом концентрационном интервале (40—70% Cu) при нагреве до 415 °С термический коэффициент объемного расширения (β) в 1,1—4,1 раза ниже после УВО, чем после СП. При исследовании теплопроводности установлено, что λ в 13—15 раз выше у образцов после УВО, чем после СП соответственно 22,5—49,8 Вт/м·К и 1,5—3,6 Вт/м·К. Спекание способствует снижению β и повышению λ за счет монолитизации Ф-4 и повышения межкомпонентного взаимодействия в КМ. Таким образом, результаты

теплофизических испытаний свидетельствуют, что при УВО КМ, в отличие от СП, обеспечивается более интенсивное взаимодействие частиц меди с образованием непрерывной армирующей металлической фазы (каркаса), а также повышенное адгезионное взаимодействие между полимером и металлом, что является результатом быстротечного действия высоких энергий взрыва [5]. В результате металлические каркасы тормозят тепловые колебания и перемещения макромолекул Ф-4 и обеспечивает повышенную теплопроводность за счет меньшего сопротивления на границе контакта частиц.

Исследование влияния содержания меди на коэффициент трения металлофторопластовых КМ показало, что до концентраций наполнителя 50—60% коэффициент трения близок к значениям чистого полимера ($f = 0,15—0,18$ для Ф-4). С увеличением в КМ содержания металла до 70% коэффициент трения возрастает до 0,25—0,30. Таким образом, УВО позволяет получать высоконаполненные КМ на основе Ф-4 с повышенным комплексом триботехнических свойств: низким тепловым расширением и коэффициентом трения и высокой теплопроводностью.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 14-03-31315, Российского научно-го фонда №14-29-00158.

1. Рогов В.Е., Гурьев А.М., Никифоров С.О., Кошелева Е.А. Металлофторопластовые материалы для энергетического машиностроения: специфические особенности, разработка, производство, применение, тренд развития // Ползуновский вестник. — 2010, № 1, 134—140
2. Корнопольцев В.Н., Корнопольцев Н.В., Могнонов Д.М. Металлофторопластовый материал для подшипников сухого трения // Трение и износ. — 2007 (28), № 2, 183—188
3. Рогозин В.Д., Казуров А.В., Адаменко Н.А. Анализ параметров взрывного прессования металлополимерной смеси в цилиндрической ампуле // Известия Волгоградского гос. технического университета. Сер. Проблемы материаловедения, сварки, прочности в машиностроении — Волгоград. — 2008, № 10 (48), вып. 2, 42—44
4. Адаменко Н.А., Казуров А.В., Проничев Д.В., Сергеев И.В. Влияние взрывной обработки на теплофизические свойства меднофторопластовых композитов // Конструкции из композиционных материалов. — 2010, № 4, 28—35
5. Адаменко Н.А., Фетисов А.В., Казуров А.В. Взрывная обработка металлополимерных композиций. — Волгоград: Политехник. — 2007

СВЕТСТОЙКИЕ ПОЛЯРИЗУЮЩИЕ ПЛЕНКИ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА

Я.В. Акулич, Т.Г. Космачева, Н.А. Иванова, В.Е. Агабеков

Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь; ichnm-lpp@mail.ru

Цель

Получение на основе поливинилового спирта (ПВС) светостойких поляризующих пленок с расширенным спектральным диапазоном.

Материалы и методы исследований

Объектами исследований являлись йодсодержащие поляризующие пленки на основе ПВС марки «Mowiol 28-99», модифицированные дихроичными органическими красителями.

Исходная композиция для отлива ПВС-пленок, представляет собой водно-спиртовой раствор полимера, содержащий KI (дихроичный агент), глицерин (пластификатор), KBr, борную кислоту и тетраборат натрия (желирующие добавки) [1].

Принцип действия йодного поливинилспиртового поляризатора основан на дихроизме поглощения анизотропного комплекса ПВС — йод [2—3].

Для получения йодных ПВС-пленок, обладающих высокой поляризующей способностью в ближних УФ- и ИК-областях, в композицию были введены коммерческие красители хризофенин и IR-806.

Устойчивость ПВС-пленок к воздействию света оценивали при облучении лампой Osram 300W Ultra-Vitalux (имитатор солнечного света) в течение 100 часов. Спектральные зависимости поглощения, пропускания и поляризующей способности (ПС) пленок в поляризованном свете регистрировали на спектрофотометре Ocean Optics HR 4000 CG.

Результаты и их обсуждение

Традиционный йодный поляризатор без добавок красителей обладает поляризующей способностью $\geq 90\%$ в интервале длин волн 420÷740 нм (рис. 1).

Установлено, что облучение заметно сужает рабочий диапазон йодной ПВС-пленки в видимой и ближней ИК-областях спектра (рис. 1), в то время как модифицированная пленка проявила в данном спектральном диапазоне повышенную стойкость к облучению (рис. 2).

Выводы

Йодные поливинилспиртовые пленки, модифицированные красителями — хризофенином и IR-806, эффективно поляризуют свет в расширен-

ном спектральном диапазоне 340÷880 нм (ПС составляет $\geq 90\%$) и они устойчивы к облучению светом, имитирующим солнечный, в течение 100 часов.

Введение в йодную ПВС-композицию по 0,01 мас.% красителей позволяет расширить спектральный диапазон работы пленки — 340÷880 нм (рис. 2).

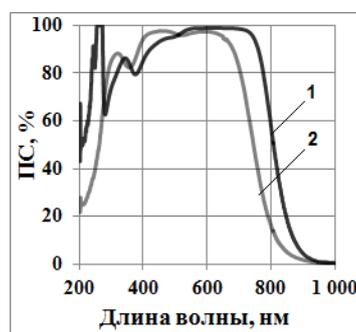


Рис. 1. Поляризующая способность йодной ПВС-пленки: 1 — до облучения, 2 — после 100 ч облучения

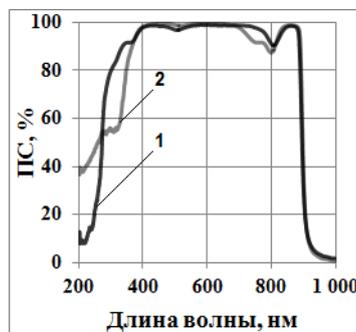


Рис. 2. Поляризующая способность йодной ПВС-пленки, модифицированной красителями IR-806 и хризофенином: 1 — до облучения, 2 — после 100 ч облучения

1. Агабеков В.Е., Арико Н.Г., Иванова Н.А. Пленочные поляризаторы для жидкокристаллических устройств отображения информации / Весці НАН Б, серія хімічных навук. — 2002, № 4, 98—112
2. Oishi Y. and Miyasaka K. Formation of Poly(vinyl alcohol)-Iodine Complex in Water Swollen Films on Extension // Polym. J. — 1987 (19), no. 3, 331—336
3. Kojima Y., Furunata K.-I., and Miyasaka K. Sorption and Permeation of Iodine in Water-Swollen Poly(vinyl alcohol) Membranes and Iodine Complex Formation // J. Appl. Polym. Sci. — 1985 (30), no. 4, 1617—1628

ЭПОКСИЦИКЛОПРОПАНЫ В КАЧЕСТВЕ РЕАКЦИОННОСПОСОБНЫХ РАЗБАВИТЕЛЕЙ И МОДИФИКАТОРОВ ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ

Э.Н. Ахмедов¹, Г.А. Рамазанов¹, А.М. Гулиев²

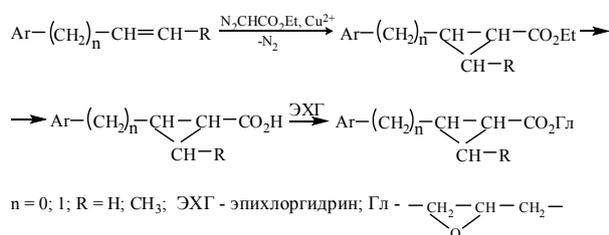
¹Сумгаитский Государственный Университет, 43 квартал, AZ5008, Сумгайыт, Азербайджан

²Институт полимерных материалов НАН Азербайджана, Сумгайыт, Азербайджан: abasgulu@yandex.ru

Низкомолекулярные эпоксидные соединения, используемые в качестве разбавителей эпоксидных смол, одновременно являются и модификаторами, изменяющими свойства отвержденных систем и поэтому могут быть применены в целях повышения или снижения температуры тепловой деформации, избирательного повышения химстойкости и придания композициям ряда специфических свойств.

В данной работе приводятся результаты синтеза моноэпоксидных соединений ароматического ряда, являющихся хорошими разбавителями и представляющие интерес для технологии эпоксидных смол.

С этой целью вначале реакцией алкенилароматических углеводов с этоксикарбонилкарбенами, генерированными каталитическим разложением этилдиазоацетата были синтезированы этоксикарбонилзамещенные алкил(арил) циклопропаны, которые затем омылением были превращены в соответствующие кислоты, на основе которых были получены глицидиловые эфиры алкилциклопропанкарбоновых кислот:



Состав и структура полученных эпоксидциклопропанов были установлены данными спектрального (ИК и ПМР), химического и элементного анализов, а чистота и изомерный состав контролировались методом ГЖХ-анализа.

Установлено, что синтезированные эпоксидциклопропаны оказывают растворяющую способность и хорошо совмещаются с эпоксидной смолой марки ЭД-20. Причем, разбавляющая способность синтезированных эпоксидциклопропанов существенно зависит от химического строения активного разбавителя, определяющего его совместимость с эпоксид-

ной смолой. Динамическая вязкость композиции ЭД-20 с эпоксидциклопропанами при всех соотношениях компонентов несколько ниже, чем для исходной ЭД-20.

Было показано, что использование синтезированных эпоксидциклопропанов в количестве 5—15 мас.% в качестве разбавителей и модификаторов промышленно производимых эпоксидных смол приводит к уменьшению относительной вязкости композиций с ЭД-20 в 1,5—2,8 раза. Для отвержденных композиций найдено, что степень сшивки соответствует 96—98%. Исследован процесс отверждения изготовленных из ЭД-20 и эпоксидциклопропанов композиций методом ИК-спектроскопии. Показано, что интенсивность характерных полос поглощения для валентных колебаний —C=O— группы (1720 см^{-1}), скелетных колебаний циклопропанового кольца (1040 см^{-1}) и простой эфирной связи (1180 см^{-1}) имеющих в ИК-спектре композиций, падает по мере отверждения этих композиций. Это свидетельствует о химическом связывании модификаторов с ЭД-20. Экстракция отверждения компаундов в аппарате Сокслета подтверждает сказанное. В результате проведенных исследований доказана возможность регулирования свойств эпоксидных композиций, обеспечивающих придание высоких физико-механических и теплофизических свойств материалам, изготовленным из ЭД-20 и синтезированных эпоксидциклопропанов.

Одновременно было установлено, что повышение прочностных, теплофизических и адгезионных показателей.

Таким образом, синтезированные соединения являются эффективными активными разбавителями эпоксидной смолы ЭД-20. Они положительным образом влияют как на технологические, так и на эксплуатационные свойства эпоксидных композиций.

1. Ли Х., Невилл К. Справочное руководство по эпоксидным смолам. — М.: Энергия. — 1973
2. Хозин В.Г. Усиление эпоксидных полимеров. — Казань: Дом печати. — 2004

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ РОТОРЫ КАК СРЕДСТВО КОНТРОЛЯ СТАДИЙ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ПРОЦЕССА

А.В. Бобров, Ю.С. Марфин, Е.В. Румянцев

Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново, Россия;
bobrovalexanderv@gmail.com

Золь-гель технология — один из простых и эффективных способов получения гибридных материалов с органическими красителями. Такие материалы можно использовать в лазерной технике (как преобразователи излучения), в фотовольтаике, в качестве рН сенсоров и сенсоров на тяжелые металлы, а также использовать их как замену жидкофазных систем на твердотельные аналоги. Спектральные и морфологические свойства материалов сильно зависят от условий синтеза и пост синтетической их обработки. Один из важнейших параметров золь-гель системы, а именно ее динамическая вязкость увеличивается при переходе истинного раствора в золь и, в дальнейшем, в гель. Тем не менее, измерение вязкости подобных систем в процессе синтеза стандартными методами неэффективно, так как само по себе измерение влияет на морфологию материала. В связи с этим использование флуоресцентных молекулярных роторов является эффективным способом динамического контроля материалов в процессе синтеза. Синтезированные материалы с включением молекулярных роторов в дальнейшем могут быть использованы в качестве сенсорных систем.

В работе были получены 4 полимерных матрицы на основе диоксида кремния и его органомодифицированных аналогов. В качестве прекурсоров использовали тетраэтоксисилан (ТЭОС), фенилтриэтоксисилан (ФТЭОС), аминтриэтоксисилан (АТЭОС) и октилтриэтоксисилан (ОТЭОС). В реакционную смесь добавляли один из 8-замещенных борфторидных комплексов дипиринов (bodipy), который является флуоресцентным молекулярным ро-

тором. В процессе протекания реакции синтеза матрицы фиксировали изменения спектральных свойств (поглощение и флуоресценция) ротора, находящегося в золь-гель системе. Возможность использования данного ротора для контроля процессов полимеризации определяли по изменениям квантового выхода флуоресценции со временем.

Во всех образцах в процессе синтеза матрицы спектральные свойства введенного в ее состав красителя изменяются. Изменение различаются для матриц различной природы. В случае матриц на основе ТЭОС зависимость квантового выхода флуоресценции от времени носит прямолинейный характер: со временем происходит увлечение интенсивности флуоресценции и квантового выхода флуоресценции. В системах из ФТЭОС, где зависимость носит экстремальный характер, это связано с тем, что фенильная группа ротора вступает во взаимодействие с фенильным заместителем в составе матрицы. Вероятно, происходит взаимодействие между электронными системами соответствующих фенильных заместителей. Для систем, полученных из АТЭОС и ОТЭОС четко выраженной зависимости не наблюдается.

Работа выполнена при поддержке стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам, осуществляющим перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики (2013—2015 г.) № СП-1742.2013.1 и гранта РФФИ № 14-03-31888.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ АНТИПИРЕНОВ ДЛЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

С.Н. Бобрышева¹, С.Ф. Мельников², Д.Л. Подобед¹

¹Гомельский инженерный институт МЧС, Гомель, Беларусь

²Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации, Гомель, Беларусь;
F_Heart_@mail.ru

Стремительное развитие индустрии новых материалов различного назначения сопровождается непрогнозируемыми чрезвычайными ситуациями, связанными с горением этих материалов и трудностями ликвидации пожаров и их последствий. Особенно это касается синтетических композиционных материалов. Обладая высокой горючестью, они повышают общую пожарную опасность, а, выделяя при горении большое количество токсичных веществ, губительно действуют на человека и окружающую среду. Возникает необходимость разработки, производства, и внедрения огнезамедляющих средств специального назначения и комплексного действия, в качестве которых и выступают антипирены [1]. Однако при их применении возникает вопрос совместимости с полимером, решаемый путем направленного модифицирования антипирена с целью его гидрофобизации.

В качестве антипиренов нами использовались глины отечественных разработок в Лельчицком районе Гомельской области. Химический состав отобранных глин определяли на спектрометре эмиссионном с индуктивно-связанной плазмой (модель iCAP 6300 Radial). Данный прибор предназначен для измерения содержания различных элементов в растворах, продуктах питания, почвах, металлах, их сплавах и т.д., результаты исследований химического состава этих глин представлены в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав глины (мас.%)

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

В качестве модификатора использовался соапсток с ОАО «Гомельский жировой комбинат».

Модифицирование глины проводилось с помощью следующего технологического приема: измельчение глины с применением планетарной мельницы совмещалось с модификацией путем нанесения соапстока на стенки размольных стаканов. Этим достигалась необходимая гидрофобность и требуемая дисперсность порошка антипирена. Эффективность разработанного антипирена подтверждена актом испытаний полимерных материалов с антипиренами на горючесть и воспламеняемость.

После проведения ряда экспериментов было найдено новое техническое решение: взамен бентонитовых глин использовать отработанную отбельную глину, которая в процессе применения по пря-

мому назначению уже обладает необходимой степенью гидрофобности. Отбельные глины, используются в качестве адсорбента для удаления из растительных масел окрашивающих соединений (пигментов, следовых количеств фосфолипидов, соединений серы, солей жирных кислот, а также основных продуктов окисления) в технологии их рафинации путем адсорбционной очистки. Основой отбельных глин также являются бентонитовые глины — алюмосиликаты, в состав которых входят щелочные и щелочноземельные металлы в количестве примерно от 4 до 10%, которые для осветления растительных масел и жиров подвергаются кислотной обработке. Адсорбент GRADE F-160 представляет собой кислотно-активированный порошок природного бентонита беловатого или светло-серого цвета. Данный адсорбент не взрывоопасен, не горюч, не разлагается при хранении и транспортировке, экологически безопасен [2].

На Гомельском жирокombинате функционирует линия отбеливания и фильтрования отбельных глин после адсорбции, содержание жира в которых составляет не более 20%. Этот факт является положительным моментом, т.к. обеспечивает необходимый для дальнейшего использования материала в качестве антипирена гидрофобизирующий эффект. Объем отбельных глин в виде отходов на предприятии составляет 5—10 тонн в год. В настоящее время планомерного использования отходов не осуществляется, в связи с чем отходы регулярно накапливаются. Авторами проводятся исследовательские работы, направленные на применение отбельных глин в качестве антипирена с полной или частичной заменой модифицированной бентонитовой глины отечественных разработок.

Таким образом, экспериментально показана возможность применения глин слоистой структуры отечественных месторождений в качестве антипиренов для полимерных материалов. Применение разработанного антипирена позволяет снизить пожарную опасность (воспламеняемость) полимерсодержащего материала, а также значительно уменьшить объем вредных выбросов в атмосферу при горении антипиренсодержащих материалов и изделий.

1. Швайнциль Х., Маер Р.Д., Шиллер М. Добавки к полимерам. Справочник / Пер. англ. 6-го изд. Под ред. В.Б. Узденского, А.О. Григорова — СПб.: ЦОП «Профессия». — 2010
2. <http://vesthim.ru/ru/benton/grade-f-160.html>

ИЗНАШИВАНИЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ПРИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

П.Н. Богданович, Д.А. Близнец, М.Ю. Коднянко

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь; bogdanovich@belsut.gomel.by

Твердые материалы при распиливании абразивным инструментом подвергаются многократному импульсному механическому и тепловому воздействию, приводящему к усталостному разрушению прилегающих к зоне резания областей. При превышении критических режимов нагружения процесс разрушения может стать неуправляемым. Так, при изготовлении изделий из сапфира, стекла и алмаза могут возникать дефекты, трещины, термораскалывание, графитизация алмаза и ухудшение его цветовых характеристик [1—3].

Цель — исследование влияния режимов обработки на качество поверхности распила твердых материалов.

Материалы и методы исследований. Исследования проводились на высокоскоростной (до 100 м/с) машине трения по схеме контакта пластинка — цилиндрическая поверхность вращающегося диска, содержащая абразив. Диск диаметром 76 мм и толщиной 0,05±0,07 мм изготавливался из бронзы БрОФ6,5-0,15, а шаржирование его рабочей поверхности осуществлялось алмазным порошком АСН20/14. В качестве приемника теплового излучения использовались тепловизор IR SnapShot и опико-электронный преобразователь.

Результаты их обсуждения. Изучено распределение поверхностной температуры сапфира вблизи зоны резания и показано, что максимального значения она достигает не в зоне контакта абразивного инструмента с сапфиром, а на некотором расстоянии (около 1 мм) впереди нее. Такой эффект смещения максимума температуры от зоны контакта сапфира с абразивными зернами может быть обусловлен тем, что генерируемая при распиливании теплота отводится от зоны резания быстро вращающимся бронзовым диском, обладающим высокой теплопроводностью.

При тяжелых режимах нагружения (~5 МПа) наличие максимума температуры впереди зоны резания может привести к появлению трещины, ее неуправляемому росту и термораскалыванию, что в итоге становится причиной выбраковки изделия. С увеличением нагрузки и частоты вращения диска максимум поверхностной температуры $T_{нов}$ монотонно возрастает. При распиливании силикатного стекла $T_{нов}$ может превышать 100 °С, а алмаза — достигает 400 °С. Такие значения $T_{нов}$, указывают на то, что температура на единичных пятнах контакта абразивной частицы с заготовкой будет импульсно повышаться до существенно более высоких значений. В частности, при распиливании алмаза температура вспышки может вызывать локальную графитизацию поверхностного слоя.

Для алмаза характерна существенная зависи-

мость температуры от его напряженного состояния и направления распила. В целом $T_{нов}$ алмаза при близких режимах нагружения в 2—10 раз превышает $T_{нов}$ стекла и сапфира. Причина в том, что алмаз приводит к более интенсивному износу и затуплению режущих кромок абразивных частиц, что сопровождается ростом тепловыделения в контакте. Отмечено, что трение абразивных частиц и диска о поверхность распила сопровождается ее разрушением.

Модельные эксперименты по влиянию режимов нагружения и, как следствие, температуры, на разрушение поверхности распила были выполнены на пластинках из силикатного стекла. Установлено, что поверхности распила содержат продольные бороздки от абразивного изнашивания, адгезионные вырывы, подповерхностные трещины, области хрупкого разрушения и усталостного изнашивания. По мере повышения скорости скольжения абразивных частиц по изнашиваемому материалу (до ~10 м/с) и нормальной нагрузки увеличивается глубина бороздок, размеры и число адгезионных вырывов и областей хрупкого разрушения. При последующей обработке поверхности распила это приводит к необходимости съема более толстого слоя заготовки и к нерациональному расходу сырья. Наиболее опасным дефектом является наблюдаемое при высоких скоростях и нагрузке появление усталостных микротрещин, ориентированных перпендикулярно поверхности распила и растущих вглубь изделия.

В отдельных случаях впереди зоны резания (область максимума поверхностной температуры) вследствие высоких термических напряжений на поверхности стекла образуются сколы.

Выводы. При распиливании твердых материалов абразивным инструментом вспышки температуры в контакте с абразивными частицами достигают значений, способных вызывать локальную деструкцию материала. Максимум поверхностной температуры достигается не в зоне резания, а в подповерхностном слое, что способствует термораскалыванию изделия и хрупкому разрушению материала в этом слое. С повышением нагрузки и скорости скольжения абразивных частиц увеличиваются вероятность образования и глубина распространения трещин усталости на боковых поверхностях распила.

1. Petrokovets M.I., Bogdanovich P.N., and Tkachuk D.V. Thermal Instability of Friction Pairs // Problemy Eksploatacji. — 1998. (30), no. 3, 189—198
2. Bogdanovich P.N. and Tkachuk D.V. The Influence of Overlapping Factor on Temperature Field in Friction Units // Tribologia. — 2001, no. 2, 191—199.
3. Елифанов В. И., Кононенко В. И., Солтан А. В. Измерение температуры при распиливании кристаллов природного алмаза // Алмаз. — 1973, № 4, 3—4

ВЛИЯНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДРЕВОПЛАСТИКОВ

Е.А. Вырва¹, А.В. Шаповалов², О.Е. Пантюхов³, М.Н. Долгачева³

¹Мозырский государственный педагогический университет им. И.П. Шамякина; Мозырь, Беларусь; evgenvyrgva@yandex.ru

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

³Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

Древесно-полимерные композиционные материалы, представляют собой отдельный класс древесных конструкционных материалов, в которых частицы измельченной древесины соединены между собой при помощи полимерной матрицы, что позволяет удачно сочетать технологические свойства полимеров со структурно-механическими характеристиками древесины, и одновременно решать ряд экономических и экологических вопросов.

Использование комбинированных наполнителей, которые обладают различными свойствами, при получении древопластиков позволяет создавать принципиально новые композиционные материалы, обладающие высокими физико-механическими характеристиками, которые в ряде случаев могут с успехом использоваться как заменители металлов, ценных пород древесины и дефицитных пластмасс.

Для получения композитов с высокими физико-механическими характеристиками без ухудшения их перерабатываемости применяется наполнение полимеров комбинациями различных наполнителей. Вместе с тем вопросы зависимости физико-механических характеристик композитов от состава и свойств компонентов наполнителя изучены мало, в особенности, применительно к древопластикам. Поэтому изучение композиций с комбинированными наполнителями, определение их преимуществ и недостатков по сравнению с композициями с мононаполнителем представляется актуальной задачей.

Установлено, что наиболее рациональным соотношением древесных частиц и золы-уноса в композите является соотношение 1:0,25 соответственно и (табл. 1). При этом оптимальный размер древесных частиц находится в пределах 3—5 мм.

Механизм повышения прочностных характеристик композитов обусловлен, с одной стороны, армирующим действием крупнодисперсных частиц в макрообъемах композита и, с другой стороны, более плотной и упорядоченной упаковкой частиц мелкодисперсного наполнителя в композите, о чем свидетельствует изменение плотности исследуемых композитов (табл. 2). При этом такой подход способствует также, по-видимому, структурному модифицированию полимера мелкодисперсным наполните-

лем в локальных микрообъемах полимерной прослойки, что обеспечивает увеличение скорости кристаллизации связующего в зоне межчастичного взаимодействия.

Таблица 1. Зависимость прочности при изгибе от фракции древесных частиц и соотношения древесных частиц и золы-уноса в древопластике

Фракция древесных частиц, мм	Соотношение древесных частиц и золы-уноса			
	1:1	1:0,5	1:0,25	1:0,1
1 — 2	30,3/29,8	32,1/30,6	33,0/32,5	30,8/30,4
3 — 5	34,0/32,1	35,6/32,8	37,6/34,9	30,2/29,2
6 — 10	28,6/29,5	29,1/31,4	30,2/32,6	29,6/28,0
11 — 15	28,4/27,1	28,7/28,4	28,9/30,1	29,4/26,2

Примечание. Содержание гибридного наполнителя в ЭДПК — 10 мас.%. В числителе $\sigma_{изг.}$ для ЭДПК на основе ПВХ, в знаменателе для ЭДПК на основе ПП+ПЭ (85:15).

Таблица 2. Плотность композитов с комбинированными наполнителями

Композиты	С измельченной древесиной (ИД) с ПВХ и ПП	ИД+ЗУ (ПП)	ИД+ФГ (ПВХ)	ИД+ГЛ (ПВХ)	ИД+МР (ПВХ)
Плотность, кг/м ³	1100 / 990	1240	1300	1240	1150

Примечание. ИД — измельченная древесина; ГЛ — гидролизный лигнин; ФГ — фосфогипс; ЗУ — зола-унос; МР — мелкодисперсная резина.

Показана эффективность введения в древопластик частиц гидролизного лигнина, обеспечивающего улучшение его прочностных свойств на 18—23%. Применение фосфогипса повышает огнестойкость древопластика. Его введение в композит в количестве 15÷25 мас.% обеспечивает возрастание показателей огнестойкости на 20÷25%. Такое обстоятельство связано с возможностью дополнительного выделения из фосфогипса при температурах более 400 °С кристаллизационной влаги.

Таким образом, применение комбинированных наполнителей в экструзионных древеснополимерных композитах позволяет получать изделия с заданным комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств.

НОВЫЕ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ЦИКЛОПРОПАН И ЭПОКСИСОДЕРЖАЩИЕ ПОЛИМЕРЫ

К.Г. Гулиев, А.М. Алиева, Р.В. Джафаров, Р.М. Искендерова, А.М. Гулиев

Институт полимерных материалов НАН Азербайджана, Сумгайыт, Азербайджан; quliyev.kazim.pm

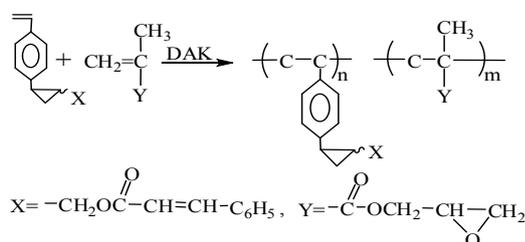
Полимеры, содержащие в макромолекулах метакрилатные производные полимера или циклопропановые звенья с полярными заместителями в цикле представляют большой интерес, поскольку характеризуются сбалансированным комплексом свойств, в том числе и фоточувствительностью, и могут использоваться в полимерных резистных материалах в микроэлектронике. Одним из путей получения полимеров, содержащих циклопропановые звенья с реакционноспособными функциональными группами, включая циннаматные фрагменты, является сополимеризация синтезированных новых мономеров.

Циклопропан содержащие полимеры с функциональными заместителями в макроцепи характеризуются такими ценными свойствами, как высокими физико-механическими, хорошими плёнообразующими, адгезионными и высокой фоточувствительностью. Эти свойства делают весьма перспективными фотополимерные материалы в микроэлектронике [1—3].

В работе предложена новая стратегия синтеза получения функционального замещённого полициклопропилстирола с боковыми реакционноспособными циклопропановыми, циннаматными и глицидилными группами.

В данной работе мы впервые осуществляли сополимеризацию (п-винилфенил)циклопропилметилциннамата (ФЦПЦ) с глицидилметакрилатом (ГМА).

С целью создания фоточувствительных циклопропан и эпоксиодержащих полимеров синтезирован новый мономер ФЦПЦ (M_1), изучена его радикальная сополимеризация с ГМА (M_2) и литографические свойства.



Радикальную сополимеризацию указанных мономеров проводили в ампулах в гомогенных условиях в растворе в бензоле в присутствии динитрилазоизомасляной кислоты (ДАК) при температуре 70 °С в течение 5 часов в атмосфере азота. ФЦПЦ и ГМА вводили в реакционную смесь в различном мольном соотношении. По завершении реакции

синтезированный сополимер с боковыми реакционноспособными группами осаждали из раствора бензола в диэтиловом эфире: выпавший сополимер промывали на фильтре эфиром и сушили в вакууме при температуре 30 °С. Для определения состава полученного сополимера анализировали содержание двойных связей по бромному числу.

Состав и структура синтезированных ФЦПЦ и его сополимера установлены методом элементного анализа, ИК- и ПМР-спектроскопией. По данным спектроскопии сополимеризация ФЦПЦ с ГМА протекает только за счёт раскрытия двойных связей винильных групп с сохранением остальных реакционноспособных функциональных групп.

Для оценки полимеризационной активности ФЦПЦ были рассчитаны значения констант относительной активности мономеров по составам исходной мономерной смеси по методу Файнмана-Росса и параметры $Q-e$ по Алфрею и Прайсу.

Найдены значения констант сополимеризации мономеров M_1 и M_2 ($r_1 = 1,07, r_2 = 0,4$) и рассчитаны параметры $Q-e$ ($Q_1 = 2,5, e_1 = -0,9$).

Найдены значения относительной активности свидетельствуют о большей реакционной способности ФЦПЦ по сравнению с ГМА, $r_1 > r_2$. Выявлено, что это связано с влиянием заместителя у циклопропанового кольца на электронную плотность двойной связи винильной группы. Рассчитанные значения параметров $Q-e$ при сополимеризации с ГМА указывают на возросшее сопряжение в мономере ФЦПЦ, связанное с влиянием заместителя — циннаматного фрагмента, обуславливающего высокую реакционную способность мономера и более низкую реакционную способность радикалов.

Молекулярную массу сополимера оценивали по значению характеристической вязкости ($\eta = 0,70$ дл/г).

Установлено, что синтезированный сополимер обладает хорошей адгезией к подложке, малой дефектностью (0,2—0,3 деф/см²) плёнок, высокой фоточувствительностью (48—56 см²/Дж).

1. Вайнер А.Я., Дюмаев К.М. Метакрилатные производные карбоксилсодержащих полиимидов: синтез и фотохимические превращения // Физическая химия. — 2004 (396), № 3, 362—365
2. Гулиев К.Г., Пономарёва Г.З., Гулиев А.М. Синтез и свойства эпоксиодержащих полициклопропилстиролов // Высокомолекулярные соединения. — 2007 (49), № 8, 1577—1581
3. Гулиев К.Г., Алиева А.М., Гулиев А.М. Синтез и полимеризация (п-винилфенил)циклопропилметилциннамата // Журнал прикладной химии — 2013 (86), № 1, 101—104

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ НА СОСТАВ СОПОЛИМЕРОВ АКРИЛАТА НАТРИЯ И 2-АКРИЛАМИДО-2-МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОНАТА НАТРИЯ

Т.Г. Данилович¹, Л.Б. Якимцова², Е.В. Гринюк², О.К. Сакович²

¹Учреждение БГУ «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», Минск, Беларусь

²Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь; yakimtsova@bsu.by

Цель

Установить влияние способа радикальной полимеризации на соотношение звеньев в сополимерах (СП) 2-акриламидо-2-метилпропансульфоната натрия (АМПС-Na) и акрилата натрия (ANa).

Материалы и методы исследований

СП получали радикальной полимеризацией в водных растворах с 20 и 40% концентрацией мономеров и фронтальной полимеризацией в твердой фазе. Мольное соотношение ANa:АМПС-Na изменялось от 1:9 до 4:1. Состав СП устанавливали методом ИК спектроскопии на ИК-Фурье спектрометре «Bruker Alpha» с приставкой PLATINUM-ATR.

Результаты и их обсуждение

В нефтедобывающей промышленности для ограничения водопритоков в нефтяных пластах находят применение композиты на основе водорастворимых СП, способных к координационному сшиванию солями поливалентных металлов под действием повышенной пластовой температуры [1]. Показано [2], что СП ANa и АМПС-Na, синтезированные радикальной полимеризацией в водном растворе, могут сшиваться в присутствии триацетата хрома, однако молекулярная масса этих СП недостаточно высока. Фронтальная полимеризация в твердой фазе позволяет исключить диссоциацию и взаимное отталкивание ионогенных мономеров, увеличить длину полимерной цепи и снизить концентрацию СП в гелеобразующих композициях. Однако на скорость гелеобразования влияет не только длина полимерной цепи, но и состав СП, синтезированных различными способами.

На рис. 1 показаны зависимости приведенной вязкости от концентрации гомо- и сополимеров. Характеристические вязкости СП почти одинаковы.

Для определения состава СП была построена калибровочная зависимость отношения оптических плотностей полос пропускания 1541 и 1041 см⁻¹ от мольной доли звеньев ANa. Полоса 1541 см⁻¹ отвечает колебаниям связи C=O в карбоксилатной группе, а полоса в области 1041 см⁻¹ соответствует симметричным валентным колебаниям сульфонатных групп. Зависимость состава СП от состава смеси мономеров приведена на рис. 2. СП, полученные в 20 и 40% водных растворах обогащены звеньями ANa, что находится в полном соответствии с [3]. В случае фронтальной полимеризации в твердой фазе имеет место азеотропная сополимеризация, при ко-

торой состав СП практически не отличается от состава мономерной смеси.

Фронтальная сополимеризация в твердой фазе позволяет получать СП с пониженной долей звеньев ANa по сравнению с полимеризацией в растворе.

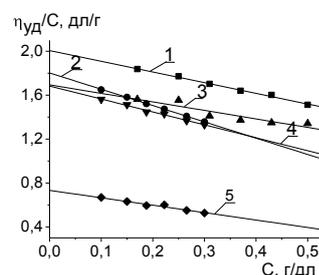


Рис. 1. Зависимость приведенной вязкости $\eta_{уд}/C$ в 5 М водном растворе NaCl от концентрации C гомополимеров АМПС-Na (1), АNa (5) и СП, полученных фронтальной полимеризацией при соотношении АNa:АМПС-Na=3:7 (2), 1:1 (3) и 7:3 (4)

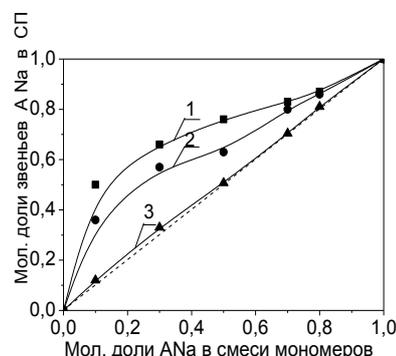


Рис. 2. Зависимость состава СП АNa и АМПС-Na от состава мономерной смеси при полимеризации в водном растворе с концентрацией мономеров 20% (1), 40% (2) и при фронтальной твердофазной полимеризации (3)

1. Якимцова Л. Б., Ларикова С. Н., Господарёв Д. А., Макаревич А. В. Гелеобразующие композиции на основе сополимеров акриламида и акрилата натрия // *Материалы. Технологии. Инструменты.* — 2014 (19), № 1, 67—73
2. Якимцова Л. Б., Сакович О. К. Гелеобразование композиций гомо- и сополимеров акрилата натрия и 2-акриламидо-2-метилпропансульфоната натрия // *Проблемы и перспективы развития химии, нефтехимии и нефтепереработки: мат. Междунар. науч.-практ. конф., посв. 50-летию Нижнекамского химико-технологического института.* — 2014 (1), 320—323
3. Куренков А.В. Радикальная сополимеризация 2-акриламидо-2-метилпропансульфоната натрия с акрилатом натрия в растворах: автореф. дис. канд. хим. наук. — Казань. — 2011

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА КИНЕТИКУ ВУЛКАНИЗАЦИИ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ

Р.М. Долинская¹, Н.Р. Прокопчук¹, Ю.В. Коровина²

¹Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь; gaisa_dolinskaya@mail.ru

²ОАО «Беларусьрезинотехника», Бобруйск, Беларусь

Целью данного исследования является изучение влияния модификаторов на свойства резиновых смесей для получения изделий методом инъекционного литья.

Исследование влияния различных модификаторов вязкости проводили для резиновых смесей на основе БНКС-18АМН и БНКС-28АМН — сополимеров бутадиена и нитрила акриловой кислоты 18% и 28% соответственно.

В качестве модифицирующих добавок в работе исследовались 4 типа модификаторов различной природы:

- 1) Низкомолекулярный полиэтилен (НМПЭ);
- 2) DispergatorFL;
- 3) INT 159;
- 4) MedioplastWH.

НМПЭ улучшает реологические характеристики резиновой смеси и способствует улучшению ее текучести.

Определение изменения массы образца после воздействия агрессивных сред проводили согласно ГОСТ 9.030–74.

Определение коэффициента морозостойкости по эластическому восстановлению после сжатия при температуре минус 20 °С и минус 45 °С проводили в соответствии с ГОСТ 13808–79.

С помощью вибрационного реометра получены вулканизационные характеристики и кинетические кривые. Изменение состава и содержания некоторых ингредиентов даже в небольших количествах способно ускорить или замедлить процесс образования пространственной сетки вулканизата.

Результаты исследования приведены в таблице.

При добавлении DispergatorFL существенно улучшается текучесть резиновой смеси при переработке ее в изделия, играет роль внутренней и внешней смазки.

Добавка INT 159 способствует улучшению диспергирования наполнителей и улучшению текучести смесей.

Medioplast WH применяется как диспергирующее вспомогательное вещество, как усилитель литевой способности смеси и гомогенизатор для резиновых смесей.

Определение вязкости резиновых смесей и их склонности к преждевременной вулканизации проводили на ротационном вискозиметре Муни MV 2000 согласно ГОСТ 10722–76.

При использовании модификатора INT 159 в составе эластомерных композиций показатели минимального и максимального крутящего момента, времени начала вулканизации выше, чем при использовании других исследуемых модификаторов.

Таким образом наилучший комплекс свойств достигается при использовании в рецептурах резиновых смесей с использованием модификатора INT 159. Но ввиду того, что НМПЭ по комплексу свойств незначительно уступает модификатору INT 159, а модификатор НМПЭ производится в Беларуси, наилучший комплекс физико-механических свойств имеют модифицированные композиции, содержащие 2,00 мас.ч. НМПЭ на 100 мас.ч. каучука.

Таблица. Результаты испытаний резиновых смесей на безроторном реометре MDR 2000

Наименование добавки	Режим испытания, °С×min	Минимальный крутящий момент (ML), dNm	Максимальный крутящий момент (MH), dNm	Время начала вулканизации (t _s), min:sec	Время достижения оптимальной степени вулканизации (t ₉₀), min:sec	Скорость вулканизации, R, dNm/min
резиновая смесь на основе каучука БНКС-18АМН						
без добавки	180×3	3,69	28,31	0:26	1:39	41,5
НМПЭ	180×3	3,07	26,01	0:28	1:38	48,1
Dispergator FL	180×3	2,61	26,49	0:24	1:37	40,1
INT 159	180×3	2,93	27,90	0:26	1:34	45,2
Medioplast WH	180×3	2,24	24,35	0:29	1:38	33,5
резиновая смесь на основе каучука БНКС-28АМН						
без добавки	180×3	4,20	35,70	0:24	1:34	42,4
НМПЭ	180×3	3,90	33,20	0:25	1:29	43,1
Dispergator FL	180×3	3,57	33,72	0:22	1:32	40,7
INT 159	180×3	3,89	34,98	0:24	1:30	44,2
MedioplastWH	180×3	3,49	30,21	0:27	1:35	39,4

ВЛИЯНИЕ ФЕНОЛЬНО-СИЛИКАТНЫХ МОДИФИКАТОРОВ НА КОРРОЗИОННЫЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕТОНА

В.П. Дубодел

Мозырский государственный педагогический университет им. И.П. Шамякина, Мозырь, Беларусь;
dubodelvp@tut.by

Повышение надежности и долговечности железобетонных конструкций в условиях воздействия неблагоприятных атмосферных факторов и агрессивных сред, при которых эксплуатируются промышленные и сельскохозяйственные здания и сооружения, является актуальной задачей современной строительной индустрии. В большинстве случаев увеличить защитную способность бетона по отношению к стальной арматуре можно с помощью различных добавок и ингибиторов коррозии [1, 2]. Поэтому при исследовании возможности использования фенольно-силикатных композиций в качестве модификаторов цементного бетона предполагалось решить две задачи, во-первых, повысить механическую прочность бетона, а во-вторых, повысить его пассивирующее действие по отношению к стали.

В качестве объекта исследования были взяты фенольно-силикатные композиции, получаемые путем совмещения стандартных растворов натриевого жидкого стекла и водорастворимой фенолоформальдегидной смолы марки СФЖ-3027Б. Для повышения коллоидной стабильности композиции в нее вводили гидроксид натрия. Благодаря взаимодействию щелочи и смолы происходит частичная замена водородного иона в молекулах смолы на ион Na^+ , что улучшает ее растворимость, а при взаимодействии щелочи с гидроксильными группами фенола, образуется фенолят натрия и благодаря связыванию свободного фенола повышается экологичность композиции. Такие фенольно-силикатные соединения обладают выраженными щелочными свойствами и при их применении следует ожидать пассивирующего действия по отношению к стальной арматуре.

Для изучения коррозионной активности полученных силикатно-фенольных композиций по отношению к стали были проведены потенциодинамические поляризационные измерения, которые осуществляли в стандартной электрохимической ячейке ЯСЭ-2 с хлорсеребряным электродом сравнения на потенциостате ПИ-50-1.1, в качестве фонового электролита использовали 0,1%-ные растворы NaOH , в которые добавляли различные количества ЖС и ФФС.

Полученные исследования позволили сделать вывод, что выраженное пассивирующее действие

силикатно-фенольных композиций по отношению к стали можно объяснить не только их щелочной природой, но также и способностью образовывать на поверхности стали защитные ферросиликатные пленки [3].

Для изучения влияния фенольно-силикатных модификаторов на механическую прочность цементного бетона были исследованы процессы, протекающие при модифицировании цементного связующего на основе портландцемента разработанными органо-силикатными композициями. При изготовлении образцов компоненты модификатора последовательно растворяли в воде, предназначенной для затворения смеси. В таблице приведены результаты механических испытаний бетонных образцов.

Таблица 1. Результаты механических испытаний

Показатель	Исходный бетон	Модифицированный
Разрушающее напряжение при сжатии, МПа	915	1310
Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	6,2	7,8

Проведенные эксперименты показали, что добавка разработанных модификаторов в цементное связующее может приводить к увеличению прочности получаемого бетона более чем на 30%. Полученные модельные силикатполимербетоны характеризуются не только высокой механической прочностью, но также и стойкостью к воздействию неблагоприятных атмосферных факторов. Разработанные фенольно-силикатные композиции можно применять на практике как для предварительной поверхностной обработки стальной арматуры перед закладкой в бетон, так и вводить в состав бетона на стадии его изготовления.

1. Алексеев С.Н., Иванов Ф.Н., Модры С., Шиссель П. Долговечность бетона в агрессивных средах. — М.: Стройиздат. — 1990
2. Алексеев С.Н., Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде. — М.: Стройиздат. — 1976
3. Акользин П.А. Противокоррозионная защита стали пленкообразователями. — М.: Металлургия. — 1989

НОВАЯ МОДИФИЦИРОВАННАЯ ЭПОКСИДИАНОВАЯ КОМПОЗИЦИЯ

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

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

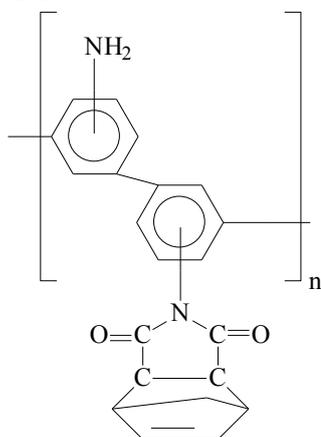
Цель

Целью данной работы являлась разработка и исследование новых лакокрасочных материалов на основе промышленно производимой эпоксидиановой смолы с улучшенными антикоррозионными 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 с ацетоном 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 — $(1,03–1,06) \text{ г/см}^3$. Продукт сополиконденсации низкомолекулярной эпоксидной смолы Э-40 с дифенилолпропаном.

В качестве модифицирующего компонента применяли олигоаминобициклогептенимидофенилен (ОАИФ) формулы:



где $n = 2 \div 3$

Пленкообразующие композиции получали путем введения в Э-41р 10%-ного раствора модификатора в диметилформамиде в диапазоне концентраций 0,1–1 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.

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

Результаты и их обсуждение

В защитной плёнке формируемого покрытия структурообразование происходит более эффективно, в системе полимера формируются полисопряжённые олигофениленовые участки с повышенной адгезией к защищаемой поверхности за счет молекул олигоаминобициклогептенимидофенилена.

Таблица 1. Защитные свойства исследуемых покрытий

Параметр	0,1% ОАИФ	0,5% ОАИФ	1% ОАИФ	Не моди- фици.
Водостойкость при 100°C , ч	20	21	41	10
Появление подпленочной коррозии, сутки	40	45	60	30
Водопоглощение, %	0,3	0,4	0,2	4

Как видно из данных таблицы, лучшие результаты по водостойкости, водопоглощающей способности, а также антикоррозионной устойчивости, оцениваемой по времени отсутствия появления подпленочной коррозии, получены для композиций содержащей 1% модификатора.

Так, в сравнении с не модифицированной композицией предлагаемая новая имидосодержащая эпоксидная композиция обеспечивает увеличение водостойкости формируемого покрытия в 4 раза, снижение водопоглощения с 4 до 0,2%, увеличение продолжительности отсутствия подпленочной коррозии (антикоррозионная устойчивость) вдвое (с 30 до 60 суток).

Использование предлагаемого изобретения на предприятиях судо- и машиностроительной промышленности, а также в нефтеперерабатывающей отрасли позволяет увеличить долговечность получаемых защитных покрытий, а, следовательно, и продолжительность эксплуатации изделий и устройств, повышая тем самым их конкурентоспособность.

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ НАНЕСЕНИЯ ВИБРАЦИОННОГО МЕХАНОХИМИЧЕСКОГО ТВЕРДОСМАЗОЧНОГО ПОКРЫТИЯ MoS₂

В.В. Иванов, С.И. Попов, Э.В. Марченко, Ю.В. Марченко

Донской Государственный Технический Университет, Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова

Вибрационная механохимия; толщина вибрационного механохимического твердосмазочного покрытия дисульфид молибдена (MoS₂).

Цель

Определение времени обработки, толщины покрытия и сравнение с покрытием нанесенного в ручную.

Уникальные свойства твердосмазочных покрытий на основе дисульфид молибдена (MoS₂), и не менее уникальные свойства вибрационной механохимии (ВиМХ), создают предпосылки для повышения износостойкости ответственных деталей, входящих в пары трения различных изделий [1].

Влияние продолжительности обработки на толщину покрытия исследовалось на покрытие полученном при вибрационной обработки амплитуде 2,5—3 мм и частоте колебаний рабочей камеры — 33,3 Гц. Продолжительность обработки 180 мин. Причем, определение толщины покрытия путем взвешивания в первые 30 мин проводилось через 10 мин обработки, затем этот интервал составил 30 мин. Зависимость толщины покрытия от времени обработки и морфология покрытия представлена на рис. 1.

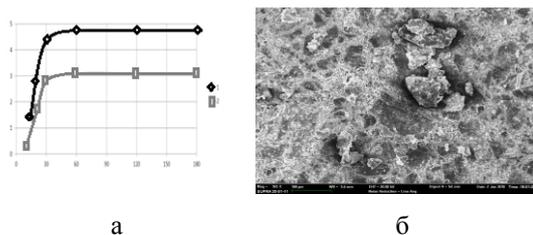


Рис. 1. Зависимость толщины покрытия MoS₂ от времени обработки: 1 — отожженной, 2 — закаленной; б — морфология вибрационного покрытия

Как видно из рисунка, в течение 30 минут происходит увеличение толщины покрытия. Затем она стабилизируется и остается практически постоянной при дальнейшей обработке. О чем свидетельствуют результаты проверки толщины покрытия на приборе «Коломакс».

В результате вычисления разнице между двумя диаметрами получено численное значение толщины покрытия равная 3,54 мкм равная 4,73 мкм равная 5,81 мкм, соответственно за 30, 60 и 90 мин. Исследование образца с покрытием нанесенного кистью показали, что его толщина в два раза меньше чем покрытие сформированное в условиях виброволно-

вого воздействия и составляет 2,41 мкм. Для сравнения представлена морфология поверхности покрытия дисульфида молибдена, нанесенное кистью. Данный метод широко применяется на предприятиях машиностроения и авиастроения для деталей входящих в пары трения [2]. Анализируя изображение поверхности покрытой дисульфидом молибдена (рис. 2, а) видны очевидные недостатки этого способа:

– над поверхностью покрытия возвышаются пластины дисульфида молибдена, следовательно усилий прилагаемых кистью не достаточно для формирования уплотненного равномерного покрытия;

– дисульфид молибдена не измельчен, а следовательно внедрение его в микро/нано профиль поверхности металла невозможен. В связи с этим снижается адгезионная способность покрытия и как следствие долговечность. В результате исследования микротвердости покрытия установлено, что твердость покрытия дисульфида молибдена растет во времени обработки. Так за 30 мин обработки она составляет 0,21 ГПа, за 60 мин обработки 0,31 ГПа, и после 120 мин. обработки (рис. 2, б) 1,1 ГПа. Этот факт показывает, что уплотнение покрытия происходит и после 60 мин. при этом толщина остается неизменной.

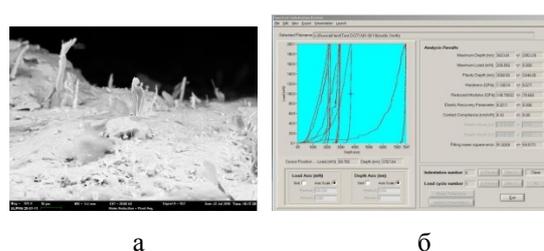


Рис. 2. Морфология поверхности пленки MoS₂, нанесенного кистью масштаб 10 мкм

Выводы

В результате проведенных исследований определено время, формирования покрытия, его толщина, представлена разница в морфологии поверхности покрытий. Установлена твердость покрытия.

1. Бабичев А. П. Основы вибрационной технологии. Часть I, Ростов-на-Дону, 1993.
2. Иванов В.В., Лебедев В.А., Пинахин И.А. Повышение износостойкости поверхности нанесением вибрационного механохимического покрытия MoS₂ // Трение и износ. — 2014 (35), № 4, 505—509

МЕТОДЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ИНГИБИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ АНТИОКСИДАНТОВ В НАПОЛНЕННЫХ КОМПОЗИТАХ

Д.Г. Лин¹, Е.В. Воробьева¹, В.М. Шаповалов²

¹Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины, Гомель, Беларусь; dlin@gsu.by, evorobyova@gsu.by

²Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь; v.shapovalov@tut.by

Для замедления процессов окисления (или старения) в полимерные материалы вводят антиокислительные добавки или антиоксиданты (АО). АО являются дорогостоящим продуктом, достаточно дорог и синтез новых более эффективных антиокислительных добавок. По этим причинам максимальное использование ингибирующего потенциала существующих промышленных АО является экономически обоснованным. Цель настоящей работы — разработка эффективных методов увеличения ингибирующей способности промышленных АО, вводимых в состав полимерных композитов, содержащих инертные к окислению полимеров дисперсные наполнители (НП).

В качестве основного объекта исследований использовали порошкообразный нестабилизированный полиэтилен (ПЭ) низкого давления (ПЭНД, ГОСТ 16338–85, марка 20306-005), в который вводили фенольный АО — ирганокс 1010 (4-окси-3,5-ди-*трет*-бутилпропионовой кислоты пентаэритриновый эфир) и аминный АО — неозон Д (2-фенилнафтиламин).

Введение АО и НП в ПЭ осуществляли с использованием растворителя (ацетон). Из полученных после высушивания полимерных композиций методом термического прессования получали полимерные пленки толщиной 100 мкм. Степень окисления полимерных пленок оценивали по ИК-спектрам пропускания пленок, используя коэффициент экстинкции полосы 1720 см⁻¹. По продолжительности индукционного периода окисления образцов судили об окислительной стойкости полимера и эффективности АО.

В ходе работы был сопоставлен эффект ингибирования полиэтилена при двух вариантах введения АО. В первом варианте (*вариант I*) раствором АО смачивали порошок НП, который затем вводили в полимер. Во втором (*вариант II*) — раствором АО обрабатывали порошок полимера, из которого после высушивания растворителя получали пленки для исследований. НП в данном случае вообще не использовался. Очевидно, что второй вариант получения ингибированных пленок отличался более равномерным распределением АО в объеме полимера и можно было ожидать, что в этом случае и антиокислительный эффект будет выше. Однако вариант II оказался более эффективным только для фенольного АО. Эффективность неозона Д была выше в образцах, полученных по варианту I. На наш взгляд, такой эффект связан с высокой летучестью неозона Д [1] и

использование наполнителя позволяет снизить непроизводительные потери АО.

На основе проведенных исследований можно предложить некоторые обобщенные технологические рекомендации по способ полимерных композитов, позволяющие увеличить ингибирующую способность промышленных АО (рис. 1).

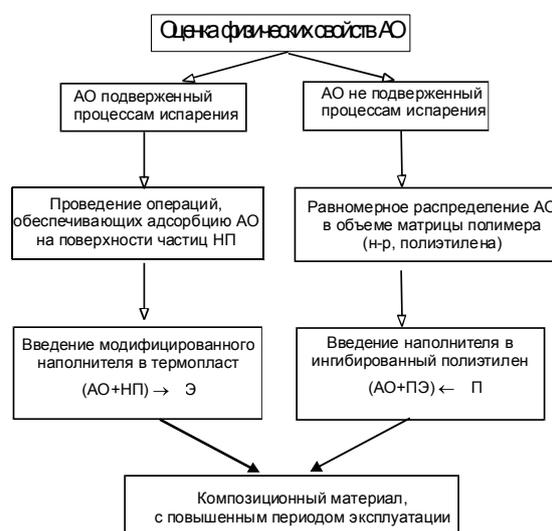


Рис. 1. Последовательность операций по получению ингибированного материала на основе полиэтилена

При создании полимерной композиции, вначале необходимо исследовать склонность АО к испарению (летучесть, волатильность АО) из пленки полимера при температурах эксплуатации изделий. Именно этот фактор определяет последовательность операций в технологическом процессе получения композита. Если АО летуч (например, неозон Д), то его необходимо осадить на поверхности частиц, а затем комплексную добавку ввести в полимер (рис. 1). Другую схему формирования композита следует применять при использовании летучих АО (например, ирганокс 1010). В этом случае АО вначале добавляют к полимеру, обеспечивая равномерное распределение добавки в объеме материала, а затем, если необходимо, вводят НП (рис. 1).

4. Lin D.G., Vorobyova E.V. and Shapovalov V. M. Influence of Chemically Inert Fillers on the Efficiency of Polyethylene Inhibition by Antioxidants // Russian Journal of Applied Chemistry.— 2014 (87), no. 7, 966—973

ФОРМИРОВАНИЕ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ И ЗАГЛУБЛЕННЫХ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СЛОЕВ В ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНКАХ МЕТОДОМ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

М.Г. Лукашевич

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь Lukashevich@bsu.by

Цель

Ионная имплантация полимеров вследствие карбонизации и формирования наночастиц имплантируемых ионов в приповерхностном слое приводит к огромным изменениям проводящих, магнитных, гальваномагнитных и оптических характеристик слоев с толщиной близкой к величине проецированного пробега ионов. Ранее нами показано [1], что спектральная зависимость коэффициента отражения в близкой ультрафиолетовой области, измеренная при падении света на имплантированную и неимплантированную стороны пленки позволяет эффективно судить о модификации приповерхностного слоя полимера.

Материалы и методы исследований

Пленки полиимида, полиамида, полиэтилентерефталата и полиэфирэфиркетона толщиной 40 мкм имплантировались ионами Ni^+ , Mn^+ , Fe^+ , Co^+ , Cu^+ , Ag^+ , C^+ и B^+ с энергией в диапазоне 30—100 кэВ в интервале доз $D = 1 \cdot 10^{15} \text{—} 1,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ при плотности ионного тока $j = 4\text{—}12 \text{ мкА/см}^2$ в остаточном вакууме не хуже 10^{-5} Па на имплантаторах ИЛУ-3 и «Везувий-6». Во избежание перегрева и разрушения образца в процессе имплантации использовалась касета, обеспечивающая эффективный сток ионного заряда с поверхности полимера и плотный контакт пленок с металлическим основанием, охлаждаемым водой. При таких условиях в процессе имплантации температура образцов не превышала 350 К. Расчет пробега ионов осуществлялся программой SRIM [2], и для максимальной энергии ионов он не превышал 400 нм. Спектры отражения регистрировались в области непрозрачности пленок в диапазоне $\lambda = 200\text{—}500 \text{ нм}$ однолучевым спектрофотометром PROSKAN MC-122 при комнатной температуре с разрешением не хуже 3,7 нм. Спектральные зависимости изучались при падении света на имплантированную и неимплантированную поверхность пленки.

Результаты и их обсуждение

Анализ спектральных зависимостей отражения исходной и имплантированных ионами металлов полимерных пленок при падении света на имплантированную и неимплантированную поверхности показал, что в исходных образцах наблюдаются две слабые полосы отражения при $\lambda_1 = 254$ и $\lambda_2 = 311 \text{ нм}$. В имплантированных ионами металлов полимерных пленках при падении света на имплантированную поверхность этих полос не наблюдается, в то время как при падении света на неимплантированную поверхность интенсивность отражения на этих длинах волн увеличивается. Отсутствие полос при λ_1 и λ_2 в спектрах отражения имплантированной стороной обусловлено завершением процесса карбонизации приповерхностного слоя и полной деструкцией полимера в области пробега ионов, а их усиление при падении света на неимплантированную сторону свидетельствует о модификации полимера далеко за пределами пробега, так как толщина пленки много больше максимального пробега ионов. Такая модификация за пределами пробега ионов вызывается структурной перестройкой приповерхностной области пленки из-за релаксации в ней упругих напряжений в процессе имплантации.

В случае имплантации более легких ионов углерода и бора характерные полосы отражения при λ_1 и λ_2 наблюдаются при падении света как на неимплантированную, так и на имплантированную стороны, свидетельствуя о том, что в этом случае процессы карбонизации в приповерхностном слое не так ярко выражены, а наиболее сильно модифицированный слой захоронен под слоем слабо разупорядоченной полимерной матрицы. Детальный анализ спектральных зависимостей отражения показал, что в зависимости от режима имплантации наблюдаются сдвиги полос отражения λ_1 и λ_2 в коротковолновую область и увеличение интегрального коэффициента отражения при падении света как на имплантированную, так и на неимплантированную стороны.

В случае имплантации более легких ионов углерода и бора характерные полосы отражения при λ_1 и λ_2 наблюдаются при падении света как на неимплантированную, так и на имплантированную стороны, свидетельствуя о том, что в этом случае процессы карбонизации в приповерхностном слое не так ярко выражены, а наиболее сильно модифицированный слой захоронен под слоем слабо разупорядоченной полимерной матрицы. Детальный анализ спектральных зависимостей отражения показал, что в зависимости от режима имплантации наблюдаются сдвиги полос отражения λ_1 и λ_2 в коротковолновую область и увеличение интегрального коэффициента отражения при падении света как на имплантированную, так и на неимплантированную стороны.

Заключение

Имплантация ионов переходных металлов в полимерные пленки приводит к формированию на имплантированной поверхности карбонизированного слоя с включениями наночастиц имплантируемых ионов, а при имплантации ионов бора и углерода происходит формирование заглубленного модифицированного слоя. В обоих случаях наблюдается модификация приповерхностного слоя полимерной пленки с необлученной стороны. Обсуждаются физические причины эффекта “дальнодействия”, т.е. модификации структуры полимера за пределами пробега имплантированных ионов и сдвига полос λ_1 и λ_2 в коротковолновую область спектра.

1. Бумай Ю.А., Волобуев В.С., Валеев В.Ф., Долгих Н.И., Лукашевич М.Г., Хайбуллин Р.И., Нуждин В.И., Оджаяев В.Б. Оптические характеристики композита, полученного имплантацией ионов серебра в полиэтилентерефталат // ЖПС. — 2012 (79), № 5, 781—787
2. Particle Interactions with Matter [Electronic resource] / ed. James F. Ziegler. — U.S.N.A. Annapolis, MD, USA. — Mode of access : <http://www.srim.org/>. — Date of access: 30.10.2013.

ПОЛУЧЕНИЕ ПОРИСТЫХ ПОГЛОТИТЕЛЕЙ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Н.С. Лукичева, А.Ю. Кузнецов

Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна, Санкт-Петербург, Россия;
Thvikm@yandex.ru

Разливы нефти и нефтепродуктов наносят ощутимый вред экосистемам, приводят к негативным экономическим и социальным последствиям. Эта проблема может быть успешно решена путем применения сорбентов для сбора нефтяных загрязнений.

Цель данной работы заключалась в получении сорбентов-поглотителей нефтепродуктов и исследовании их свойств.

Слоистые композиты получали с использованием фенолоформальдегидной смолы (ФФС), нетканого углеродного материала на основе гидратцеллюлозы (НУМ) и интеркалированного графита (ИГ) в качестве наполнителя. Слои ФФС, НУМ и ИГ чередовались в объеме композита. Термообработку осуществляли в муфеле при $T = 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 2 минут и 2,5 минут. Были получены композиты с массой интеркалированного графита от 1 г до 6 г. В процессе термообработки интеркалированного графита за счет образования газообразных продуктов между графитовыми слоями возникает внутрислойное давление, и газопаровая фаза выходит из графитовой матрицы как вдоль графитового слоя, так и

перпендикулярно ему. Происходит разрыв и подвижка графитовых слоев вплоть до образования пеноподобной структуры, что придает дополнительную пористость композиционному материалу.

Проведены исследования по изучению сорбционных свойств, полученных слоистых композиционных материалов по отношению к нефти. Выявлено, что наилучший результат по сорбционной емкости ($CE = 28\text{ г/г}$) имеет композит, полученный за время процесса термообработки 2 минуты и с массой интеркалированного графита 5 г. Таким образом, композиционные материалы на основе фенолоформальдегидной смолы (ФФС), нетканого углеродного материала на основе гидратцеллюлозы и интеркалированного графита (ИГ) являются эффективными сорбентами для сбора нефти и нефтепродуктов.

Работа выполнена в соответствии с грантом «Разработка фундаментальных и прикладных основ получения наноструктур, полимерных и композиционных материалов со специальными свойствами» 2014/186 проект 2233 под руководством проф., д.т.н. А.А. Лысенко.

ВЛИЯНИЕ ДЕМПФИРУЮЩИХ ВСТАВОК ИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА НА ВИБРОУСТОЙЧИВОСТЬ СБОРНЫХ РЕЗЦОВ С СМП

М.И. Михайлов

Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Гомель, Беларусь;
Mihailov@gstu.by

Изучению свойств полимеров и композиций на их основе с целью определения путей их оптимального использования в качестве покрытий, в том числе фрикционного назначения, посвящён целый ряд научных исследований. Анализ исследований, посвящённых изучению свойств полимеров, показывает, что значительная часть полимеров, при определённых условиях эксплуатации, может быть применена для создания материалов различного назначения. Исследование физико-механических аспектов отверждения ненасыщенных полиэфирных и эпоксидных смол, содержащих фрикционные добавки и дисперсные наполнители, позволяют разработать новые материалы с определёнными физико-механическими и фрикционными свойствами, позволяющими повысить эксплуатационные показатели сборного режущего инструмента [1].

Целью данного исследования является изучение влияния демпфирующих вставок державок и покрытий их базовых поверхностей на виброустойчивость сборных резцов со сменными многогранными пластинами.

Материалы и методы исследований

Предварительные эксперименты позволили в качестве основного полимерного материала выбрать композицию из эпоксидной и полиэфирной смол с соответствующими для этих смол отвердителями. Исследование резцов с сечением державок 15×25 выполнялось численным моделированием на основе метода конечных элементов. Вылет инструмента из резцедержателя составлял 50 мм. Исследованию подвергались две партии резцов: в первой партии

отверстия державок заполнялось демпфирующим композиционным материалом, во второй партии базовая поверхность державок покрывалась тонким слоем композиционного материала.

Результаты и их обсуждение

На первом этапе исследований были определены перемещения и напряжения в резцах при действии статических нагрузок. При вылете резца из резцедержателя в 30 мм влияние демпфирующих элементов было незначительным. На втором этапе выполнялся частотный. Первая частота собственных колебаний соответствовала 1,0 кГц. Уменьшение вылета резца из резцедержателя в 1,5 раза приводил к увеличению частоты собственных колебаний в два раза до 2,0 кГц. Анализ вынужденных колебаний производился при переменной силе резания с амплитудой $\pm 0,3P_z$. Амплитуда колебаний составляла 43,4 мкм. Наибольшее влияние на виброустойчивость оказывало покрытие базовой поверхности державки (табл. 1).

Таблица 1. Результаты расчета собственных частот

Номер гармоники	Частота, рад/сек	Частота, Гц
1	40620,432	6464,943
2	62145,031	9890,689
3	72822,990	11590,139
4	100901,513	16058,975
5	109141,318	17370,380

1. Михайлов М.И. Сборный металлорежущий механизированный инструмент: Ресурсосберегающие модели и конструкции / Под ред. Ю.М. Плещачевского. — Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого. — 2008

ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ ПОРИСТЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ФЕНОЛЬНОЙ СМОЛЫ

Я.О. Перминов, И.А. Кобычно, А.А. Лысенко

Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна, Санкт-Петербург, Россия

Многие современные технологии связаны с получением или обработкой материалов при высоких или сверхвысоких температурах (от 1000 до 3000 °С). Примерами таких технологий могут служить закалка металлов и сплавов (1000—1300 °С) [1], термохимическое азотирование и цементация (800—1000 °С), процесс получения углеродных волокон (до 3000 °С) [2], синтез углеродных нанотрубок и фуллеренов (3000 °С) [3] и т.д.

Для осуществления высокотемпературных процессов при конечных температурах термообработки (КТТО) выше 1200 °С чаще всего используются специальные высокотемпературные печи сопротивления, работающие в средах инертных газов либо в вакууме. Важнейшими элементами таких печей являются нагревательные элементы и теплоизоляция. Разработка новых видов теплоизоляции — важная и актуальная задача, так как эффективность теплоизоляции влияет на многие технические характеристики — вес оборудования, равномерность прогрева, энергосбережение, возможность использовать более высокотемпературные процессы. Кроме того толщина и теплопроводность теплоизоляции довольно сильно влияет на скорость нагрева и остывания печи [4].

Цель

Целью работы являлось получение пористых углерод-углеродных композиционных материалов и изучение их теплозащитных свойств.

Материалы и методы исследований

В работе использовали следующие реактивы: смола фенолоформальдегидная СФЖ-309, паратулоульфокислота, гидрокарбонат натрия, технический углерод марки П-705. Измерения общей по-

ристости и кажущейся плотности проводили согласно ГОСТ 24468–80, открытую пористость определяли по водопоглощению в соответствии с ГОСТ 2409–95. Для косвенной оценки теплозащитных свойств производилось сравнение перепада температур между лицевыми гранями образцов при равной тепловой нагрузке (нагреву при 400 °С в течение 1 часа) и толщине образцов (1,5 см), в качестве эталонов были выбраны материалы с известной теплопроводностью (сталь 45, асбест).

Результаты и их обсуждение

В ходе работы был получен ряд образцов с кажущейся плотностью 0,17—0,40 г/см³, с общей пористостью до 78%, с открытой пористостью до 62%, перепад температур между лицевыми гранями образцов составил 224—350 °С, введение 0,5% технического углерода позволило добиться повышения выхода углеродного остатка на 15% при одновременном снижении усадки на 30% по сравнению с ненаполненными образцами. Полученные композиты показали себя перспективным материалом для низкоплотной высокотемпературной теплоизоляции.

Публикация подготовлена по материалам исследований, выполняемых в рамках контракта № ЮВК-2012-6 от 21.12.2012 г.

1. Лахтин Ю.М. *Металловедение и термическая обработка металлов.* — М.: Металлургия. — 1976, 55—75
2. Конкин А. А. *Углеродные и другие жаростойкие волокнистые материалы.* — М.: Химия. — 1974, 148—210
3. Morgan P. *Carbon Fibers and Their Composites.* — Taylor & Francis Group, LLC. — 2005
4. Погребиский М.Я. *Разработка способов и систем регулирования температуры электропечей сопротивления с улучшенными энергетическими показателями: Автореферат дис. ... канд. тех наук.* — М. — 2001

МОДИФИКАЦИЯ РЕЗИН НА ОСНОВЕ ПРОПИЛЕНОКСИДНОГО КАУЧУКА УЛЬТРАДИСПЕРСНЫМИ ДОБАВКАМИ РАЗЛИЧНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ

Н.Н. Петрова¹, В.В. Портнягина²

¹Институт естественных наук СВФУ им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия, pnn2002@mail.ru;

²Горный факультет СВФУ им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия

Цель

Разработка резин повышенной морозостойкости на основе пропиленоксинового каучука и высокодисперсных наполнителей органической и неорганической природы. Исследование влияния наполнителей (природные каркасные и слоистые алюмосиликаты, алмазографит, оксид графена, ультрадисперсный ПТФЭ) на фазовую морфологию и эксплуатационные свойства резин.

Материалы и методы исследований

Пропиленоксидный каучук (ТУ 2294-067 - 16810126-99) — эластомер уникальной морозостойкости ($T_c = -74^\circ\text{C}$), высокая работоспособность, которого в суровых климатических условиях Крайнего Севера доказана при проведении длительных натуральных испытаний в среде нефти (г. Якутск).

Высокодисперсные наполнители: природные цеолиты якутского месторождения Хонгуруу, бентонитовые глины Хакасского и Курганского месторождений, алмазосодержащая шихта производства ЗАО «Синта», оксид графена, полученный химическим методом в лаборатории графеновых технологий СВФУ, ультрадисперсный политетрафторэтилен (ТУ 2229-004-02698192-2002).

Эластомерные композиции на основе СКПО готовили в пластикордере «BRABENDER PL-2200-3». Основные технические характеристики резин определяли согласно стандартным методикам (ГОСТ 270–84, ГОСТ 9.029–74, ГОСТ 408–78, ГОСТ 9.030–74). Износостойкость смесей оценивали на приборе AP-40 по методу определения сопротивления истиранию и машине трения Ми-2. Структуру материалов исследовали с помощью электронного сканирующего микроскопа JSM-6480LV фирмы «JEOL», снабженного рентгеноспектральной приставкой «Oxford», дифференциально-сканирующего калориметра DSC 204 F1 Phoenix Фирмы NETZSCH, широкоугольного дифрактометра X'TRA Thermo Scientific, ИК-Фурье-спектрометра Varian 7000FT-IR.

Результаты и их обсуждение

Эластомерные материалы — материалы, способные к многократным обратимым деформациям при приложении малых нагрузок, широко используются в различных видах устройств и механизмов в качестве уплотнительных изделий, герметизирующих различные соединения и предотвращающих утечку рабочей среды. Подобного рода материалы

при эксплуатации в арктических условиях должны иметь высокую морозостойкость, которая в значительной мере определяет работоспособность изделий и механизма в целом, определенный уровень прочностных характеристик, высокие релаксационные свойства и низкий уровень набухания в рабочих средах. Пропиленоксидный каучук нуждается в улучшении двух последних показателей.

Высокий уровень износостойкости, низкие значения остаточной деформации сжатия, которая характеризует способность резины к эластическому восстановлению, достигаются введением в резиновую смесь порошкообразных наполнителей, обладающих низким коэффициентом трения (УПФЭ), легкостью скольжения и отслаивания фрагментов структуры (углеродные наполнители), их структурной активностью по отношению к эластомерной матрице. В ряде случаев, как это было показано на примере УПТФЭ, происходит перераспределение вводимого компонента между поверхностью и объемом фазы, улучшающее поверхностные свойства материалов (масло- и износостойкость). Использование УПТФЭ (патент РФ №2502759, 2012, патент США, 8841370, 2014), отличающегося от традиционного ПТФЭ способом получения, химическим строением, молекулярной массой и степенью дисперсности (средний размер частиц 0,6 мкм против 50-100 мкм у ПТФЭ), позволяет снизить объемный износ резин до 35%, степень набухания в нефти до 20% при введении малых количеств УПТФЭ (1 мас.ч. в отличие от 20 мас.ч. традиционного ПТФЭ) без потери низкотемпературных характеристик.

Аналогичные результаты получены при модификации СКПО слоистыми алюмосиликатами (патент РФ №2493183 «Морозостойкая резина на основе пропиленоксидного каучука и природных бентонитов», 2012 г., патент США 8822579, 2014), эта разработка в 2014 году была отмечена дипломом Роспатента «100 лучших изобретений России — 2013». Малые (нано- и ультрадисперсные) размеры частиц вводимых добавок, их малое содержание в резиновой смеси, не превышающее 1,5—3 мас.ч., не препятствует проявлению пропиленоксидным каучуком высокоэластических свойств и сохраняют высокую морозостойкость основы. Данные резины рекомендованы для применения в качестве уплотнительных деталей, работающих в углеводородной среде.

КАПСУЛИРОВАНИЕ МИКРОЧАСТИЦ ВОЛЬФРАМА В ПОЛИСТИРОЛ

А.В. Смирнов, И.В. Синёв

Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, Саратов, Россия;
smirnov-sgu@yandex.ru

Композиционные металл-полимерные материалы имеют перспективы широкого применения в акустике. Совершенствование композиционных материалов требует пристального внимания к методам их формирования [1,2]. При формировании металл-полимерного 0-3 композита с включениями микро- и наночастиц возникает ряд трудностей: неравномерность распределения тяжелых металлических микрочастиц по объему полимерной матрицы, агломерация наночастиц и налипание их на микрочастицы. Одним из способов предотвращения агломерации наночастиц и образования локальных 3-3 включений является совместный помол материалов матрицы и наночастиц металла. Однако при этом происходит разрушение микрочастиц металла. Для решения данной проблемы предлагается проводить предварительное капсулирование микрочастиц металла в материал матрицы (рис. 1).

В качестве источника частиц металла был выбран вольфрам порошкообразный (Кировградского завода твердых сплавов, РФ) марки 20,0 со средним размером частиц 20 мкм. В качестве полимера использован типичный аморфный полимер — полистирол марки 500(ОАО «Нижнекамскнефтехим», РФ). Средний размер гранул 3 мм. С помощью шаровой планетарной мельницы Pulverisette 7 (Fritch, Германия) гранулы полистирола измельчались до размера порядка 0,9 мкм. Исходный порошок вольфрама был обработан по методике описанной в [3] для уменьшения разброса частиц по размеру. Размеры частиц порошков на всех этапах контролировались с помощью оптического микроскопа MET 1M (Альтаи, РФ). Порошки вольфрама и полистирола навешивались с помощью аналитических весов EP214C (Ohaus, США) для получения смеси микрочастицы вольфрама — молотый полистирол с соотношением компонентов по массе 1:100. Для получения однородности распределения частиц вольфрама по объему полученная смесь перемешивалась с помощью установки RD-9912 (Glas-Col, США), в пробирке объемом 30 мл. Для улучшения качества перемешивания в пробирку добавлялось 10 шаров из карбида вольфрама диаметром 5 мм. Время перемешивания составляло 50 часов. После этого смесь порошка вольфрама и полистирола обрабатывалась в камере микроволновой печи типа MW87KP (Samsung, Тайланд) в течение 160 сек при мощности 850 Вт. Для отделения капсулированных частиц вольфрама от полистирола смесь помещалась в стакан ёмкостью 200 мл, наполненный глицерином марки ч ГОСТ 6259-75 (Черкасский завод химреактивов, Украина), и обрабатывалась в ультразвуковой

ванне типа UD100SH-4 (EUMAX, КНР). За счёт разности плотностей капсулированные частицы вольфрама оседали на дно стакана, а частицы полистирола оставались на поверхности жидкости. Частицы капсулированного в полистирол вольфрама отфильтровывались и высушивались с помощью термостата суховоздушного типа ТС-1/80 (СПУ, РФ) при температуре 60 °С в течение 2 часов. На рис. 2 слева представлена частица вольфрама до капсулирования, справа — после.

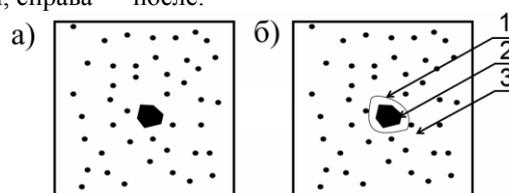


Рис. 1. а — частица вольфрама до обработки в микроволновой печи; б — после обработки. 1 — оболочка из полистирола, 2 — частица вольфрама, 3 — порошок полистирола.

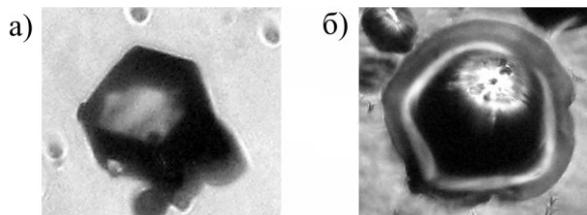


Рис. 2. Фотографии частиц вольфрама: а — до; б — после капсулирования.

Полученный таким образом порошок капсулированных микрочастиц позволит создавать широкий спектр композиционных материалов, включающих помимо микрочастиц металлических наночастицы. Варьируанием процентного содержания обеих фракций можно получить материал с уникальными свойствами. Использовать подобный материал можно, например, в качестве согласующих слоёв в ультразвуковых излучателях и приёмниках или в качестве демпфирующего слоя в пьезоэлектрических резонаторах.

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента РФ (Конкурс СП-2015) и гранта № 13-08-00678 Российского фонда фундаментальных исследований.

1. Akdogan E.K., Allahverdi M., and Safari A. Piezoelectric Composites for Sensor and Actuator Applications // IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control. — 2005 (52), no. 5, 746—775
2. Paul Kah, Raimo Suoranta, Jukka Martikainen, and Carl Magnus. Techniques for Joining Dissimilar Materials: Metals and Polymers // Rev. Adv. Mater. Sci. — 2014 (36), 152—164
3. Смирнов А.В., Синёв И. В., Шихабудинов А. М Акустические свойства композита 0-3 на основе вольфрама и полистирола // Журнал радиоэлектроники. — 2012 (12)

ВОДОРАЗБАВЛЯЕМОЕ ЭПОКСИДНОЕ СВЯЗУЮЩЕЕ ДЛЯ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.З. Чалабиева, Н.Я. Ищенко

Институт полимерных материалов НАН Азербайджана, Сумгайыт, Азербайджан; nelly1949@yandex.ru

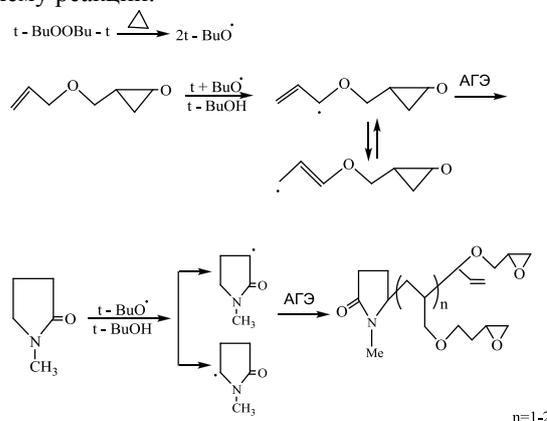
В связи с обострением мирового энергетического кризиса и ужесточением требований к охране окружающей среды, в последние годы произошли изменения в ассортименте лакокрасочной продукции [1, 2]. Органоразбавляемые лакокрасочные материалы (ЛКМ) остаются в прошлом, на смену им приходят более полноценные в экологическом отношении водоразбавляемые ЛКМ. В качестве пленкообразователей в таких ЛКМ применяются эпоксидные смолы. Интенсивно идет поиск новых сырьевых ресурсов для синтеза перспективных водоразбавляемых эпоксидных смол. В этом направлении согласно литературным данным, эпоксидные олигомеры (ЭО) на основе глицидиловых эфиров и лактамов, благодаря ценному комплексу свойств, являются перспективными материалами [3].

Целью данной работы явилось получение эпоксидного теломера, имеющего в структуре эпоксидную группу и лактамный цикл и опробование в качестве водоразбавляемого связующего для ЛКМ.

Синтез теломера осуществлен взаимодействием аллилглицидилового эфира (АГЭ) с N-метилпирролидоном (НМП) под действием свободных радикалов, инициируемых при термическом распаде дитретбутилпероксида. Следует отметить, что реакция протекает в одну стадию, процесс безотходный и экологически чистый. Непрореагиро-

вавший АГЭ возвращается в реакцию для повторного синтеза.

Структура полученного олигомера изучена методами ИК-, ПМР-спектроскопией и элементным анализом. Теломер представляет собой низковязкое вещество с молекулярной массой 450—470 г/моль, эпоксидное число 26%. Совокупность полученных данных позволяет предположить нижеследующую схему реакции.



На базе разработанной смолы получен водоразбавляемый ЛКМ, характеризующиеся показателями приведенными в таблице.

Таблица. Некоторые физико-механические характеристики лаковой композиции на основе эпоксителомера

Композиция состава, мас.ч.	Адгезия методом решетчатого надреза, %	Твердость по МЭ-3	Ударопрочность, кгс/см	Время высыхания покрытия, час	Стойкость к агрессивным средам			Водопоглощение при 20 °С 24 ч, %
					НСl 10%	КОН 10%	H ₂ O	
Теломер + ПЭПА (15 мас.ч.)	85—88	0,63	4,7	3,1	Цвет не меняется			0,020
ЭД-20 + ПЭПА (15 мас.ч.)	80—82	0,60	4,5	2,5				0,015

Синтезированный эпоксидный теломер также обладает хорошими поверхностно-активными свойствами и для улучшения смачиваемости не требует в отличие от существующих связующих введение в состав поверхностно активных веществ ($\cos Q = 0,7026$).

1. Бабкин О.Э. ЛКМ современного ассортимента, их преимущество и недостатки // Снабжения. — 2011, № 6, 1—6
2. Елисеев А.Д., Бабылев В.А. // Лакокрасочная промышленность. — 2009, № 9, 12—16
3. Кирилл Ю.Э. Поли-N-винилпирролидон и другие поли-N-виниламиды. — М.: Наука. — 1998

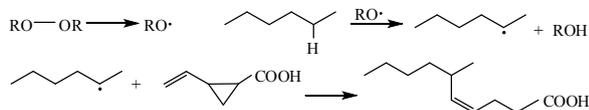
ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ ПОЛИЭТИЛЕНА ВИНИЛЦИКЛОПРОПАНКАРБОНОВОЙ КИСЛОТОЙ В ПРОЦЕССЕ ЕЕ ПЕРЕРАБОТКИ

Р.З. Шахназарли, Г.А. Рамазанов, А.М. Гулиев

Институт полимерных материалов НАН Азербайджана, Сумгайыт, Азербайджан; abasgulu@yandex.ru

Область применения полиолефинов можно расширить, если вводить в их структуру реакционноспособные полярные группы. Это возможно путем осуществления функционализации полиэтилена полярными мономерами. При функционализации полиэтилена по свободнорадикальному механизму возможно присоединение к полимерной цепи различных реакционноспособных групп, способных обеспечивать в дальнейшем вулканизацию полученного продукта. В частности, таким способом на основе полиэтилена получают сульфохлорированный полиэтилен, карбоксилатный каучук, являющиеся эластомерными продуктами, способными к сшивке [1—3].

Нами в условиях переработки полиэтилена осуществлена реакция функционализации с использованием в качестве полярного мономера винилциклопропанкарбоневой кислоты, полимеризующейся по изомеризационному механизму с одновременным раскрытием двойной связи и трехчленного цикла:



Реакция полиэтилена высокого давления с винилциклопропанкарбоневой кислотой в течение 1 часа при 150 °С в присутствии перекиси ди-третичного бутила приводит к образованию как нерастворимого в ксилоле сшитого полиэтилена, так и растворимого в ксилоле полиэтилена, содержащего присоединенные звенья винилциклопропанкарбоневой кислоты. С целью уменьшения количества сшитой фракции, процесс прививки проводили в присутствии N-фенил-2-нафтиламина, ингибирующего процесс сшивки.

Содержание привитой винилциклопропанкарбоневой кислоты регулировали изменением соот-

ношения «полиэтилен — винилциклопропанкарбоневая кислота».

Наличие в боковой цепи карбоксилированных непредельных групп позволяет в дальнейшем использовать их в качестве центров вулканизации. Содержание карбоксильных функциональностей, так же, как и непредельных групп (пентенамерных фрагментов) было определено неводным титрованием щелочью с использованием родаминового красителя.

На основе полученного карбоксилированного полиэтилена (содержание COOH — 3,8—4,0%) были изготовлены композиции и изучены их свойства. Показано, что полученные сшитые материалы имеют высокие прочностные показатели.

Полученный карбоксилированный полиэтилен, содержащий непредельные группы, был использован также в качестве добавки к непредельным эластомерам при получении резин.

Таким образом, разработанный способ является удобным методом введения карбоксильных групп и непредельной связи в макромолекулярную цепь полиэтилена, наличие которых позволяет проводить вулканизацию полученных модификатов. Такая модификация способствует образованию сетчатых структур и придает полиэтилену ряд ценных свойств, в частности — адгезию к различным материалам, высокую разрывную прочность, упругость, высокое сопротивление разрыву и т.п.

1. Joshi R.M. A Carboxylic Rubber from Polyethylene // J. Appl. Polym. Sci. — 1979 (24), no. 2, 595—598
2. H.Raval, Y.P.Singh, M.H.Mehta and S.Devi. Grafting of Low Density Poly(ethylene) with Butyl Acrylate: Synthesis and Characterisation // Polymer International. — 1992 (24), no. 2, 99—104
3. Guliyev A.M., Shahnazarli R.Z., and Ramazanov G.A. Functionalization of Polystyrene by Vinylcyclopropane and Composition on the Basis of the Prepared Polymers / 2nd Polymeric composite symposium, Izmir, Turkey. — 2010, 289—301

СИНТЕЗ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА 'ЯДРО-МАГНИТНАЯ ОБОЛОЧКА'/ПОЛИМЕРНАЯ МАТРИЦА

О.А. Шилова¹, М.М. Сычев^{1,2}, Т.В. Хамова¹, П.В. Матвейчикова²

¹Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН, Санкт-Петербург, Россия; olgashilova@bk.ru

²Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Санкт-Петербург, Россия

Цель

Целью работы является синтез и исследование композиционных материалов на основе структур: 'ядро-оболочка'/полимерная матрица. Для достижения цели решены задачи синтеза композита 'ядро-оболочка'. При этом в качестве 'ядра' использован сегнетоэлектрический порошок титаната бария, а магнитная 'оболочка' формируется на поверхности частиц порошка золь-гель методом. Кроме того, в работе решается задача заключения композита 'ядро-оболочка' в полимерную матрицу и управления структурой и свойствами материала под воздействием внешнего магнитного поля.

Материалы и методы исследований

Титанат бария марки НРВТ-1В производства Fuji Titanium (Япония) с размером частиц 300—600 нм и диэлектрической проницаемостью $\epsilon \approx 4400$ модифицировали форматированием на его поверхности слоев $\text{SiO}_2\text{-CoFe}_2\text{O}_4$. Слой феррит кобальтовой шпинели наносили золь-гель методом посредством смешения порошка исходного титаната бария с кремнезолом, легированным соединениями Co и Fe. Концентрацию легирующих компонентов выбирали из расчета получения покрытия состава $23\text{CoO}\cdot 31\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 46\text{SiO}_2$ (мас.%).

Полученный наполнитель диспергировали в растворе ЦЭПС 34 (производства АО «Пластполимер», СПб, $\epsilon = 19$) в диметилформамиде (ДФА). Затем полученные образцы подвергали перемешиванию в закрытых стеклянных емкостях с керамическими телами на валках, после чего полученные композиты наносили методом литья через фильеру на подложку. Затем высушивали. Подложкой для нанесения функционального слоя является стекло с плотно притертым слоем алюминиевой фольги.

Диэлектрические характеристики полученных композитов исследовали на основе измеренной емкости и тангенса диэлектрических потерь с дальнейшим расчетом диэлектрической проницаемости.

Результаты и их обсуждение

Результаты рентгенофазового анализа и электронной микроскопии показали, что в результате синтеза был получен следующий композит: дисперсный порошок BaTiO_3 , заключенный в оболочку состава CoFe_2O_4 в матрице полимера ЦЭПС 34.

Результаты эксперимента показали, что диэлектрические параметры композита (тангенс диэлектрических потерь, сопротивление и ионной проводимость) зависят от того, приложено было магнитное поле при синтезе или нет. Изменение диэлектрической проницаемости в зависимости от условий синтеза материала показано на рис. 1.

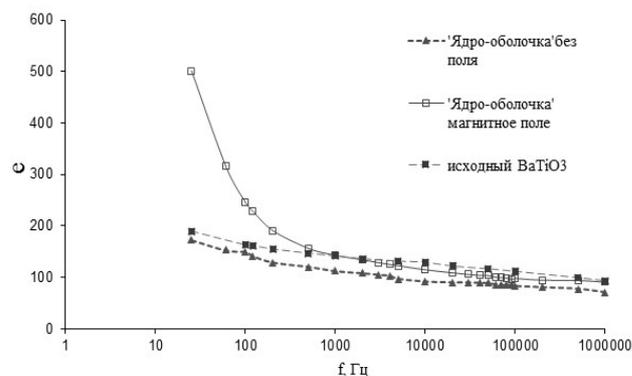


Рис. 1. Частотная зависимость диэлектрической проницаемости для композиционного материала 'ядро-оболочка'/полимерная матрица

Заключение

Показано, что золь-гель методом можно синтезировать композиционный материал со структурой 'ядро – BaTiO_3 , заключенное в магнитную оболочку состава CoFe_2O_4 , который в свою очередь распределен в матрице из полимера ЦЭПС-34.

Установлено, что на диэлектрические характеристики полученного материала существенное влияние оказывает внешнее магнитное поле, приложенное во время сушки композиционного материала.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Отделения химии и наук о материалах РАН № 7 «Создание научных основ экологически безопасных и ресурсосберегающих химико-технологических процессов. Отработка процессов с получением опытных партий веществ и материалов», проект: «Научные основы ресурсосберегающего синтеза импортозамещающих композиционных материалов на основе структур 'ядро-оболочка'/полимерная матрица для электроники и фотоники».

ФЛОТАЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ПОЛИСТИРОЛА

Е.В. Опимах

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

Цель

В настоящее время проблема утилизации пластмассовых отходов занимает одно из важнейших мест в мире. Вместе с тем, пластмассовые отходы являются источником вторичных энергетических и сырьевых ресурсов.

Важнейшей стадией процессов переработки пластмассовых отходов является сортировка их по типам пластмасс. Для этого широко применяются флотационные ванны, но только при переработке пластмасс с разными относительными плотностями.

Основным ограничением методов, основанных на плотности, является то, что многие пластмассы имеют практически равную или близкую плотность и, следовательно, эти пластмассы не могут быть разделены такими методами.

Свойство избирательной смачиваемости пластмасс в таких ваннах не используется. Однако в научно-технической литературе крайне ограничено представлена информация о том, что флотационное разделение пластмасс может производиться при использовании поверхностноактивных веществ (ПАВ), которые избирательно изменяют их гидрофильные свойства [1–5]. Данные о влиянии каких-либо факторов на флотационное разделение смесей измельченных пластмасс не встречаются в литературе.

Автором ранее были проведены исследования по разделению смеси измельченных АБС и ПА [6], а также исследована возможность флотации отходов ПЭТ [7]. Исследование процесса флотации измельченных пластмасс при использовании различных ПАВ позволит определить различные соотношения сил адгезии и когезии некоторых типов пластмасс. Благодаря этому будет известно при использовании каких ПАВ и условий процесса возможно извлечение заданной пластмассы из определенной смеси. Различные условия могут применяться на разных стадиях флотационного разделения смеси измельченных пластмасс, постадийно извлекая некоторые из них.

Целью данной работы являлось экспериментальное нахождение зависимостей извлечения полистирола (ПС) при его флотации от физических и режимных факторов.

Материалы и методы

Эксперименты были выполнены на лабораторном флотационном аппарате колонного типа с пневматической аэрацией. Концентрат отводился вместе с пеной в верхней части аппарата, а остаток – через штуцер в нижней части аппарата. Затем про-

водилась сушка и взвешивание, рассчитывалось извлечение ПС относительно исходного количества, подаваемого в аппарат, в процентах.

В качестве ПАВ использовали смесь, содержащую натрий лауретсульфат и диэтаноламид.

Результаты и их обсуждение

Проведенные исследования флотации ПС, представленного в виде частиц с размерами от 1 до 4 мм, в лабораторном флотационном аппарате позволили получить основные зависимости извлечения ПС от содержания ПАВ, расхода воздуха, высоты слоя аэрируемой жидкости и ее температуры. При флотации извлечение достигало 99%. Была определена достаточная высота слоя аэрируемой жидкости, равная 0,7 м, дальнейшее увеличение которой не влияет на извлечение ПС. Важной особенностью является то, что оптимальное извлечение наблюдается при малых количествах ПАВ и без подогрева жидкости.

Таким образом флотационное разделение пластмасс, основанное на их избирательной смачиваемости, является перспективным направлением при переработке смешанных пластмассовых отходов. Это позволит уменьшить затраты ручного труда на этапе постадийного разделения полимерных отходов. При простом аппаратурном оформлении и малых расходах ПАВ и воздуха возможно создание высокопроизводительного и автоматизированного процесса сортировки полимерных отходов.

1. Шайерс Дж. Рециклинг пластмасс: наука, технологии, практика / Пер. с англ. — СПб.: Научные основы и технологии. — 2012
2. Дуденков С.В. и др. Повышение эффективности заготовки, обработки, переработки и использования вторичных полимерных материалов // Обзорная информация «Рациональное использование вторичных полимерных материальных ресурсов». — 1979, вып. 9, 52
3. Патент № 5234110 США, МКИ В 03 В 9/06, В 03 D 1/02. Polyvinyl Chloride-Polyethylene Terephthalate Separation Process and Product / R.W. Kobler. — Заявл. 23.11.92; опубл. 10.08.93. — 1993
4. Патент № 4132633 США, МКИ В 03 D 1/02. Method for Separating Mixture of Plastics / Anon., to Mitsui Mining and Smelting Co., Ltd. — Заявл. 14.03.74; опубл. 02.01.79. — 1979
5. Шубов Л.Я., Ройзман В.Я., Дуденков С.В. Обогащение твердых бытовых отходов. — М.: Недра. — 1987
6. Опимах Е.В., Левданский А.Э. Разделение смеси полимеров методом флотации // Материалы, технологии, инструменты. — 2013, № 3, 96—99
7. Левданский А.Э., Опимах Е.В., Сейтханов Н.Т., Кыякбаев Б.А. Исследование флотации отходов ПЭТ // Ауэзовские чтения — 12: ЮКГУ им. М. Ауэзова. — Шымкент. — 2014 (1), 65—68

СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция 4

Трибоматериаловедение

**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ И ТРИБОЛОГИЯ
(ПОЛИКОМТРИБ-2015)**

23—26 июня 2015 г., Гомель, Беларусь

ОЦЕНКА АНТИФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ РАСТВОРОВ СУЛЬФОНАТОВ КАЛЬЦИЯ В ПОЛИАЛЬФАОЛЕФИНОВОМ МАСЛЕ

И.А. Буяновский¹, В.Л. Лашхи², А.И. Доценко³, В.Д. Самусенко³

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

²ЗАО фирма «НАМИ-ХИМ», Москва, Россия

³Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

Цель работы

Одним из наиболее важных компонентов современных моторных масел являются моющие присадки (детергенты), которые вводятся в эти масла в наибольшем количестве и предназначаются в значительной степени для нейтрализации кислых продуктов разного характера, накапливающихся в работающих моторных маслах, и для снижения образования отложений на металлических поверхностях при высоких температурах. В то же время в технической литературе практически отсутствуют сведения о влиянии этих присадок на антифрикционные свойства масел, в то время, как эти характеристики относятся к числу наиболее важных эксплуатационных показателей масел, оказывающих значительное влияние на надёжность двигателя. Целью настоящей работы является оценка смазочных свойств характерных моющих присадок — сульфонатов кальция различного уровня щёлочности.

Материалы и методы

В представленном докладе приводятся результаты исследования антифрикционных свойств сульфонатов кальция, широко применяемых в настоящее время в качестве моющих присадок для моторных масел [1], которые отличаются по величине исходного щелочного числа, которое варьировалось в пределах от 15 до 400 мг КОН/г. Как известно, [2], сульфонат кальция образует мицеллярные растворы и представляет собой коллоидную дисперсию сульфоната кальция, стабилизированную нейтральным сульфонатом. В качестве базового применяли известное полиальфаолефиновое масло ПАО-4. Исследуемые присадки вводились в базовое масло в концентрации 1% (по массе). Щёлочность исследуемых моющих присадок (детергентов) приведены в таблице.

Детергент	Величина щелочного числа, мг КОН/г
А	15
Б	150
В	175
Г	370
Д	400

Антифрикционные свойства этих присадок оценивались температурным методом на машине трения КТ-2 [3].

Результаты и их обсуждение

Результаты проведённого эксперимента приведены на рис. 1 в виде зависимости коэффициента трения от температуры.

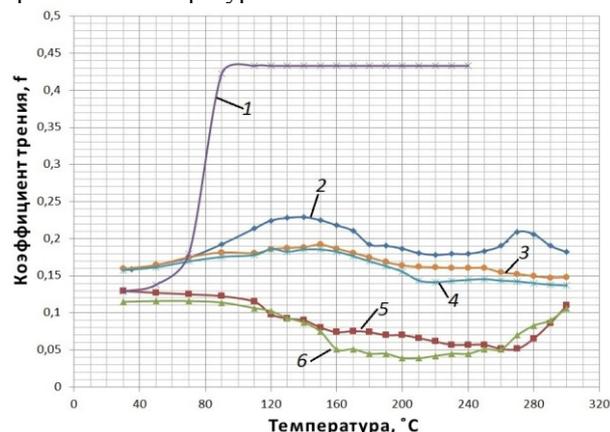


Рис. 1. Зависимости коэффициентов трения от температуры в среде: 1 — масло ПАО-4; 2 — то же + 1% детергента А; 3 — то же + 1% детергента Б; 4 — то же + 1% детергента В; 5 — то же + 1% детергента Г; 6 — то же + 1% детергента Д

Таким образом, установлено, что детергенты оказывают заметное влияние на коэффициенты трения стальных образцов. При введении в масло ПАО-4 исследуемых детергентов коэффициенты трения во всём интервале исследуемых температур испытания существенно уменьшаются (см. рис. 1). Более того, значения коэффициента трения практически линейно снижаются с ростом значений щелочного числа от детергента А до детергента Д (от 0,18 при щелочном числе 15 до 0,06 при щелочном числе 400). Следовательно, влияние моющих присадок (во всяком случае — сульфонатов кальция) на смазочные свойства масел достаточно велико и его нельзя не учитывать при составлении современных смазочных композиций, причём особое значение принимает учёт взаимодействия детергентов и трибологически активных присадок.

1. Чудиновских А.Л., Лашхи В.Л. Химмотологические аспекты действия детергентов в моторных маслах. — М.: Изд-во МГУ. — 2013
2. Главати О.А. Физико-химия диспергирующих присадок к маслам. — Киев: Наукова думка. — 1989.
3. Матвеевский Р.М., Лашхи В.Л., Буяновский И.А. и др. Смазочные материалы. Антифрикционные и противоизносные свойства. Методы испытаний. — М.: Машиностроение. — 1989

STRUCTURE-MORPHOLOGY-PROPERTY EFFECTS ON MECHANICAL, FRICTION AND WEAR PROPERTIES OF PTFE/EPDM COMPOSITES

U. Gohs¹, M.S. Khan², D. Lehmann¹, G. Heinrich^{1,3}, R. Frank⁴

¹Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V., Dresden, Germany; gohs@ipfdd.de

²Federal-Mogul Corporation, 65201 Wiesbaden, Germany

³Technische Universität Dresden, Institut für Werkstoffwissenschaft, 01069 Dresden, Germany

⁴IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH Dresden, 01109 Dresden, Germany

Aim

Crosslinked elastomers (rubbers) have exceptional elastic mechanical properties, but poor friction and wear properties. Thus, friction-modifiers were used for overcoming this drawback [1, 2]. Polytetrafluoroethylene (PTFE) has low friction coefficient and can also be used as friction modifier, but its highly hydrophobic surface hinders wetting and dispersion.

The modification of PTFE powder with high energy electrons generates PTFE micro-powder as well as trapped radicals and functional groups on the powder surface which can be used for increased adhesion between PTFE micro-particle and rubber [3]. During peroxide vulcanization radiation modified PTFE powder influences the crosslinking efficiency and results in poor mechanical, friction and wear properties of PTFE/rubber composites [4]. Crosslinking of rubber containing PTFE powder by high energy electrons offers an alternative [5—6]. Thus, the influence of surface activity of PTFE powder on dispersion and morphology as well as mechanical, friction and wear properties of PTFE/rubber composites can be studied.

Materials and methods

Buna EP G6850, an ethyldene norbornene (ENB) containing ethylene propylene diene rubber (EPDM), was obtained from Lanxess Deutschland GmbH, Leverkusen, Germany. This EPDM contains 51 wt.% of ethylene and 7.7 wt.% of ENB. It has a Mooney viscosity, ML (1+4) at 125 °C, of 60. PTFE powder L100X was obtained from Solvay Solexis (Italy) and modified by high energy electrons at Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V. In addition, two commercially irradiated PTFE powders, MP 1100 and MP 1200, were procured from DuPont (Wilmington, USA).

PTFE/EPDM composites of 77/23 weight ratio were prepared in an internal mixer and afterwards placed in between non-sticking polyesters films for compression moulding. The moulded plates of PTFE/EPDM were crosslinked via high energy electrons at different values of dose in order to study the influence of network density and PTFE adhesion to the EPDM matrix on properties of PTFE/EPDM composites. Tangent delta, tensile properties, friction coefficient, and specific wear rate were measured. Finally, scanning electron microscopy was used to study dispersion, morphology, and wear mechanism of PTFE/EPDM composites.

Results and discussion

The friction force between rubber and a hard counter surface consists of an adhesion and hysteresis component. The hysteresis component results from internal friction in the rubber. In the case of PTFE/EPDM composites, the hysteresis controls the wear rate if tan delta at 50 °C is higher than 0.35 (Fig. 1).

Thus, the influence of surface activity and dispersion of PTFE powder as well as the morphology of PTFE/EPDM composite on the adhesion component can be studied for tan delta values less than 0.35. In comparison to commercially irradiated PTFE powders, our modified PTFE powder L100X shows improved mechanical, friction and wear properties due to optimum embedment of modified L100X PTFE agglomerates in the EPDM matrix and chemical interaction between PTFE powder and EPDM matrix. Thus, our approach opens a new route for the use of electron modified PTFE micro-powder in rubber composites for tribological applications.

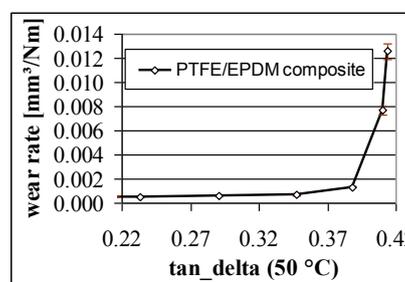


Fig. 1. Wear rate as function of tan delta

- Gatos K.G. et al. On the Friction and Sliding Wear of Rubber/Layered Silicate Nanocomposites // *eXPRESS Polymer Letters*. — 2007 (1), 27—31
- Felhös D. et al. Tribological Testing of Peroxide Cured HNBR with Different MWCNT and Silica Content under Dry Sliding and Rolling Conditions Against Steel // *Journal of Applied Polymer Science*. — 2008 (108), 2840—2851
- Haberstroh E. et al. Verbesserte tribologische Eigenschaften von Elastomeren durch PTFE Pulver // *Kautschuk Gummi Kunststoff*. — 2006 (59), 447—453
- Khan M. S. et al. Tribological Studies of Peroxide-Cured EPDM Rubber Filled with Electron Beam Irradiated PTFE Powder // *Wear*. — 2009 (266), 200—207
- Khan M. S. et al. Structure-Property Effects on Mechanical, friction and Wear Properties of Electron Modified PTFE Filled EPDM Composite // *eXPRESS Polymer Letters*. — 2009 (3), no. 1, 39—48
- Khan, M. S. et al. Friction and Wear behaviour of Electron Beam Modified PTFE Filled EPDM Compounds // *Wear*. — 2009 (266), 175—183

СОВМЕСТИМОСТЬ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ГРАНИЦАХ ЗЕРЕН И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ СТАЛИ

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

Целью работы является изучение зернограничной сегрегации в стали и ее влияния на износостойкость поверхностных слоев. В наших предыдущих работах взаимодействие атомов на границах зерен изучалось с помощью модельных многоатомных кластеров, состоящих из атомов железа и сегрегированных элементов [1]. Было показано, что кластеры сравнительно малого размера дают возможность на качественном и полуколичественном уровнях исследовать изменения энергии связи между сегрегированными атомами и поверхностью зерен железа. В данной работе взаимодействие атомов примесных и легирующих элементов с поверхностью зерен изучается с помощью модели бесконечной пластины с периодическими граничными условиями.

На рис. 1 изображено расположение атомов в модели пластины. Верхние и нижние слои состоят из атомов железа, а средний слой — из атомов примесных и легирующих элементов. Эту модель можно рассматривать как бесконечно повторяющуюся в пространстве элементарную ячейку. Такой подход позволяет использовать периодические граничные условия и расчёт системы проводить с помощью известных методов твердотельных зонных расчётов.

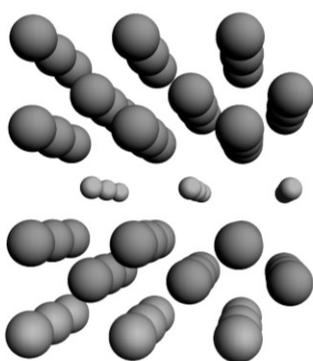


Рис. 1. Модель пластины

Для оценки прочности связи между зёрнами рассчитывались энергия E_s связи всей модельной системы (сегрегационного комплекса) и энергии связи E_g и E_a двух частей, на которые система распадается при разрушении. Одна из этих частей — подсистема из верхних слоев железа, другая — подсистема из нижних слоев железа и атомов примесных и легирующих элементов. Энергия E_d , необходимая для распада комплекса, определяется по формуле:

$$E_d = |E_s - E_g - E_a| \quad (1)$$

Все эти энергии приведены в расчёте на одну элементарную ячейку. Для проведения расчётов использовался пакет программ ADF-BAND [2].

На рис. 2 зависимость энергии E_d от атомного номера примесного элемента X представлена графически. Здесь же для сравнения приведены энергии распада, полученные в кластерном приближении (две верхние линии, рассчитанные для 18- и 30-атомных кластеров). Нижняя кривая соответствует результатам, полученным для модели пластины. Поскольку численные значения E_d для разных моделей относятся к разным по размерам объектам и рассчитаны в разных приближениях, они не должны совпадать. Наиболее важной особенностью кривых является периодическая зависимость величины E_d от атомного номера элемента X , которая на рисунке чётко проявляется, и эта зависимость подобна для всех трёх кривых.

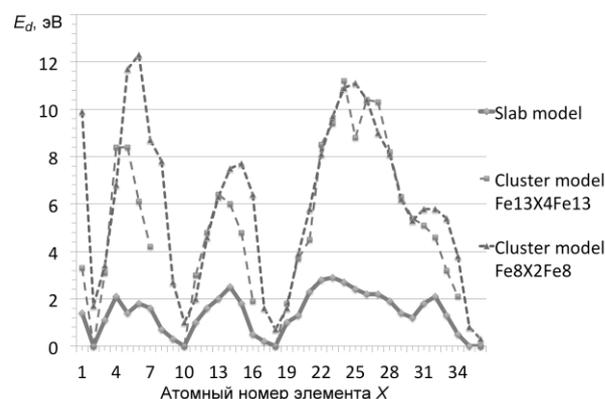


Рис. 2. Зависимость энергии связи сегрегационного комплекса от атомного номера примесного элемента X

Полученная зависимость согласуется с известными экспериментальными фактами. Она может служить теоретической базой для предсказания прочностных свойств поликристаллических материалов, в которые вводятся различные легирующие добавки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 14-29-00116).

1. Migal Yu.F., Kolesnikov V.I., Doronkin V.N., and Novikov E.S. Interaction of Atoms with Grain Surfaces in Steel: Periodic Dependence of Binding Energy on Atomic Number and Influence on Wear Resistance // *Advances in Materials Physics and Chemistry*. — 2012 (2), no. 4, 201—207
2. te Velde G., Bickelhaupt F. M., van Gisbergen S.J.A., Fonseca Guerra C., Baerends E.J., Snijders J.G., and Ziegler T.J. Chemistry with ADF // *Comput. Chem.* — 2001 (22), 931—967

ИЗМЕНЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ХРОМА ПРИ ОБРАБОТКЕ ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМОЙ

А.Г. Анисович¹, В.В. Ажаронок², В.Ф. Гологан³, Д.М. Кроитору³

¹Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск, Беларусь; anna-anisovich@yandex.ru

²Институт физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь

³Институт прикладной физики Республики Молдова

Исследовано влияние холодной плазмы воздуха на износостойкость электролитического покрытия хрома на стали 3.

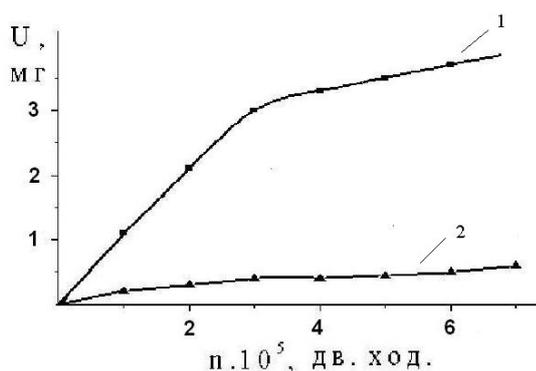


Рис. 1. Износ покрытий хрома: 1 — исходный, 2 — после обработки

При обработке холодной плазмой воздуха износ снижается в 4 раза (рис. 1) как в процессе приработки, так и при установившемся износе. Наблюдается изменение вида поверхности трения образцов. В исходном состоянии поверхность трения неоднородна, содержит вырывы металла и микротрещины. После обработки плазмой вид поверхности трения существенно изменяется (рис. 2), аналогично обработке в магнитном поле [1, 2].

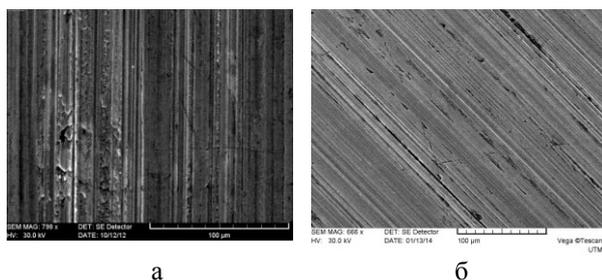


Рис. 2. Поверхность трения в исходном состоянии (а) и после обработки плазмой (б)

Методом прицельной металлографии получено, что после плазменного воздействия поверхность покрытия очищается от загрязнений. Возможно также снижение дефектности структуры поверхности (рис. 2), а также выравнивание поверхности, аналогично таковому для воздействия магнитного поля [2].

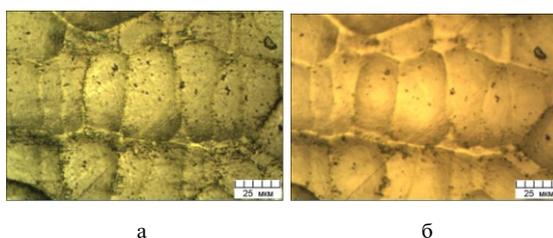


Рис. 3. Морфология поверхности покрытия хрома в исходном состоянии (а) и после плазменного воздействия (б)

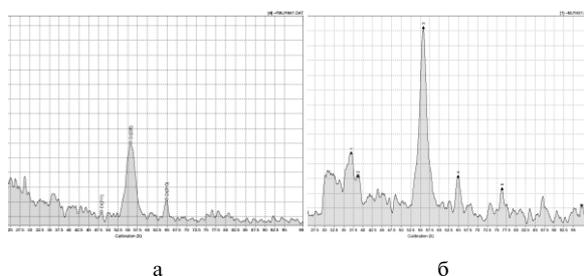


Рис. 4. Фрагменты рентгенограмм покрытия хрома в исходном состоянии (а) и после обработки плазмой (б)

Одним из эффектов воздействия плазмы является изменение относительной интенсивности интерференционных линий рентгенограммы (рис. 4). Этот эффект может быть связан с изменением уровня напряжений 3-го рода, обусловленных статическими смещениями атомов из положений равновесия. Изменение уровня напряжений 3-го рода при воздействии холодной плазмы было показано в [3] для меди. Учитывая, что уровень микронапряжений не изменился существенно, следует рассмотреть возможность недислокационного механизма преобразования структуры при плазменном воздействии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (код проекта Т13-Млд-003).

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., and Bicyluk L.V. Change of Chrome Electrolytic Coating Surface under its Exposure Pulse Magnetic Treatment / Plasma Physics and Plasma Technology. Contributed papers of VII int. conf. Minsk, Belarus, 17—21 September, 2012. — 2012 (1), 396—399
3. Ажаронок В. В., Анисович А. Г. и др. Трансформация структуры меди под воздействием неравновесной низкотемпературной плазмы воздуха // Инженерно-физический журнал. — 2013, 86(4), 731—738

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ УПРУГИЕ СВОЙСТВА ХАОТИЧЕСКИ АРМИРОВАННЫХ КОРОТКИМИ ВОЛОКНАМИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ С ДИСПЕРСНЫМИ АНТИФРИКЦИОННЫМИ ДОБАВКАМИ

В.И. Колесников¹, В.В. Бардушкин², А.П. Сычев³, Д.А. Кириллов², А.И. Сорокин²

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 эксплуатационных (эффективных) упругих свойств полимерных трибокомпозиов, учитывающего состав, форму, ориентацию и концентрацию их компонентов.

Материалы и методы

Рассматриваются включения двух типов. К первому типу относятся расположенные хаотически в пространстве материала рубленые короткие волокна БЩ-стекла, выполняющие функцию упрочнения композита. Ко второму типу относятся порошковые включения ПТФЭ или графита, равномерно распределенные в пространстве композита и выполняющие антифрикционную роль. В качестве матрицы (компонент третьего типа) рассматриваются эпоксидные связующие ЭД-20 или УП-610 (табл. 1) [1—3].

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
графит	10,9	0,235	2,267
ЭД-20	3,8	0,39	1,18
УП-610	5,2	0,41	1,25

Моделирование опирается на обобщенное сингулярное приближение теории случайных полей [4]. На основе полученного в работе соотношения для вычисления компонент тензора с эффективных модулей упругости (для композитов рассматриваемой структуры с изотропными включениями) были проведены исследования и расчеты влияния процентной концентрации m ($s = 2, 3$) элементов неоднородности (по массе) на эксплуатационные упругие свойства (модули Юнга и коэффициенты Пуассона) модельных трибокомпозиов.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 приведены результаты численных расчетов значений модуля Юнга E и коэффициента Пуассона ν модельных композитов от изменения процентной концентрации m волокон БЩ-стекла при фиксированной 5%-ной концентрации

дисперсных антифрикционных добавок.

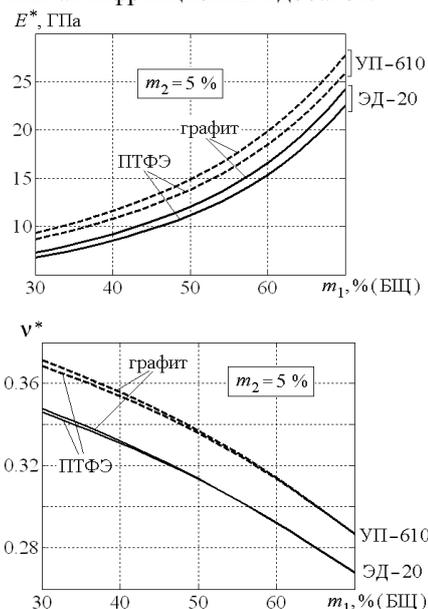


Рис. 1. Эксплуатационные упругие свойства композитов

Моделирование показало, что увеличение концентрации волокон БЩ-стекла приводит к росту значений E и убыванию значений ν . При этом характер изменения значений рассматриваемых эксплуатационных упругих характеристик полимерных композитов нелинеен. Кроме того, увеличение процентного содержания дисперсных антифрикционных добавок (как ПТФЭ, так и графита) приводит к незначительному снижению значений E^* и ν с сохранением характера их изменения при увеличении концентрации m_1 волокон БЩ-стекла.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов: 13-08-00672-а, 13-08-00732-а).

1. Лапицкий В.А., Крицук А.А. Физико-механические свойства эпоксидных полимеров и стеклопластиков. — Киев: Наукова думка. — 1986
2. Физические величины: Справочник / Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. — М.: Энергоатомиздат. — 1991
3. Гутников С.И., Лазорак Б.И., Селезнев А.Н. Стекланные волокна / Учебное пособие. — М.: МГУ. — 2010
4. Колесников В.И., Бардушкин В.В., Яковлев В.Б., Сычев А.П., Колесников И.В. Микромеханика поликристаллов и композитов. — Ростов-на-Дону: РГУПС. — 2012

РАЗРАБОТКА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА И ТЕРМОРАСШИРЕННОГО ГРАФИТА

О.В. Гоголева

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия; oli-gogoleva@yandex.ru

Введение

Существующие материалы и изделия как российский, так и зарубежного производства не всегда полностью удовлетворяют эксплуатационным требованиям в зонах холодного климата, которые предполагают наличие в материалах совершенно специфического комплекса свойств. В связи с этим разработка полимерных композиционных материалов (ПКМ) триботехнического назначения, способных надежно и долговечно эксплуатироваться в этих условиях имеет важное экономическое значение. Проблема целенаправленного улучшения триботехнических свойств сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), сочетающего превосходные термо- и химически стойкие свойства с низким коэффициентом трения остается на сегодняшний день актуальной. Эффективное управление его свойствами достигается при введении в СВМПЭ соединений микро- и нанометрового размера. Целью данной работы является разработка новых самосмазывающихся триботехнических полимерных композиционных материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ).

Результаты и их обсуждение

В работе использовали СВМПЭ с молекулярной массой 2,7 млн производства Томского нефтехимического завода и композиционные материалы на его основе с терморасширенным графитом (ТРГ) производства ЗАО «Газтурбо». Образцы получали горячим прессованием при давлении 10 МПа и температуре 180 °С. Механическое перемешивание порошков СВМПЭ и ТРГ проводили в лопастном смесителе. Наполнители вводили в полимерную матрицу в количестве от 1 до 10 мас. %.

По результатам комплексного исследования свойств композитов на основе СВМПЭ показана перспективность использования терморасширенного графита в качестве модификаторов сверхвысокомолекулярного полиэтилена для разработки триботехнических материалов. Установлено, что при модификации СВМПЭ терморасширенным графитом физико-механические характеристики остаются на уровне ненаполненного полимера, в то время как скорость массового изнашивания снижается до 30 раз, скорость абразивного изнашивания до 10 раз.

Для оценки соотношения кристаллической и аморфной фаз в сверхвысокомолекулярном полиэтилене и ПКМ методом рентгенофазового анализа получены рентгенодифрактограммы. Установлено, что

рентгенограмма исходного СВМПЭ совпадает с литературными данными, все характерные пики присутствуют в исследуемых образцах. Показано, что модифицирование СВМПЭ приводит к некоторому сдвигу пиков полимерной матрицы, уменьшению гало аморфной фазы, и увеличению степени кристалличности композита, что доказывает существенную роль наполнителя в процессах структурообразования ПКМ.

Модифицирование СВМПЭ терморасширенным графитом приводит к некоторому увеличению степени кристалличности α исходной матрицы. Увеличение α с повышением содержания наполнителя, вероятнее всего, вероятно, связано с увеличением размеров кристаллитов.

Структурные исследования подтверждают результаты исследования физико-механических и триботехнических свойств композитов (рис. 1). Морфология исходного СВМПЭ характеризуется как ламеллярная. Введение терморасширенного графита обеспечивает существенное изменение кристаллизации, приведя к образованию различных надмолекулярных структурных элементов в СВМПЭ, имеющих четко выраженные границы.

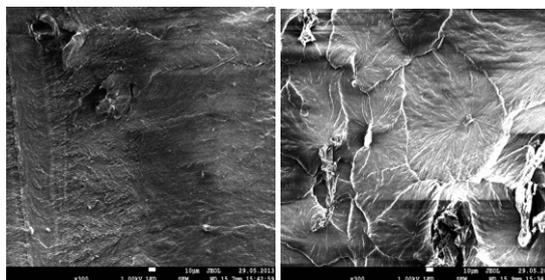


Рис. 1. Надмолекулярная структура СВМПЭ: а — исходного СВМПЭ; б — СВМПЭ, модифицированного 2 мас. % ТРГ. ($\times 300$)

Таким образом, на основании проведенных исследований разработаны новые составы композитов с высокими триботехническими характеристиками. Это обеспечивает возможность их применения в производстве опор и подшипников скольжения, подвижных уплотнений (поршневые кольца, манжеты), предназначенных для эксплуатации в условиях ограниченной смазки или сухого трения в узлах трения машин различного назначения, что значительно повысит надежность узлов трения и увеличит срок его эксплуатации благодаря снижению интенсивности изнашивания.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта «Научно-образовательный фонд поддержки молодых ученых Республики Саха (Якутия)» 201302010131

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ МАССЫ КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРЭФИРКЕТОНА НА ЕГО ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

М.В. Прожега, Н.И. Смирнов, Н.Н. Смирнов, Н.А. Татусь

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия; prmaksim@gmail.com

Цель

В настоящей работе представлены результаты отработки режимов получения композита на основе полиэфирэфиркетона (ПЭЭК) и исследования влияния молекулярной массы на его трибологические свойства.

Введение

Полиэфирэфиркетон — ароматический частично-кристаллический термопласт, обладающий высокой прочностью и жесткостью при незначительном весе. Для улучшения трибологических свойств полиэфирэфиркетона в смесь добавляют политетрафторэтилен (PTFE) в разных пропорциях. Исследования трибологических свойств композитов на основе ПЭЭК проводили в работах [1-3].

Материалы и методы исследований

В состав исследуемых композитов входил ПЭЭК (80 мас.%), фторопласт Ф-4 (10%) и графит (10%). Композит получали спеканием при температуре 380 °С. Контрольный образец изготавливали из твердого сплава ВК8.

Для испытаний материалов на трение и износ разработали стенд, в котором реализована кинематическая схема «кольцо—кольцо», рис. 1. Система нагружения стенда имеет замкнутый силовой контур, который позволяет получать высокие осевые нагрузки при компактных размерах испытательного узла. Нагрузка от пружины 1, рис. 1, а, через рычаг передается на верхнее кольцо 2.1. Двигатель 4 через ременную передачу 3 приводит в движение образец 2.2, на который наносится исследуемый материал.

Установка обеспечена закрытым картером для проведения испытаний в жидкости, системой охлаждения. При испытаниях могут быть обеспечены следующие режимы нагружения:

- Осевая нагрузка — до 3000 Н,
- Частота вращения — до 2800 об/мин.

После испытаний производили измерение линейного износа с помощью профилографа-профилометра.

Результаты и их обсуждение

Были проведены испытания трех типов покрытия из композита на основе полиэфирэфиркетона с различной молекулярной массой: 150; 380 и 450.

Испытания проводили в среде масла И-20.

Испытания полиэфирэфиркетона при нагрузке $p = 5,3$ МПа подтвердили факт повышенной износостойкости композита с более высокой молекулярной массой, рис. 2.

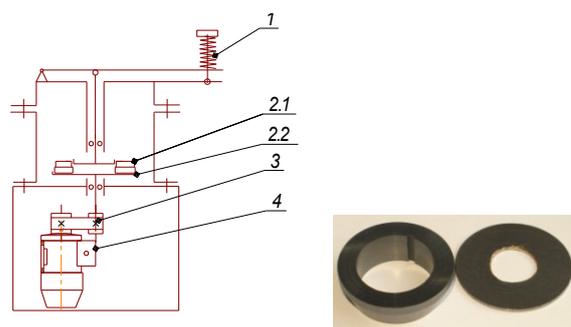


Рис. 1. Кинематическая схема испытательной установки и образцы для испытаний (1 — пружина; 2.1, 2.2 — образцы для испытаний; 3 — ременная передача; 4 — двигатель)

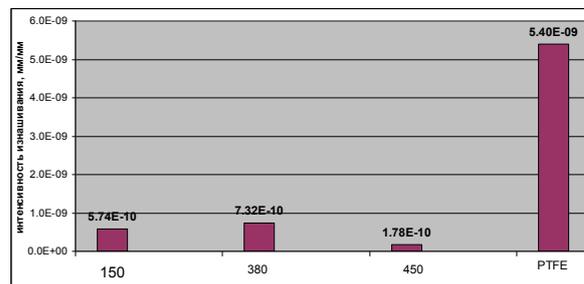


Рис. 2. Интенсивность изнашивания при нагрузке $p = 5,3$ МПа ($N = 2500$ Н) ($T = 150$ мин)

Выводы

Трибологические свойства композита на основе полиэфирэфиркетона зависят от молекулярной массы полимера. Чем выше молекулярная масса, тем выше износостойкость материала.

1. David L.Burris and W.Gregory Sawyer. A Low Friction and Ultra Low Wear Rate PEEK/PTFE Composite // Wear. — 2006 (261), 410—418
2. Prehn R., Hauptert F., and Fridrich K. Sliding Wear Performance of Polymer Composites under Abrasive and Water Lubricated Conditions for Pump Applications // Wear. — 2005 (259), 693— 696
3. Zhang G., Liao H., Li H., Mateus C., Bordes J.-M., and Cobbet C.. On Dry Sliding and Wear behaviour of PEEK and PEEK/SiC — Composite Coatings // Wear. — 2006 (260), 594—600

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПЛУНЖЕРОВ ЭЛЕКТРОНАСОСНЫХ ДОЗИРОВОЧНЫХ АГРЕГАТОВ, ПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ ПРОМЫШЛЕННЫЕ СТОКИ, ПУТЁМ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОКОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ МЕЛКОДИСПЕРСНОГО АЛЮМИНИЯ

В.А. Левченко^{1,4}, И.А. Буяновский^{2,4}, И.А. Калугин³, В.Н. Матвеев^{1,4}

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия; vladalev@yahoo.com

²Институт машиноведения РАН, Москва, Россия

³ООО «Газпромдобыча», Ямбург, Россия

⁴ООО «Монокарбон», Москва, Россия

Введение

ПЭДА являются одними из наиболее быстроизнашиваемых деталей электронасосных дозирующих агрегатов, перекачивающих промышленные стоки. Обычно срок службы ПЭДА заводского изготовления (материал Сталь 30X13, закалка ТВЧ рабочих поверхностей до 45...50 HRC), составляет всего 1440 часов, после чего вследствие его износа начинаются недопустимые протечки [1]. Повышение износостойкости ПЭДА обеспечит экономию времени и средств на их замену, а также сократит потребность в этих быстроизнашиваемых деталях, что соответствует существующей тенденции к ресурсо- и материалосбережению. Анализ предварительных исследований авторов показал возможность повышения износостойкости деталей, работающих в аналогичных условиях, путём нанесения на рабочие поверхности этих деталей металлокерамических покрытий на базе мелкодисперсного алюминия.

Цель работы: Разработка покрытия, повышающего износостойкость рабочих поверхностей плунжеров электронасосных дозирующих агрегатов ПЭДА, перекачивающих промышленные стоки.

Материалы и методы

В представленном докладе приведены результаты исследования возможности повышения долговечности ПЭДА путём нанесения на их рабочие поверхности нанокomпозиционных металлокерамических покрытий на базе мелкодисперсного алюминия и выбор оптимального состава этих покрытий. Нанокomпозиционные металлокерамические покрытия были нанесены на поверхности плунжера газofазным методом в открытой атмосфере по технологии ООО «Монокарбон» [2]. Порошки металла (алюминия и его смеси с медью или цинком) дисперсностью 0,8—1,2 мкм подаются под высоким давлением струёй нагретого воздуха со сверхзвуковой скоростью на обрабатываемую поверхность. Технология обеспечивает надёжную адгезию покрытия к подложке. По анализу спектра комбинационного рассеивания установлено, что исследуемое нанокomпозиционное покрытие, полученное по технологии ООО «Монокарбон», является металлокерамическим, а наиболее яркий выделенный пик в районе 550 см⁻¹ соответствует оксиду алюминия и тем самым подчеркивает его основное содержание в составе полученного нанокomпозиционного металлокерамического покрытия перед другими

элементами покрытия такими, как Cu, Zn, Ni и т.д.

Исследование противоизносных свойств указанных покрытий проводилось непосредственно в процессе перекачки промышленных стоков электронасосным дозирующим агрегатом. Износостойкость плунжеров характеризовалась временем их эксплуатации до начала протечек вследствие износа этих плунжеров.

Результаты и их обсуждение

Результаты проведённых исследований приведены в таблице в виде значений продолжительности наработки на отказ плунжеров заводского упрочнения (закалка ТВЧ) и плунжеров с металлокерамическими покрытиями полученные напылением алюминиевого порошка и смесями алюминиевого и медного и алюминиевого и цинкового порошков.

Таблица.

Метод упрочнения плунжера (сталь 30X13)	Долговечность, ч
Закалка ТВЧ (заводская)	1440
Покрытие Al	2180
Покрытие Al + Cu	4320
Покрытие Al + Zn	9628



Рис. 1. Сравнение фотографий рабочих поверхностей плунжера заводского изготовления (а) и его же после наработки 1440 ч (б)



Рис. 2. Сравнение фотографий рабочих поверхностей плунжера с покрытием из смеси порошков Al + Zn до начала (а) и после наработки 9628 ч (б)

Таким образом, последнее из сравниваемых покрытий, полученное путём динамической металлизации обеспечивает плунжерам в условиях перекачки промышленных стоков долговечность в 6 и более раз высокую, чем упрочнение традиционной закалкой ТВЧ.

1. Калугин И.А., Буяновский И.А. // Трение и смазка в машинах и механизмах. — 2013, № 9, 45—48
2. Levchenko, et al. New Type of Nanocomposite Coatings. In: Proceedings of International Tribology Conference, Hiroshima, Japan. — 2011, 130

АДСОРБЦИОННОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ СМАЗОЧНОЙ СРЕДЫ НА ФРИКЦИОННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ ПРИ ТРЕНИИ СКОЛЬЖЕНИЯ В ГРАДИЕНТНОМ ПОТОКЕ СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА ЧЕРЕЗ ТРИБОЗАБОР

С.Б. Булгаревич, М.В. Бойко

Ростовский государственный университет путей сообщений, Ростов, Россия, bulgarevich@rambler.ru

Продукты химических реакций по-разному адсорбируются на поверхностях трущихся тел при наличии жидкой смазочной среды. Это относится и к присадкам. Через трибозабор протекает смазочный материал. В известной нам литературе нет работ, в которых бы рассматривалась возможность адсорбционного разделения молекул присадок, а также продуктов химических реакций, обладающих различными адсорбционными свойствами по отношению к поверхностям трущихся тел в зоне фрикционного контакта. Нами была рассмотрена возможность такого разделения, исходя из энергетики адсорбции различных молекул, входящих в состав жидкого смазочного материала. В простейшей ситуации для двух компонентов «1» и «2» с различными временами удержания τ_1 и τ_2 на поверхностях трущихся тел в зоне фрикционного контакта имеем для селективности α адсорбционной системы уравнение (1).

$$\alpha = \frac{\tau_1 - \tau_2}{\tau_2 - \tau_1} = \frac{K_1}{K_2}, \quad (1)$$

где τ — среднее время прохождения элюента (жидкая смазочная основа) через адсорбент, K_1 и K_2 — константы адсорбционного равновесия молекул с поверхностью адсорбента. Поверхности тела и контртела по адсорбционным свойствам считались одинаковыми. Уравнению (1) соответствует термодинамическое выражение (2):

$$\Delta(\Delta G^\circ) = -RT \ln \alpha, \quad (2)$$

где $\Delta(\Delta G^\circ)$ — разность между стандартными изобарными потенциалами адсорбционных равновесий молекул сорта «1» и «2» с поверхностями трибозабора, T — температура, R — универсальная газовая постоянная.

С помощью числового прогона проанализированы зависимости $\tau = f(\tau_0)$ для разных значений α . Температура принималась равной 300 К. Найдено, что разделение имеет место, и, если $|\Delta(\Delta G^\circ)| > |\Delta(\Delta G^\circ)|$, первый компонент существенно отстает по времени продвижения вдоль зазора от второго компонента, который движется практически с тем же временем, что и элюент. В трибозаборе трение скольжения в приграничном или смешанном режиме должно в той или иной мере происходить адсорбционное (хроматографическое) разделение компонентов смазочного материала как изначально

введенных в смазочный материал, так и полученных впоследствии в результате механоактивированных процессов. Вполне возможно, что такое распределение будет происходить по адсорбционным, взаимно перекрывающимся зонам, которые будут обуславливать разные значения коэффициентов трения на этих зонах. Это может приводить к колебаниям силы и коэффициента трения скольжения. Предпринята попытка установить взаимосвязь между периодами колебаний момента силы трения и коэффициента трения в трибосистемах и протеканием вероятных химических реакций. Изучены нерегулярные колебания момента силы трения и коэффициента трения на торцевой машине трения, работающей по схеме: три пальца по диску в паре трения сталь 45 по стали 45 в присутствии моторного масла THK SAE 5w40 и этого же моторного масла с добавками некоторых гидразидов органических кислот в качестве потенциальных антифрикционных и антиоксидантных присадок. Определены средние периоды колебаний момента силы трения. Для масла без добавок средний период колебаний составил примерно 0,50 с по всему временному диапазону наблюдений за этой системой. Для остальных систем с присадками средний период колебаний был примерно равен 0,3 с. Полагали, что появление нерегулярных колебаний в системе вызвано релаксационными процессами образования-разрушения антифрикционной полимерной плёнки на поверхностях трущихся тел. В результате трибодеструкции нефтяного смазочного материала во фрикционном зазоре смазочной среды образуются непредельные углеводороды, которые затем полимеризуются на поверхности трущихся тел, образуя полимерный антифрикционный слой. Этот слой частично разрушается за счёт непосредственного фрикционного контакта и затем вновь периодически «залечивается» за счёт новых порций появляющихся непредельных углеводородов.

Реакцию «залечивания» в первом приближении можно рассматривать как реакцию первого порядка по концентрации непредельных углеводородов, появляющихся в смазочной среде. Проведены оценки константы скорости и изменения стандартной энергии Гиббса реакции полимеризации по средним периодам колебаний момента силы трения: $\Delta G^\ddagger = 70,5$ кДж/моль. Эта величина близка к энергии активации полимеризации олефинов, равной 85 кДж/моль.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-29-00116).

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ МЕТАЛЛОВ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ АРОМАТИЧЕСКОГО ПОЛИАМИДА

А.И. Буря, Е.А. Ерёмкина

Днепродзержинский государственный технический университет; ol.burya@gmail.com

Цель. В связи с возросшей актуальностью проблемы повышения износостойкости машин и механизмов, связанной с развитием их конструкций и увеличением долговечности, нами были разработаны металлополимеры (МП) на основе ароматического полиамида фенилон С-1. Цель работы заключалась в изучении влияния природы металлов на износостойкость металлополимеров; установлении зависимости износа металлополимеров от их теплофизических и физико-механических свойств.

Материалы и методы. В качестве полимерной матрицы для изготовления композиционных материалов использовали ароматический полиамид фенилон С-1 (ТУ 6-05-221-101-71), как наполнитель — мелкодисперсные порошки карбонильного никеля (ПНК-2К10, ГОСТ 9722-97), меди (ПМС-1, ГОСТ 4960-2009), алюминия (ПА-1, ГОСТ 6058-73), титана (ПТК-1(2), ТУ 14-22- 57-92) и бронзы (Бр О5Ц5С5, ГОСТ 613-79) [1].

Трибологические свойства в режиме трения без смазки определяли на дисковой машине трения (диск из стали 45, термообработанной до твердости 45—48 HRC, имеющий шероховатость поверхности $Ra = 0,16—0,32$ мкм) [2]. Путь трения в опытах составлял 1000 м. Удельная нагрузка — 0,6 МПа, скорость скольжения — 1 м/с.

В режиме трения-скольжения со смазкой маслом «Индустриальное-50» исследования проводили на машине трения СМЦ-2 (контртело: сталь 45 (50 HRCэ), диаметр 5, $Ra \leq 1,6$ мкм). Путь трения — 2000 м, скорость скольжения — 1,3 м/с, нагрузка — 5 МПа.

Результаты и их обсуждение. Согласно полученным данным, характеристики металлополимеров определяются степенью наполнения, а именно, с увеличением содержания наполнителя, интенсивность износа уменьшается и достигает своего минимума при содержании 15 мас.% (рис. 1). Из рисунка следует, что введение в ароматический полиамид фенилон мелкодисперсного порошка карбонильного никеля, улучшает износостойкость фенилона практически в 11 раз, а меди — в 2 раза. Возникает вопрос, с чем же это связано?

Большое влияние на фрикционное взаимодействие оказывает трансформация энергии трения. Часть этой энергии идет на деформационные процессы, а часть на прямой нагрев материала, что вызывает изменение свойств поверхностных слоев полимерной матрицы, и что, в дальнейшем, также сказывается на кинетике процесса разрушения [3].

Тепло, накапливаемое в поверхностном слое материала, должно быть своевременно отведено из опасной зоны.

Что касается износа металлополимеров в режиме трения со смазкой, то результаты испытаний (см. табл. 1) показали, что износостойкость металлополимеров с увеличением теплопроводности (α) улучшается, однако свой вклад вносят и сами металлы.

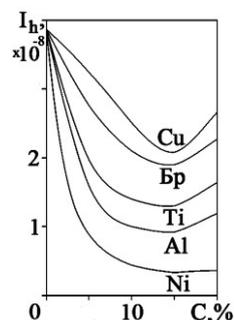


Рис. 1. Зависимость интенсивности износа (I_h) от процентного содержания наполнителя (C)

Таблица 1. Интенсивность износа и коэффициент трения металлополимеров при смазке маслом

Наполнитель	Бр	Al	Cu	Ti	Ni
Свойства					
$I_h \cdot 10^{-8}$	0,03	0,16	0,22	0,84	2,0
f	0,038	0,055	0,078	0,05	0,06
$\alpha \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$	0,244	0,238	0,193	0,189	0,186

Примечание. Композиции содержат 15 мас.% наполнителя

Как известно, карбонильный никель содержит частицы графита, которые при трении без смазки, намазываются на МП, что улучшает условия трения. При смазке маслом, данные частички вымываются, что значительно сказывается на износостойкости.

В композиции с бронзой с одной стороны, плоские частички бронзы, значительно превосходя по габаритам другие металлические наполнители, эффективнее улучшают теплопроводность МП, а с другой — увеличивают его пористость на границе раздела фенилон — бронза, а так же вероятность схватывания частичек бронзы с контртелом за счет хорошей адгезии к нему. При смазке маслом, картина кардинально меняется, т.к. масло, проникая в поры МП, улучшает антифрикционные свойства, сохраняя при этом хорошую теплопроводность и износостойкость.

1. Полимерна композиция: Патент на корисну модель № 92212. — Бюл. — 2014, № 15 / Буря О.І., Єрьомкіна К.А., Лисенко О.Б., Попіль О.І., Чуйкова Ю.В.
2. Буря А.И. Трение и изнашивание органопластиков на основе полиамида-6 // Трение и износ. 1998 (19), № 5, 671—676
3. Стукач А.В. Исследование свойств металлополимерных и фуллеренсодержащих композитов при трении // Техно-технологические проблемы сервиса. — 2010, № 13, 10—19

ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОКЛАСТЕРОВ НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ

Е.В. Полункин¹, О.А. Гайдай¹, В.С. Пилявский¹, А.У. Стельмах²

¹Институт биоорганической химии и нефтехимии НАН Украины, Киев, Украина; polunkin@i.ua

²Национальный авиационный университет, Киев, Украина

Долговечность и надежность машин и механизмов в значительной степени зависит от стабильности, а также от противозносных и антифрикционных свойств используемых горюче-смазочных материалов (ГСМ). При исследовании в качестве модельных соединений экзо модифицированных фуллеренов в качестве присадок в моторные топлива была установлена симбатность в изменении антиокислительной способности, трибологических и других макрофизических характеристик в зависимости от концентрации присадки. Нами была рассмотрена физико-химическая модель, в которой симбатность в изменении этих свойств объясняется за счет образования супрамолекулярных сольватированных кластеров (доменов).

В литературе отсутствуют данные о влиянии различных нанокластерных присадок на смазочные свойства моторных топлив. По всей видимости, широкое практическое применение ограничено плохой растворимостью наноразмерных частиц в маловязких жидкостях, а также высокими ценами на фуллерены.

Нами были синтезированы и отобраны наночастицы с повышенной растворимостью в углеводородном топливе и перспективном моторном топливе на основе этанола. На основе этих наночастиц создана присадка, которая представляет собой сольватозоль, содержащий растворитель и многослойные углеродные кластеры сферической структуры — онионы (CNOs), получение которых разработано в Украине и является экономически целесообразным.

Противозносные свойства были исследованы для трех типов топлив: I — высокооктановый нефтяной бензин Аи-95, II — биотопливо Е-85, III — биотопливо Е-85 с добавлением присадки наноразмерных сферических кластеров CNOs.

Оценку скорости износа топливных насосов определяли по изменению рабочего давления на выходе топливного насоса в зависимости от времени испытаний. Было установлено, что при работе с биотопливом с добавлением присадки износ топливного насоса меньше, чем износ с высокооктановым качественным нефтяным бензином Аи-95, а также с биотопливом без добавления присадки (рис. 1). Испытания топливных насосов проводили в течение 80 часов в специально созданном термостатированном стенде.

Определение противозносных свойств топлив проводили в Научно-исследовательской лаборатории нанотриботехнологий Национального авиационного университета (г. Киев).

Результаты сравнительных триботехнических испытаний образцов топлив приведены в табл. 1. Первый этап трения начального износа характеризует

приработочные свойства испытуемого топлива, а 4-й длительный этап, характеризует износ во времени.

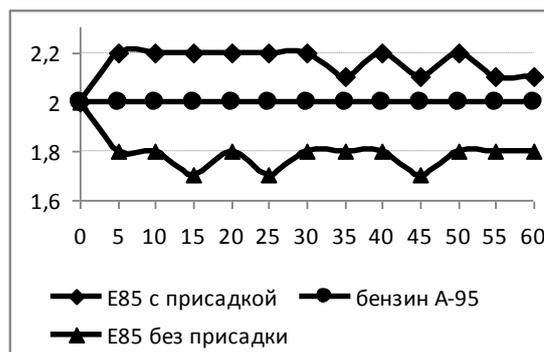


Рис. 1. График динамики рабочего давления на выходе топливного насоса в зависимости от времени испытаний

Таблица 1. Результаты испытаний противозносных свойств опытных образцов топлив

Название образца	Результаты измерения износа I, мкм			
	1 этап трения — 320 м	2 этап трения — 320 м	3 этап трения — 320 м	4 этап трения — 1900 м
А-95	1,14	1,52	1,80	5,66
Е-85	0,61	0,60	0,39	0,85
Е-85 + пр	0,20	0,53	0,31	0,55

Испытания проводились на машине трения АСК-01. Осевая нагрузка — 80 Н. Температура окружающей среды — 18 °С. $\omega = 300 \text{ мин}^{-1}$.

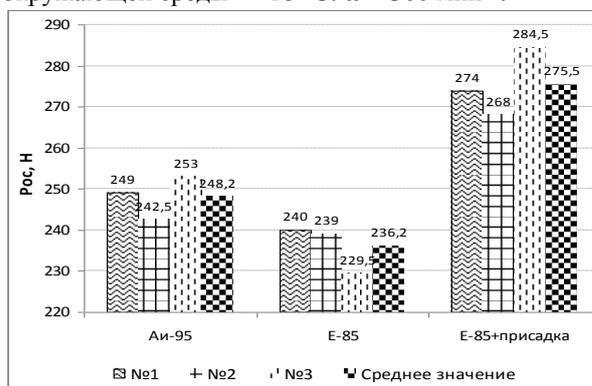


Рис. 2. Результаты испытаний образцов топлив на критическую нагрузку до задира

Таким образом, создана присадка на основе сферических нанокластеров, которая позволяет значительно улучшить трибологические характеристики моторных топлив и в значительной степени уменьшить износ топливной аппаратуры.

ИЗНОС КОЛЬЦА ИЗ SiC КЕРАМИКИ В КОНТАКТЕ СО СТАЛЬНЫМ ШАРИКОМ

С.Н. Григорьев, В.В. Кузин, М.Ю. Федоров, С.Ю. Федоров, М.Р. Портной

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», Москва, Россия; kyzena@post.ru

Цель

Опыт эксплуатации керамических изделий определяет необходимость использования базовых закономерностей их износа при создании инновационных инструментов и узлов трения [1, 2]. В работе поставлена цель — выявить особенности износа кольца из SiSiC керамики при контакте со стальным шариком в широком диапазоне условий трения.

Методика исследования

Исследования проводили на трибометрической установке BAZALT-2N, реализующей схему трения «кольцо — шарик». Кольца изготавливали методом реакционного спекания прессонок из SiC с последующим шлифованием и полированием. Использовали шарики из стали ШХ15 диаметром 6 мм и степенью точности 20. Измерение геометрических параметров и изучение морфологии участков износа выполняли на микроскопах Olympus BX51M и TESCAN VEGA 3LMH.

Результаты и их обсуждение

Установлено, что на поверхности керамических колец после испытаний присутствуют многочисленные налипы стали в виде чешуек толщиной до 5 мкм, имеющие стохастичную форму и размеры. Внешняя поверхность налипов имеет гладкую текстуру с микроскопическими рисками, волнами и трещинами, которые, наиболее часто, развиваются в направлении, перпендикулярном к вектору скорости. Также выявлены области локальных разрушений (разрывы) этих налипов-чешуек, в том числе сквозные. Толщина налипов плавно увеличивается в направлении скольжения, причем их передняя поверхность является гладкой, а боковые и задняя поверхности имеют четко выраженные следы разрушения металла.

Образование налипов стали имеет адгезионную природу, причем их разрушение оказывает негативное влияние на состояние поверхностного слоя керамики. В керамике формируются структурные повреждения, накопление и слияние которых приводит к образованию трещин и последующему разрушению локальных областей на поверхности керамического диска [3]. При продолжительном времени трения размеры этих областей увеличиваются, что приводит к образованию замкнутого трека износа, морфология поверхности которого показана на рис. 1, а. Поверхность этого трека имеет развитую текстуру, характерным признаком которой является большое число выступов с острыми вершинами (рис. 1, б). Эти острые вершины механически усиливают эффект налипания стали на керамическую поверхность. Площадь налипов на поверхности ке-

рамических колец при трении увеличивается с увеличением времени трения, шероховатости поверхности керамики и нагрузки.

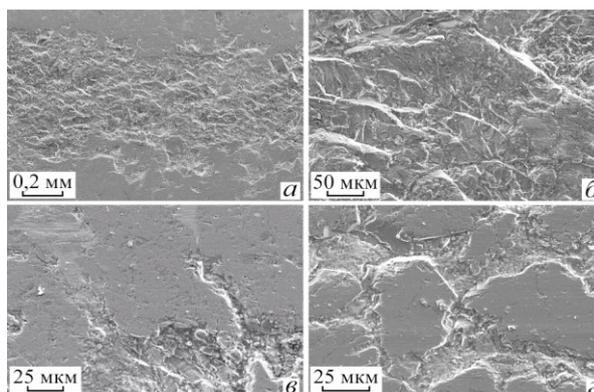


Рис. 1. Характер формирования участка износа на кольце из реакционно-спекенной SiC керамики при контакте с шариком из стали ШХ15

Анализ поверхностной структуры керамики на периферийных участках трека позволил проследить кинетику износа колец. Установлено, что на первом этапе разрушается межзеренная фаза (рис. 1, в) с постепенным увеличением ширины и глубины «прожилок». Увеличение времени трения приводит к полной изоляции соседних зерен SiC на поверхности колец (рис. 1, г). На следующем этапе износа кольца разрушаются зерна SiC в результате транскристаллитного роста трещин, что приводит к постепенному увеличению глубины и ширины трека износа.

Таким образом, в результате выполненных исследований установлены основные закономерности износа кольца из SiSiC керамики при контакте со стальным шариком и сформированы рекомендации по проектированию инструментов, подшипников, торцовых уплотнений и запорной арматуры из этого материала для «жестких» условий эксплуатации.

Данные исследования проведены при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках выполнения государственного задания в сфере научной деятельности (задание № 2014/105, проект № 1908)

1. Kuzin V.V. Effective Use of High Density Ceramic for Manufacture of Cutting and Working Tools // *Refractories and Industrial Ceramics*. — 2010 (51), no. 6, 421—426
2. Kuzin V.V., Anikin V.N., Fedorov S.Yu., and Fedorov M.Yu. Wear and Failure of Ceramic Cutting Plates // *Russian Engineering Research*. — 2010 (30), no. 11, 1116—1123
3. Kuzin V., Grigoriev S., Volosova M. and Fedorov M. Designing of Details Taking into Account Degradation of Structural Ceramics at Exploitation // *Applied Mechanics and Materials*. — 2015 (752—753), 268—271

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОЕНИЯ И ТРЕНИЯ НАНОГРАФИТОВ

А.В. Наумкин¹, В.Н. Адериha², С.С. Песецкий², О.В. Афоничева¹, А.П. Краснов¹¹Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, Москва, Россия;
krasnov@ineos.ac.ru²Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

Исследованы три типа нанокристаллических графитов: терморасширенный графит в исходном состоянии (234 слоя) и обработанный при воздействии мощного ультразвука водой (225 слоев) и глицерином (198 слоев).

Характерные отличия трения отдельных образцов заключаются в этапе приработки и продолжительности трения. Период приработки с высоким коэффициентом трения имеет только исходный нанографит (рис. 1). Модифицированные нанографиты практически не имеют этапа приработки. Причина этого обусловлена, вероятно, тем, что первичный этап трения графита связан с активными сдвиговыми процессами, которые проходят преимущественно по базальным плоскостям.

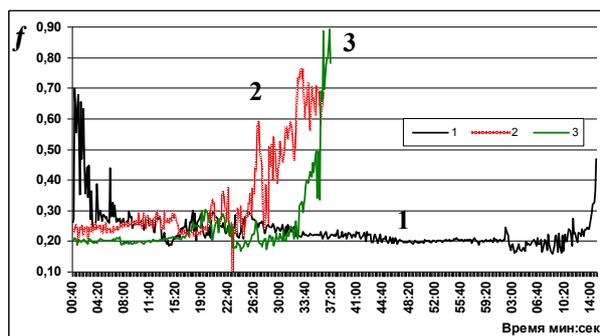


Рис. 1. Коэффициент трения нанографитов: 1 — исходный нанографит; 2 — нанографит (H₂O); 3 — нанографит (глиц.)

На следующем этапе характер трения обусловлен, в первую очередь, адгезионными факторами, особенно в случае трения по полированной поверхности стали. В этих условиях у исходного нанографита, обладающего, в основном, не смазывающими, а разделительными функциями этап приработки трения проходит особенно сложно. Он должен включать не только сдвиг слоев по базальным плоскостям, но и измельчение, окислительные процессы и последующую адгезию функционализированного графита к поверхности полированной стали. Эти процессы отражаются на изменении коэффициента трения в период приработки, характеризующегося относительно высоким коэффициентом трения с последующим снижением.

Как свидетельствуют результаты РФЭС исследования, в процессе модификации в условиях ультразвукового воздействия нанокристаллический графит приобретает дефектную структуру.

При обработке водой появляются гидроксильные группы (С–ОН), вероятно имеющие характер вакансионных дефектов, где может происходить

диссоциация воды. Наряду с этим РФЭС анализ обнаруживает заметное увеличение количества воды, вероятно внедрившейся в межслоевые пространства, что не обнаруживается рентгеноструктурным анализом. В результате формируется «дефектная» неупорядоченная структура, вероятно имеющая характер «пачек» графита «склеенных» молекулярными слоями.

Появление молекулярных слоев воды и гидроксильных групп приводит [1] к облегчению сдвиговых деформаций.

Аналогичный процесс происходит и при модификации глицерином, о чем свидетельствует резко возросшее количество –ОН групп. Это может свидетельствовать о наличии прочно сорбированных в структуре графита молекулах глицерина являющегося жидкой смазкой.

В результате, полученные нанографиты оказываются «подготовленными», минуя первичный этап приработки, перейти, непосредственно, ко второму этапу — адгезии частиц графита на полированную поверхность стали.

На втором этапе, установившегося трения, исходные частицы графитов проходят через стадию адаптации к условиям трения в изменившихся условиях модифицированной полированной поверхности.

У исходного графита в этих условиях происходит «естественный» процесс адаптации, относительно поверхности стали прошедшей на предыдущем этапе стадию оптимальной функционализации, относительно данного графита.

Предварительно функционализированные нанографиты характеризуются значительным повышением коэффициента трения, в случае нанографита (H₂O) и этапом «заедания» через относительно короткий промежуток времени (~ 25 мин.), причем заметная нестабильность изменения коэффициента трения наблюдается начиная с 15 минут.

Подобный же процесс происходит и в случае нанографита, полученного при обработке глицерином. Отличие от нанографита (H₂O) заключается лишь в некотором увеличении продолжительности процесса трения до этапа «заедания» (34 мин.) и этапа нестабильного трения (~ 17—19 мин.). Улучшение продолжительности трения обусловлено, вероятно, прочной сорбцией практически при полном отсутствии сорбированной H₂O.

1. Cabrera-Sanfeliix Pepa and Darling George R. Dissociative Adsorption of Water at Vacancy Defects in Graphite// J. Phys. Chem. C — 2007, no. 111, 18258—18263

ИСПЫТАНИЕ СМАЗОЧНОГО ДЕЙСТВИЯ МАШИННЫХ МАСЕЛ НА МАШИНЕ ТРЕНИЯ МТУ-01

В.В. Новиков¹, Е.В. Березина¹, К.С. Бурченков¹, С.В. Миронов¹, Р.Ю. Лисицын²

¹Ивановский государственный университет, Иваново, Россия; novikov-ww@mail.ru

²Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Иваново, Россия

Целью наших исследований являлось изучение трения смазочных масел в условиях высоких контактных давлений на машине трения МТУ-01. Машина трения универсальная модели МТУ-01 (ТУ 4271-001-29034600-2004) предназначена для испытаний на трение и изнашивание металлических и неметаллических материалов в условиях применения различных смазочных материалов. Метод испытаний основан на взаимном перемещении прижатых друг к другу с заданным усилием испытываемых образцов в среде смазочных материалов или без них. Скорость вращения образца без нагрузки, плавно регулируется от 200 до 2500 об/мин, усилие прижима испытываемых образцов, от 50 до 1000 Н.

Схема контакта, используемого в эксперименте — торец вращающегося ролика и плоскость неподвижного диска. Момент трения и осевая нагрузка регистрируется тензодатчиками, температура — капельной термопарой. Регистрируемые параметры записываются и обрабатываются с использованием ПЭВМ в реальном времени. Программное обеспечение при испытании позволяет фиксировать момент трения, осевую нагрузку и температуру в реальном времени с графическим отображением их изменений. Установка дает возможность проводить длительные испытания продолжительностью несколько часов. Характеристики машины позволяют проводить исследования в условиях высоких контактных давлений от 100 МПа и выше.

Для обеспечения этих условий была применена следующая схема испытаний. К пластине из закаленной стали 40Х твердостью HRC 52 с помощью нагружающего устройства прижималась насадка из трех неподвижно закрепленных шариков из стали ШХ15 диаметром 12,3 мм, которая устанавливалась в шпиндель машины. Сила прижатия N варьировалась от 0 до 400 Н.

Перед проведением испытаний на шариках были сформированы стабильные пятна износа диаметром 1,0...1,1 мм. Это позволило проводить опыты в стационарных условиях по рабочему давлению в зоне контакта. При этом величина давлений составляла 100...300 МПа. Частота вращения шпинделя в эксперименте была постоянной 200 об/мин, линейная скорость движения шариков по плоскости — 11,3 м/мин.

Трение пары исследовалось в среде промышленного масла И-20 (ГОСТ 20799-88), моторного масла М-8В (ТУ 0253-052-04001396-02) и трансмиссионного масла SAE 80W90 (ГОСТ 17479,2-85). После установки образцов перед проведением измерений проводилась притирка пары трения в течение 15 минут.

Анализ результатов эксперимента по влиянию нагрузки на силу трения показал, что кривые зависимости силы трения $f_{тр}$ от нагрузки N для любых видов испытанных смазочных материалов отклоняются от линейного закона и могут быть аппроксимированы полиномом второго порядка

$$F_{тр} = \beta_1 N - \beta_2 N^2, \quad (1)$$

где β_1 и β_2 — эмпирические коэффициенты.

Это означает, что коэффициент трения μ для тяжело-нагруженных пар трения снижается с повышением нагрузки на контакте пропорционально нагрузке.

$$\mu = F_{тр} / N = \beta_1 - \beta_2 N \quad (2)$$

Коэффициент β_1 отражает смазочную способность масла при малых давлениях, а β_2 — поправочный коэффициент, уточняющий значения μ при высоких давлениях

Методом наименьших квадратов был произведен расчет коэффициентов модели, результаты которого представлены в табл. 1

Таблица 1. Показатели регрессионной модели

Смазочная среда	β_1	$\beta_2 \times 10^{-4} \text{ н}^{-1}$
Без смазки	0,192	0
И-20	0,164	1,53
М-8В	0,122	0,28
SAE 80W90	0,076	0,19

Анализируя значения коэффициентов β_1 для разных смазочных сред видно, что с повышением содержания присадок в смазке значения β_1 уменьшаются, что объясняется экранирующим действием присадок в смазке. Напротив, значение β_2 с введением присадок уменьшается.

Для объяснения наблюдаемых закономерностей сформулирована модель трения тяжело нагруженных пар с учетом адгезионной и гидродинамической составляющих силы трения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

КОЛЛОИДЫ ИЗ ТРИГЛИЦЕРИДНЫХ НАНОСТРУКТУР И АММОНИЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СМАЗОЧНЫХ СРЕДИ.С. Михаловский¹, В.А. Тарасевич², В.Е. Агабеков², Е.Н. Волнянко³¹Белорусский государственный экономический университет; jozef_m@tut.by²Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь³Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

Длительность эксплуатации технологических смазочных сред, например, смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) в значительной степени зависит от защиты их от биологического повреждения. Кроме того, процессы биодеградации сред способны влиять как на физические характеристики механической обработки материала, так и на гигиенические условия труда. В этой связи разработка биозащитных субстанций для смазочных сред является весьма актуальной. Ранее обсуждались перспективы использования дисперсных биоцидов на основе производных полигексаметиленгуанидина для защиты СОЖ от биоповреждений [1].

Кроме полигуанидинов весьма обширную группу дезинфицирующих молекул составляют третичные, четвертичные аммониевые соединения. Они характеризуются широким спектром антимикробной активности, хорошими поверхностно-активными свойствами. Эти соединения бесцветны, не имеют запаха, обладают слабой коррозионной активностью, устойчивы к высоким температурам. Рабочие растворы этих веществ имеют высокую стабильность и низкую токсичность. Аммониевые соединения совместимы с резиновыми и силиконовыми изделиями, пластмассами, не оказывают коррозионного действия на металлы, их сплавы, другие композитные материалы [2].

Композиции из аммониевых соединений для целей биозащиты смазочных сред получали в дисперсном виде. Ведение в многокомпонентные смазки таких биоцидов позволит избежать его высоких локальных концентраций и сформировать устойчивые рабочие биозащитные продукты без изменения их эксплуатационных характеристик.

Вначале получали дисперсную систему из ненасыщенных триглицеридов олеиновой или рицинолевой жирных кислот в водной или водно-этанольной среде. Триглицериды (вязкая жидкость) вводили в водную среду и гомогенизировали с использованием роторной магнитной мешалки. Затем данную эмульсию обрабатывали ультразвуком с использованием установки ИЛ100-6/1 производства «Ультразвуковая техника — ИНЛАБ» (РФ). Частота ультразвуковых колебаний составляла 20 кГц. Мощность генератора — 700 Вт. Использовали волновод с коэффициентом передачи звуковой энергии в среду 1:1. В результате получали устойчивый высокодисперсный триглицеридный коллоид, нами исследованный ранее [3].

В триглицеридный коллоид (концентрация 2 мг/мл) вводили водный раствор N,N-бис-аминопропилдодециламина при интенсивном и равномерном перемешивании на роторной магнитной мешалке с расчетом, что в конечном образце концентрация равна 1 мг/мл. Визуально полученная композиция представляет собой гомогенную дисперсную систему светло серого цвета.

Агрегативную и седиментационную устойчивость дисперсного биоцида исследовали методом светорассеяния с помощью спектрофлуориметрического комплекса СМ2203 «Солар» (РБ), работающего в режиме спектрофотометра. В кварцевую кювету (оптический путь 1 см) в 2 мл дистиллированной воды вводили 50 мкл полученного дисперсного биоцида. Регистрировали кинетику светорассеяния на длине волны 600 нм (триглицериды и аммониевые соединения не поглощают данное излучение). Установлено, что падение оптической плотности коллоида при температуре в кюветном отделении 20 °С (соответствует комнатной) составляло менее 1%. За время 7 сут изменение оптической плотности как исследуемого образца, так и исходного биоцида не превышало 10% от первоначальной, что свидетельствует о высокой стабильности дисперсных частиц.

Учитывая, что данный дезинфектант представляет собой дисперсную систему на основе липида, представляют значительный интерес исследования на предмет его трибологических свойств.

Таким образом, триглицеридная дисперсная система с аммониевым соединением представляет собой устойчивый биоцид в дисперсной форме. В дальнейшем на её основе возможна разработка новых технологических смазочных сред (СОЖ, др.) с требуемыми трибологическими характеристиками и высокой степенью защиты от биоповреждений.

1. Михаловский И. С., Тарасевич В. А., Агабеков В. Е., Волнянко Е. Н., Самойлов М. В. Дисперсные субстанции из триглицеридов и производных полигексаметиленгуанидина для защиты смазочных охлаждающих жидкостей от биоповреждений // Международная научно-практическая конференция «Полимерные композиты и трибология» («Поликом-триб-2013») // Гомель: ИММС НАН Беларуси. — 2013, 100
2. Blok S. S. Disinfection, Sterilization and Preservation. — New-York: Lippincott Wilkins. — 2001
3. 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

СТРУКТУРА И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИЛУМИНА АК12М2МгН, МОДИФИЦИРОВАННОГО СИНТЕЗИРОВАННЫМИ *IN-SITU* НАПОЛНИТЕЛЯМИ С НАНОРАЗМЕРНЫМИ СОСТАВЛЯЮЩИМИ

А.И. Комаров, В.И. Комарова, А.А. Шипко, Д.В. Орда

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Постановка задачи. Повышение износостойкости силуминов обычно достигается измельчением структурных составляющих их грубодисперсной структуры. Новые подходы в этом направлении относятся к области применения порошковых наноразмерных модификаторов. Однако их широкому использованию препятствует сложность введения в расплавы. Известные методы, основанные на предварительной совместной механоактивации наночастиц с микропорошками [1] не обладают достаточной эффективностью из-за возможного образования агрегатов. Таким традиционным методом модифицирования сплавов алюминия нанопорошками в [2] предложена альтернатива, суть которой заключается в синтезе *in-situ* (CVD-метод) наночастиц тугоплавких соединений на поверхности микро- (ультрадисперсных) порошков, что обеспечивает получение порошковых наноструктурированных композиционных тугоплавких наполнителей (НКТН). НКТН играют роль доноров для протекания химических реакций и носителей наносоединений в расплавы.

Цель работы состоит в получении износостойких, антифрикционных композитов на основе сплава АК12М2МгН путем его модифицирования наноразмерными AlN, AlB₂, синтезируемыми на поверхности микропорошка гексагонального BN (ГНБ) и прочно связанными с ним.

Материалы и методы. Для реализации синтеза НКТН (BN_{Al}), включающего наночастицы AlN и AlB₂, использовалась шихта, состоящая из микропорошков ГНБ (основа) и алюминия Al (ПА-1) с варьируемым соотношением. Для обеспечения химических реакций между компонентами шихты проводился ее нагрев в восстановительной атмосфере аммиака и водорода под плавким затвором в диапазоне температур 800—950 °С. Получение отливок КМ заключалось в расплавлении силумина до температуры 750—830 °С, введении в расплав прессовок НКТН и последующей заливки расплава в металлический кокиль. Исследование структурно-фазового состояния BN_{Al} и образцов отливок проводилось методами рентгеноструктурного анализа, микроскопии, СЭМ. Фрикционные испытания образцов КМ выполнялись в условиях граничного трения по схеме возвратно-поступательного перемещения индентора относительно неподвижного образца при давлении $p = 20$ МПа, 30, 40 МПа.

Результаты и их обсуждение. Анализ рентгенографических исследований синтезированного BN_{Al} показал, что результатом химического взаимодействия между BN и Al при термической обработке шихты является синтез наночастиц AlN гексаго-

нальной модификации в виде нанотрубок и нановолокон (рис. 1) и борида алюминия AlB₂ на поверхности частиц порошка BN. Присутствие в BN_{Al} борида AlB₂ свидетельствует о частичной деструкции BN с образованием бора и азота в процессе термической обработки шихты, поскольку бор в исходную шихту не вводился.

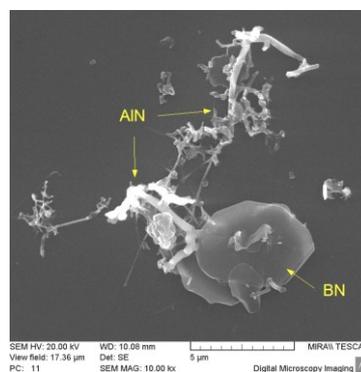


Рис. 1. Модифицированный порошок BN

Показано, что синтезированный наполнитель BN_{Al}, будучи введенным в расплав силумина, обеспечивает существенное (в ~20—30 раз) диспергирующее воздействие на структурные составляющие АК12М2МгН, а также его триботехнические свойства (табл. 1). При доле BN_{Al} (51% BN — 19% AlN — 14% AlB₂ — 3% Al), равной 0,85%, регистрируется снижение f до 8,5 раз, а I_q — до 60 раз (КМ АК12-4) по сравнению с базовым сплавом. Увеличение содержания BN_{Al} в расплаве до 1,78% (КМ АК12-7) сопровождается повышением износостойкости КМ в ~330 раз, тогда как f этого КМ существенно не меняется.

Таблица 1. Коэффициент трения f , интенсивность изнашивания I_q композитов АК12М2МгН+BN_{Al} при $p = 20, 30, 40$ МПа

КМ	Коэффициент трения f			I_q , 10 ⁻⁴ мг/м
	$p = 20$ МПа	$p = 30$ МПа	$p = 40$ МПа	
исход.	0,080—0,090	—	—	35,9
АК12-4	0,010—0,012	0,012—0,025	0,012—0,015	0,62
АК12-7	0,015—0,025	0,012—0,017	0,010—0,012	0,11

1. Манолов В., Черепанов А., Лазарева Р., Константинова С. Влияние нанопорошковых инокуляторов на структуру и свойства сплава AlSi7Mg // Литейное производство. — 2011, № 4, 17—20
2. Витязь П.А., Комаров А.И., Комарова В.И., Шипко А.А., Сенюк В.Т. Создание наноструктурированных композиционных модификаторов для сплавов алюминия // Докл. НАН Беларуси. — 2011 (55), № 5, 91—96

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ АЦЕТАТА КАЛЬЦИЯ НА СВОЙСТВА КОМПЛЕКСНЫХ КАЛЬЦИЕВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.Л. Богданов, С.Ф. Ермаков

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

Цель

Установление закономерностей влияния содержания ацетата кальция на реологические и триботехнические свойства комплексных кальциевых композиционных пластичных смазочных материалов.

Материалы и методы исследования

Для экспериментальных исследований использовали образцы композиционных пластичных смазочных материалов (КПСМ) на основе минеральных масел и комплексного кальциевого загустителя с различным содержанием ацетата кальция.

Проводились измерения предела прочности на сдвиг при различных температурах на пластометре К-2.

Триботехнические свойства оценивались на четырехшариковой машине трения (ЧШМ).

Результаты и их обсуждение

Установлено, что оптимальное содержание ацетата кальция в составе комплексных кальциевых КПСМ с точки зрения реологических свойств — предела прочности на сдвиг находится в интервале 7—8%, при этих концентрациях достигаются значения предела прочности на сдвиг в пределах 450—800 Па в зависимости от температуры измерения (рис. 1). Температура каплепадения экспериментальных образцов по результатам измерений составила более 230 °С.

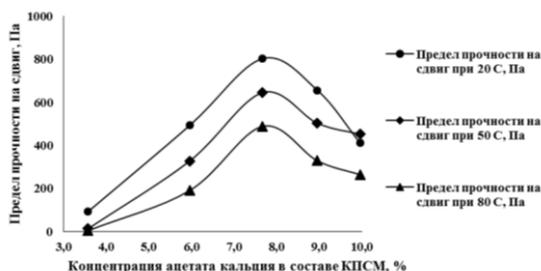


Рис. 1. Результаты измерений предела прочности на сдвиг

Установлено, что увеличение содержания ацетата кальция, в составе комплексного кальциевого загустителя КПСМ, снижает противоизносные характеристики КПСМ, а также, соответственно, вызывает рост температуры саморазогрева узла трения (рис. 2).

Снижение противоизносных свойств, вероятно, объясняется наличием свободного ацетата кальция в кристаллической форме, который при определенных нагрузках носит характер абразивного компонента и

способствует разрушению граничного слоя [1, 2].

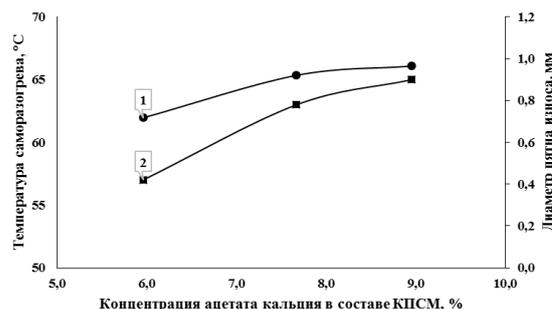


Рис. 2. Результаты испытаний образцов КПСМ на ЧШМ при нагрузке 392 Н в течение 8 ч: 1 — диаметр пятна износа; 2 — температура саморазогрева узла трения.

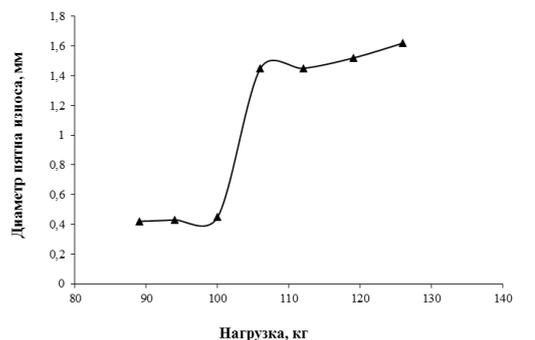


Рис. 3. Зависимость диаметра пятна износа от нагрузки для оптимального образца КПСМ после испытаний на ЧШМ в течение 10 с

Для оптимального образца КПСМ, который содержит не более 8% ацетата кальция, получена нагрузочная характеристика, при этом критическая нагрузка составила 106 кг (рис. 3).

Таким образом оптимальное содержание ацетата кальция в составе дисперсной фазы комплексного кальциевого КПСМ обеспечивает высокие значения предела прочности на сдвиг, но в тоже время несколько снижает триботехнические свойства.

Исследования проведены в рамках темы 10 научно-технической программы Союзного государства «Разработка инновационных технологий и техники для производства конкурентоспособных композиционных материалов, матриц и армирующих элементов на 2012—2016 годы».

1. Синицын В.В. Подбор и применение пластичных смазок, 2-е изд., пер. доп. — М.: Химия. — 1974
2. Ищук Ю.Л. Состав, структура и свойства пластичных смазок. — Киев, Наукова думка. — 1996

ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТОВ НА ИЗНОС КЕРАМИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ

В.В. Кузин, С.Н. Григорьев, С.Ю. Федоров, М.А. Волосова, Н.Р. Портной

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», Москва, Россия; kyzena@post.ru

Цель

Выявление роли дефектов в износе керамических инструментов является актуальной научной задачей [1, 2]. Часто процессы появления, накопления и развития дефектов имеют катастрофические последствия для этих инструментов и приводят к их внезапным отказам [3, 4]. В работе поставлена цель — изучить природу влияния дефектов, образовавшихся на лезвии керамических инструментов при заточке, на характер их износа и причины отказов.

Методика исследования

Реализована двухэтапная методика исследования. На первом этапе выявленные технологические дефекты на лезвии керамических инструментов с использованием СЭМ TESCAN VEGA 3LMH. На втором этапе изучили влияние этих дефектов на износ керамических режущих пластин, при точении и фрезеровании чугунов, закаленных сталей, никелевых и молибденовых сплавов. Испытания проводили в широком диапазоне режимов резания: $v = 40\text{—}1000$ м/мин, $S = 0,022\text{—}0,7$ мм/об, $t = 0,25\text{—}3$ мм. При проведении испытаний фиксировали состояние очагов износа режущих пластин с использованием микроскопа Olympus BX51M.

Результаты и их обсуждение

В результате исследования режущих пластин ВОК71 после заточки упрочняющей фаски выявлены многочисленные дефекты на их лезвии в виде сколов размером 5—50 мкм. Природа появления этих технологических дефектов, допускаемых ГОСТ 25003—81, определяется закономерностями формирования поверхностного слоя керамических материалов при алмазном шлифовании и кинематикой процесса формирования упрочняющей фаски.

Установлено, что дефекты лезвия оказывают неоднозначное влияние на износ керамических режущих пластин. Их наибольшее влияние проявляется на этапе приработке, когда интенсивность износа задней поверхности превышает 0,2 мм/мин. За очень короткое время лезвие приобретает вид сглаженной кромки. Отсутствие на этой кромке локальных сколов свидетельствует о прекращении влияния исходных дефектов лезвия на износ инструментов. Наличие сколов размером более 0,1 мм на «сглаженном» лезвии указывает на их активную роль в дальнейшем износе инструментов (до их отказа).

В качестве примера этого влияния на рис. 1 показана кинетика износа задней поверхности пластины ВОК71. Видно, что через три минуты эксплуатации ширина фаски износа на задней поверхности

составляет 0,09—0,11 мм, причем в ее центральной части имеется дефект размером 0,17 мм (рис. 1, а). На поверхности дефекта и в непосредственной близости от него обнаружены многочисленные трещины размером 10—25 мкм. Препятствуют росту этих мелких трещин дисперсные частицы TiC в матрице из Al_2O_3 , причем высокую эффективность этого механизма подтверждает то, что через шесть минут с начала эксплуатации резца размеры дефекта практически не изменились на фоне увеличившейся в два раза ширины фаски износа (рис. 1, б). В последующий интервал времени (6—9 мин) докритические трещины начинают интенсивный рост, тормозить который дисперсные частицы не способны. Результатом этого процесса является локальный скол поверхностного слоя режущей пластины (рис. 1, в). Дальнейший рост трещин и увеличение степени дефектности поверхностного слоя приводит к разрушению керамической пластины и отказу инструмента (рис. 1, г).

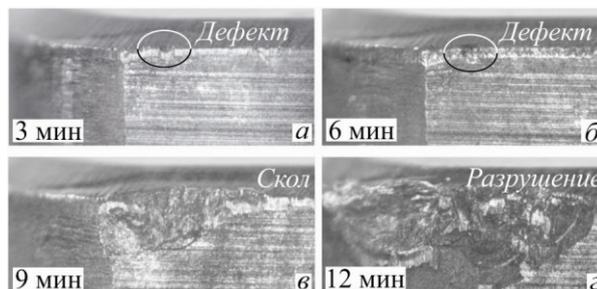


Рис. 1. Влияние эксплуатационного дефекта на кинетику износа режущей пластины ВОК71 при точении стали ШХ15 56—58 HRC с $v = 170$ м/мин, $S = 0,075$ мм/об, $t = 0,25$ мм

Таким образом, в результате выполненных исследований вскрыта природа влияния технологических дефектов на лезвии на механизм износа и причины отказов керамических инструментов.

Данные прикладные научные исследования проведены при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России (уникальный идентификатор проекта — RFMEFI57414X0003).

1. Grigoriev S. N. and Kuzin V. V. Prospects for Tools with Ceramic Cutting Plates in Modern Metal Working // Glass and Ceramics. — 2011 (68), nos. 7—8, 253—257
2. Kuzin V. V. Effective Use of High Density Ceramic for Manufacture of Cutting and Working Tools // Refractories and Industrial Ceramics. — 2010 (51), no. 6, 421—426
3. Volosova M. A. and Kuzin V. V. Regular Features of Wear of Cutting Plates from Oxide and Nitride Ceramics // Metal Science and Heat Treatment. — 2012 (54), nos. 1—2, 41—46
4. Kuzin V.V., Volosova M. A. and Fedorov M. Yu. Wear of Tools from Nitride Ceramics when Machining Nickel-Based Alloys // Journal of Friction and Wear. — 2013 (34), no. 3, 199—203

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК ЛЕНГМЮРА – БЛОДЖЕТТ ТРИАКОНТАНОВОЙ КИСЛОТЫ С ЧАСТИЦАМИ АМОРФНОГО УГЛЕРОДА

А.Е. Соломянский, В.Е. Агабеков

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

Введение

При миниатюризации прецизионных узлов трения необходимы более эффективные износостойчивые покрытия [1]. Одним из подходов, позволяющих улучшить триботехнические характеристики таких узлов трения, является использование в качестве защитных пленок композиционных слоев Ленгмюра – Блоджетт (ЛБ) на основе высших жирных кислот с частицами графита или аморфного углерода, формирование которых не требует вакуумирования и высоких температур [1, 2].

Цель данной работы заключалась в разработке защитных покрытий для прецизионных узлов трения на основе композиционных пленок ЛБ триакоктановой кислоты (ТК) с частицами технического (аморфного) углерода (С).

Материалы и методы

Пленки ТК, ТК — С формировали на стальных подложках (сталь 12Х17) прямоугольной формы площадью ~ 2 см² методом горизонтального осаждения на установке LT-103 [2] при поверхностном давлении 30 мН/м. Композиционные ленгмюровские слои ТК с частицами технического углерода марки N990 (средний размер частиц ~ 400 нм) формировали из суспензии С в хлороформенном растворе ТК. Массовое соотношение С и ТК в дисперсии составляло 1:1. Триботехнические испытания покрытий осуществляли на трибометре возвратно-поступательного типа (ИММС НАН Беларуси). Условия тестирования: приложенная нагрузка 0,5 Н, индентор — стальной шарик диаметром 3 мм (сталь 95Х18), длина хода индентора 3 мм, его линейная скорость 4 мм/с. Граничным условием проведения эксперимента являлось значение коэффициента трения ~ 0,5 [2].

Морфологию образцов изучали методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) на сканирующем зондовом микроскопе Multimode (Veeco, США). Шероховатость немодифицированных стальных пластин измеряли на профилометре M2 (Mahr, Германия).

Результаты и их обсуждение

При нагрузке 0,5 Н монослой ТК и композиционное покрытие ТК с частицами С разрушаются после ~ 41 и 88 циклов скольжения соответственно (рис 1), при этом немодифицированная стальная подложка изнашивается после ~ 11 циклов скольжения (рис. 1 кривая 1).

Для формирования упорядоченной и однородной по толщине пленки ЛБ поверхность подложки

должна иметь шероховатость R_{\max} не более 50 нм [2], в то время как шероховатость используемой стали $R_{\max} \sim 238$ нм. Увеличение износостойкости композиционного покрытия ТК — С по сравнению с стабильностью в процессе трения монослоя ТК, возможно связано с тем, что частицы С и их агрегаты размером от ~ 280 до 1500 нм (рис. 2) остаются в зоне контакта поверхностей и предохраняют их от разрушения.

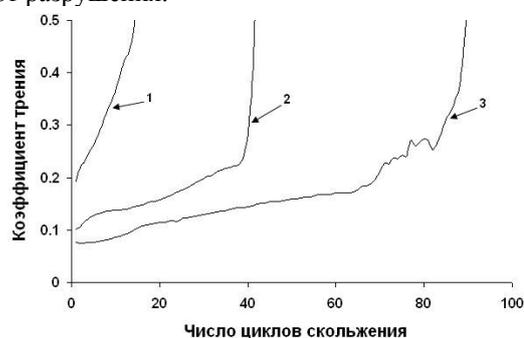


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения от числа циклов скольжения: 1 — немодифицированная стальная поверхность, 2 — монослой ТК, 3 — покрытие ТК-С

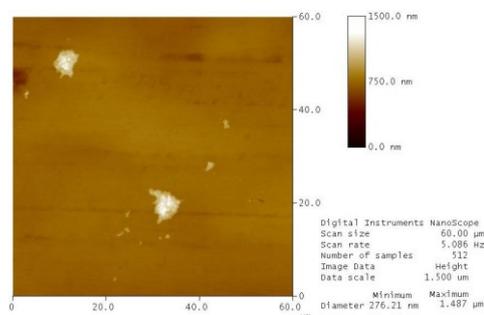


Рис. 2. АСМ изображение покрытия ТК-С, сформированного на стальной поверхности

Выводы

Установлено, что введение частиц аморфного углерода в монослой триакоктановой кислоты увеличивает его износостойчивость в процессе трения. Тонкопленочные материалы на основе композиционных пленок триакоктановой кислоты с частицами аморфного углерода могут быть использованы в качестве твердосмазочных защитных покрытий в прецизионных узлах трения.

1. Hao J. Self-Assembled Structures Properties and Applications in Solution and on Surfaces — London: CRC Press — 2010
2. Соломянский А.Е., Жавнерко Г.К., Агабеков В.Е. Триботехнические характеристики композиционных пленок Ленгмюра – Блоджетт на основе меллисиновой кислоты // Журнал прикладной химии.— 2012 (85), вып. 9, 1545–1548

ИССЛЕДОВАНИЕ СМАЗОЧНОГО ДЕЙСТВИЯ ПРИСАДОК ГЕТЕРОПОЛИФОСФАТОВ

В.И. Колесников¹, М.А. Савенкова¹, Д.Н. Солодовникова¹, Ю.Ф. Мигаль²

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

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

Изучены присадки к пластичным смазочным материалам (СМ), полученные с помощью метода физико-химического анализа. В системах $\text{LiPO}_3\text{-WO}_3$ и $\text{NaPO}_3\text{-WO}_3$ образуются фосфоровольфраматы LiPWO_6 и NaPWO_6 , анионы которых имеют циклическое строение. Эти соединения являются перспективными неорганическими многофункциональными присадками, олеофильными к масляной основе, термо- и химически стойкими.

Квантово-химический анализ с помощью пакета программ ADF, основанного на приближении DFT, позволил описать структуры этих соединений и механизм их действия в качестве присадок к смазкам в процессе трения [1]. Смазочное действие синтезированных присадок обусловлено, в частности, превращением циклических структур в линейные вблизи поверхности металла. Линейная полимерная цепочка легче внедряется в кристаллическую структуру поверхностных оксидных слоев, находящихся на металлических поверхностях трибосопряжения.

Триботехнические испытания смазочных материалов с синтезированными присадками проводились на четырехшариковой машине трения ЧМТ-1 по стандартной методике и на торцевой машине трения при нагрузке 1,2 ГПа с введением в зону контакта СМ. Результаты испытаний приведены в табл. 1, 2. Из таблиц видно, что добавление присадок фосфоровольфраматов к смазочным композициям (СК) серии Пума (МЛ, МР, МГ) и Буксол существенно улучшает характеристики смазки.

Способность присадок создавать стойкую антифрикционную плёнку на оксидированной поверхности трущихся стальных тел контролировали также с помощью ИК Фурье спектрофотометра Nicolet 380 с приставкой НПВО по интенсивности поглощения линий ИК-спектра поверхности трибосопряжения. В ИК-спектре исходного СМ Буксол, основу которого составляет смесь углеводов различного строения, наблюдаются полосы в областях 1365—1395, 1435—1480, 2845—2885, 2915—2975 см^{-1} , соответствующие колебаниям связей С—Н [2].

После смазывания поверхности металлического образца СК Буксол с присадкой NaPWO_6 в ИК-спектре появляются группы характеристических полос валентных колебаний $\nu_{\text{as}} \text{OWO}$, $\nu_{\text{s}} \text{OWO}$, $\nu_{\text{as}} \text{POP}$ в областях 670—780, 918—930, 950—1010, 1085—1160 см^{-1} , свойственные линейным формам анионов гетерополифосфатов. Эти полосы остаются в спек-

тре и после 42 часов испытаний, что свидетельствует о длительном сохранении смазочной пленки на поверхности трения. В отсутствие присадок антифрикционная плёнка сохраняется максимум 3 часа.

Можно сделать вывод, что 1%-содержание присадки фосфоровольфрамата натрия достаточно для формирования стойкого антифрикционного пленочного слоя на стальных поверхностях трения. Отработанные СК с введенной присадкой остаются влагостойкими, не обводняются и не разжижаются, не уплотняются и не твердеют, сохраняя коррозионную стойкость на металлических поверхностях.

Таблица 1. Результаты триботехнических испытаний свойств СК Пума и Буксол с присадкой фосфоровольфрамата лития

Содержание присадки в СК, мас. %	Диаметр пятна износа, мм			
	Буксол	Пума-МР		
		МР	МГ	МЛ
0	0,51	0,69	0,68	0,64
1	0,41	0,51	0,49	0,48
2	0,42	0,52	0,50	0,50
5	—	0,58	0,53	0,51

Таблица 2. Результаты испытаний СК Пума-МР с присадкой фосфоровольфрамата натрия на ЧМТ-1

Содержание присадки, мас. %	Диаметр пятна износа, мм	Критическая нагрузка, Н	Нагрузка сваривания, Н
0	0,49	490	1235
1	0,39	588	1744
3	0,31	872	2450

С помощью системы анализа поверхности фирмы SPECS методом рентгеноэлектронной спектроскопии был проведен анализ элементного состава поверхности. Он не обнаружил фосфора, химически связанного с железом, на поверхности образцов, а также в глубине поверхности до 0,8 мм. Этот факт свидетельствует о том, что атомы фосфора остаются на поверхности трибосопряжения связанными в молекулах присадок.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 14-29-00116).

- Колесников В.И., Мигаль Ю.Ф., Савенкова М.А., Солодовникова Д.Н. Взаимодействие молекул фосфорсодержащих неорганических присадок с поверхностью железа: квантово-химический анализ // Вестник РГУПС. — 2013, № 3, 153—160
- Лазарев А.Н., Миргородский А.П., Игнатьев И.К. Колебательные спектры сложных оксидов. — М. — 1989

ТРИБОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ КООРДИНАЦИОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТРАНСМИССИОННЫХ МАСЕЛ

А.Г. Пономаренко¹, М.В. Бойко², А.С. Бурлов¹, А.Г. Калмыкова¹, Т.Г. Боженко¹,
Т.А. Ширяева¹, В.А. Четверикова¹, А.В. Деркун¹, В.И. Колесников²

¹Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия, invec@mail.ru

²ФГБОУ ВПО РГУПС, г. Ростов-на-Дону, Россия, kvi@rgups.ru

Многие органические соединения, введенные в смазочную среду в зоне трения претерпевают химические превращения. Наблюдаются трибохимические процессы окисления, восстановления, деструкции, полимеризации, обменные реакции с металлами поверхностей трения [1].

Наиболее интересными с практической точки зрения являются координационные соединения переходных металлов, которые способны в результате трибохимических реакций образовывать тонкие пленки переходных металлов на поверхностях трения [2]. Кроме того, они участвуют в реакциях трибополимеризации сложных эфиров, формируя пленку трибополимера, набухшего в смазочной среде [3].

Трибометрические испытания смазочных композиций, содержащих координационные соединения переходных металлов и сложных эфиров, показывают чрезвычайно низкие значения коэффициентов трения — уменьшение до 10 и более раз по сравнению с исходным маслом.

Из экспериментальных данных следует, что эффективность действия координационных соединений, как присадок, возрастает в ряду Ni < Zn < Cu < Co, если судить по нагрузочным характеристикам. При оценке присадок по противоположным свойствам установлено, что комплекс никеля в четыре раза снижает износ пары трения, в то время как для комплексов Zn, Cu и Co наблюдается отрицательный износ, т.е. после трения вес пары возрастает. Наблюдаемый эффект объясняется тем, что вес пленки, образовавшейся на поверхностях трения больше, чем износ металлургических поверхностей.

Наблюдаемый эффект можно использовать для снижения износа трущихся пар за счет реализации избирательного переноса (проявляется эффект «безыносного трения»), а также для восстановления изношенных поверхностей наращиванием пленки до восстановления геометрии поверхностей.

Исследование поверхностей трения с помощью оптической микроскопии показало, что дорожка трения покрыта тонкой пленкой (порядка 1 мкм), не смываемой растворителями. Пленка имеет оптиче-

ски прозрачные и непрозрачные участки, полностью закрывающие микронеровности и дефекты стальной поверхности. Она не смачивается водой в отличие от поверхности вне дорожки трения (углы смачивания 60° и 12° соответственно).

С целью определения химического состава пленки проведены исследования методом НПВО, позволяющим снять ИК-спектры пленки непосредственно на поверхностях трения.

Используя полученные результаты можно разрабатывать энергосберегающие масла, которые уменьшают потери в реальных узлах, в частности, трансмиссиях.

Проведены испытания энергосберегающего трансмиссионного масла, содержащего присадку Купрол на основе координационного соединения меди на стенде для испытания редукторов.

Стенд представляет собой электродвигатель (мощность 1,5 кВт) и генератор, соединенные между собой через два шестеренчатых редуктора — понижающий и повышающий. Стенд снабжен измерителями мощности на входе и выходе, позволяет осуществлять регулировку нагрузки в широком диапазоне для обеспечения различных режимов испытаний.

По результатам стендовых испытаний после введения энергосберегающей присадки Купрол в трансмиссионное масло, выходная мощность редукторов возрастает на 10%.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП Минобрнауки, Соглашение № 14.575.21.0095.

1. Хайнике Г. Трибохимия: перевод с англ. — М.: Мир. — 1987
2. Ponomarenko A.G., Chigareno G.G., Shiryayeva T.A., Burlov A.S., Zaichenko S.B., Garnovskii A.D., Minkin V.I., Bichero A.V., Konoplev B.G., Ageev O.A., Kolomiitsev A.S., and Chetverikova V.A. Study of Lubricating Compositions based on Polyorganosiloxanes Involving Azomethine Metallocomplexes // Journal of Friction and Wear. — 2010 (31), no. 5, 387—397
3. Ponomarenko A.G., Burlov A.S., Boiko M.V., Shiryayeva T.A., Kalmykova A.G., Zaichenko S.B., and Milutka M.S. Investigation of Tribochemical Processes in Lubricating Compositions That Contain Coordination Compounds of Transition Metals // Journal of Friction and Wear. — 2015 (36), no. 1, 15—22

MODIFICATION OF BIOLOGICAL LUBRICATING MATERIALS WITH NANO PARTICLES

Johns Eyioma Izuwah

Aleksandras Stulginskis University Kaunas Lithuania, Kaunas, Lithuania; eyiomajohnsizuwah@gmail.com

Introduction

As our technological civilization expands, the conservation of materials and energy is becoming increasingly important. Lubricants facilitate the effective operation of mechanical equipment. Friction in various mechanical systems is a principal cause of energy dissipation. To save the total energy in mechanical systems, it is very important to improve the physical, chemical and tribological properties of lubricant: vegetable oils and synthetic esters [1]. Biodegradable lubricants represents the technical and environmental alternative for conventional lubrication (mineral oils) the most rapidly biodegradable oils as vegetable oils, which includes Soybean oil, rapeseed oil, sunflower oil, and castor oil etc. which are the most used vegetable oils in biodegradable lubricant formulations. They have the advantage of being almost completely biodegradable but the chemical stability of vegetable oils is low, because of their polyunsaturated acids content. There are many applications for vegetable oils in the lubrication field, especially for fluid lubricants such as hydraulic fluids, compressor oils, transformer coolant, two-stroke engine oils, and metal working fluids. Each vegetable oil possesses different properties. Additives are widely used to improve the lubricant performance of vegetable oils. Without additives, even the best base fluids are deficient in some features [2, 5].

The performance of a lubricant depends collectively on the base oil, additives and formulation. Phosphorus, Sulphur, zinc etc. are examples of some of the widely used additives. Sulphur-containing additives are probably the earliest known additive compounds in lubricants, due to the great attraction of nanomaterials in research field because of their special physical, chemical and tribological properties. The use of additives such as nanoparticles of Cu, Nanoparticles of CaCO₃, nanoparticles of Fe, TiO₂ nanoparticles, CuO nanoparticles, Ni nanoparticles and other metallic nanoparticle additives added to vegetable oils enhances its tribological properties of vegetable oils, it also improve the extreme pressure (EP), anti-wear (AW), coefficient of friction (COF), corrosion, load carrying and even retard the thermo-induced oxidation of vegetable oils [3]. Nanopowders of some metals and their compounds have different characteristics on lubricants.

Nanoparticles of Cu has a low melting point, it will form a self-lubricating and self-repairing coating film in the friction surface and lower its anti-friction and

anti-wear performance. Nano-Cu additive can form a low shearing strength protect film in friction. Solid additives increase the load carrying of the lubricant. The friction-reduction and anti-wear behavior is dependent on the characteristics of the nanoparticles, for instance each nanoparticles additive has its own dropping point, and the dropping point varies. The mechanisms by which oils with Nano-additives reduce friction and wear are the colloidal effect, Rolling effect, small size effect, protective film effect and third body effect [4]. The mechanism of lubrication which is influenced by these additives elements involves some chemical changes on the surface protection film. This film is called boundary lubricating film or a tribofilm. The tribofilm plays a major role in determining the friction and wear in the tribological interaction. The morphology, integrity and mechanical properties of the tribofilms may vary depending on the properties of rubbing materials as well as the type of lubricant additives used.

Keywords: Nanoparticles, lubricating materials, friction, wear, biodegradability

Significance

The significance is to meet the future challenge to control the manufacturing, performance, and reliability of products and production systems in a holistic way that enables optimal economical solutions and ensures sustainability development- alternative means.

Acknowledgment

This study was funded by the Research Council of Lithuania (TAP LB-08/2015).

1. Joze V., Mitjan K., Kuniaki D., and Said J. 2004 Tribology of Mechanical Systems
2. Florea O., Luca M., and Stelian C. Ecological Lubricating Greases / Balkan Trip 2005 5th Int. conf. on Tribology. June, 15—18, 2005. <http://www.tribology.fink.rs/journals/2004/1-2/9.pdf>
3. Manu V. Thottackkad, Rajendrakumar P.K., and Prabhakaran N.K., Tribological Analysis of Surfactant Modified Nanolubricants Containing CeO₂ Nanoparticles // Tribology. — 2014 (8), no. 3
4. https://www.academia.edu/8447791/Tribological_analysis_of_surfactant_modified_nanolubricants_containing_CeO2_nanoparticles
5. Padgurskas Ju., Rukuiza R., Prosycevas I., and Kreivaitis R. Tribological Properties of Lubricant Additives of Fe, Cu and Co Nanoparticles // Tribology International. — 2013 (60), 224—232
6. Ortansa Florea and Vasile Matel. Biodegradable Lubricating Greases for Special Work Conditions. — 2009, no. 4 (160)

EVALUATION OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF BIO-BASED LUBRICATING GREASES IN LOW TEMPERATURE

J. Padgurskas, A. Kupčinskas, R. Kreivaitis

Institute of Power and Transport Machinery Engineering, Aleksandras Stulginskis University, Kaunas, Lithuania; daimleris@gmail.com

Keywords: biological oils, four-ball test, tribological properties.

Introduction

Bio-based lubricating greases made of renewable materials, must quickly biodegrade in the environment and in the case of accidents or leakage during usage must have the lowest possible toxicity to humans and the environment [1, 2].

In the oil because of the temperature variation inevitably oxidized, leading to increased friction and wear, which resulted in decrease mechanism performance. The main consequence of oxidation is the growth of oil viscosity and acidity.

The oxidation rate is affected by the temperature, metals in contact with oil, water and oxygen content in the oil and the amount of ionizing radiation [3, 4].

So far, there are not enough tribological studies on bio-based lubricating greases at negative temperature.

Materials and Methods

Rapeseed oil has been studied as base lubricating grease oil thickened with lithium and sodium soaps and modified with functional LUBRIZOL additives.

Four-ball type tribotester was used to perform tribological tests. The test start temperature was $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. The testing procedure was adapted from the standard DIN 51 350.

The wear scar diameter on three stationary balls was measured with an optical microscope. The results were recorded and reported as the average of the wear scar diameter (WSD) of the three balls in millimetres. During the test the friction torque between the balls and temperature change of sample grease were recorded.

Results and Discussion

Friction torque variations during the test are presented in Fig. 1. The graph shows that lithium and sodium soaps thickened rapeseed oil in positive temperatures show stable and smooth friction torque.

In the negative temperature tested lithium soap thickened grease has torque rises up, and the average torque, as compared with the positive temperature, increased by 1.2 times. In the same time sodium soap thickened grease has average torque, as compared with

the positive temperature, increased by 1.4 times.

Acknowledgment

This study was funded by the Research Council of Lithuania (TAP LB-08/2015).

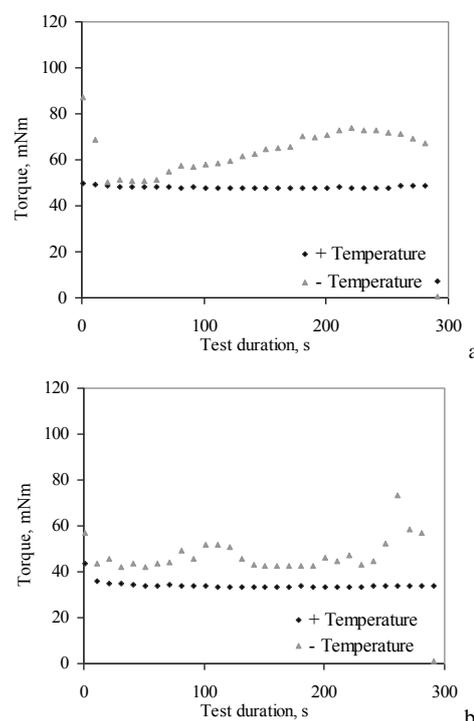


Fig. 1. Friction torque variation during the test (load 150 N, max contact pressure 1050 MPa). a — RO + lithium soap + additive, b — RO + sodium soap + additive

- Hirao K., et al. Environment and Energy Saving by Use of Synthetic Esters / In World Tribology Congress 2009. Japan. — 2009, B2-135
- Kajdas Cz. Re-Refined Base Oil: Quality and Ecology / In 4th European Re-refining Congress, Brussel, 2009. — 2009
- Alias N.H., et al. Effect of Additives on Oxidation Characteristics of Palm Oil-Based Trimethylpropane Ester in Hydraulics Applications // European Journal of Lipid Science and Technology. — 2009 (111), no. 4, 368—375
- CASTRO, W., et al. A Study of the Oxidation and Wear Properties of Vegetable Oils: Soybean Oil without Additives // Journal of the American Oil Chemists' Society. — 2006 (83), no. 1, 47—52

MECHANICAL AND TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF SELF-LUBRICATING POLYMER NANOCOMPOSITES

J. Padgurskas¹, G. Reškevičius¹, A. Žunda¹, J. Zicans², R.M. Meri², I. Bochkov²

¹Aleksandras Stulginskis University, Kaunas, Lithuania; giedrius.reskevicius@gmail.com

²Riga Technical University, Riga, Latvia

Introduction

Self-lubricating polymer composite are used more and more in tribological applications. Parts from these composite are good alternatives where conventional elements cannot be employed easily, for example in medical equipment, food industry.

They have several advantages in comparison to metal ones: low weight, often no lubrication is required, low noise level, excellent mechanical damping effect, favorable friction etc.

Self-lubrication is characterized by ability to transfer microscopic amounts of material to the mating surface. This transfer process creates a film that provides lubrication and reduces friction over the length [1, 2].

Keywords: nanocomposite, self-lubricating, polyamide, polyoxymethylene

Materials and Methods

For investigation, has been made the polyoxymethylene (POM) and polyamide (PA66) composites with different copper oxide and expanded graphite nanoparticles concentrations (0%, 0,5%, 3%, 7,5% and 15%) by volume.

In research project we investigated the mechanical properties: tensile strength, flexural strength, impact resistance, hardness, density are performed to notice the behavior of mechanical properties with that of nanoparticles loading.

Also we analyzed thermal characterization of polymers including: DSC, TGA, FT-IR and thermal conductivity. Thermal analysis methods are very important in assessing the various polymers indicators: glass transition, melting and crystallisation temperature, degree of crystallinity, moisture, volatile additives and fillers. Received results show in what conditions and for a time the polymer product can be operated [3].

Investigations of scratch, friction and wear resistance of polymers and polymers with additives, using the CSM and SMC-2 (fig. 1) devices has been carried out in the present work. Normal load and velocity were considered variable in the wear tests.

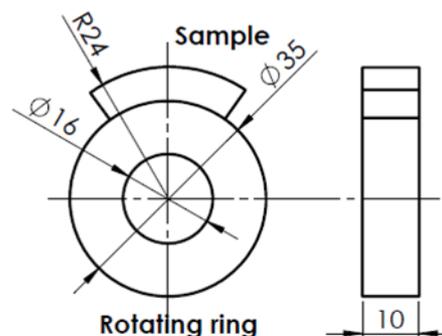


Fig. 1. Contacts schematic diagram for the frictional pair of a SMC-2 friction testing machine

Results and Discussion

Mechanical properties of polymer nanocomposites changed, compared to the pure matrix material.

Compared to POM with POM-CuO composite, particles increased values of hardness, density, flexural strength, however CuO particles decrease values of impact resistance.

Received thermal analysis results showed different glass transition, melting and crystallisation temperature, degree of crystallinity, moisture, volatile additives and fillers values of composites.

The addition of copper oxide and expanded graphite particles into POM and PA66 decreased the friction coefficient of composites.

Some of this research results are presented in this paper.

Acknowledgment

This study was funded by the Research Council of Lithuania (TAP LB-08/2015).

1. Zhang Z., Friedrich K. Polymer Composites — from Nano- to Macroscale. — Berlin: Springer. — 2005
2. Valek R. and Hell J. Impact Properties of Polymeric Nanocomposites with Different Shape of Nanoparticles. — Czech Republic. — 2011
3. Makuška R. Characterization of Polymers. — Vilnius: VU Publisher. — 2011

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЦЕССА ФОРМОВАНИЯ ЛЕГКОПЛАВКИХ ГРАНУЛ

В.М. Александров, В.А. Лобачев, А.В. Дроздов

Научно-исследовательский институт импульсных процессов с опытным производством, Минск, Беларусь;
alex.tehno@tut.by

В работе приведены результаты исследования процесса формования легкоплавких гранул из сплава Вуда. полученные результаты были использованы при изготовлении предохранителей (плавких вставок) (рис. 1), устанавливаемых в термозапорных клапанах систем газоснабжения, перекрывающих поток газа при возникновении пожара.

К легкоплавким сплавам относятся эвтектические металлические сплавы, имеющие низкую температуру плавления. Для получения легкоплавких сплавов используются свинец, висмут, олово, кадмий, таллий, ртуть, индий, галлий, иногда цинк. За нижний предел температуры плавления всех известных легкоплавких сплавов принимается температура плавления амальгамы таллия ($-61\text{ }^{\circ}\text{C}$), за верхний предел взята температура плавления чистого олова ($232\text{ }^{\circ}\text{C}$) [1].

Технология получения плавких вставок из исходного гранулированного материала (сплав Вуда дисперсностью 5—10 и 1—2 мм) включает в себя в качестве основной операции формование заготовки цилиндрической формы, имеющей однородную мелкокристаллическую структуру. Наиболее оптимальным способом решения этой технической задачи является метод выдавливания гранулированного материала через фильеру, при котором происходит истечение металла, заключенного в замкнутую полость через сквозное отверстие. При этом форма отверстия соответствует поперечному сечению получаемой заготовки [2].



Рис. 1. Внешний вид плавких вставок

Нагрев гранул при формовании до температуры, близкой к $T_{пл}$, помимо прочего, связан с выделением тепла в результате межчастичного трения, а также трения гранул о стенки прессформы, что весьма существенно для рассматриваемого процес-

са. В момент нагружения суммарная величина сил трения не должна быть велика, а уплотнение материала должно определяться динамикой роста давления. Гранулы в процессе формования поглощают к тому же значительную часть энергии нагружения, большая часть которой расходуется на неупругую деформацию, реализуемую в виде пластического течения материала.

В процессе исследований в матрицу засыпались одинаковые навески гранулированного материала и проводилось формование выдавливанием через фильеру. При этом на микроструктурах выявлены участки локализации окисных пленок, покрывавших поверхность гранул. В результате нагрева и деформации окисные пленки диспергируются и перемещаются в сторону наружной поверхности плавких вставок.

На рис. 2 приведена зависимость времени протекания процесса формования сплава Вуда от величины давления формования.

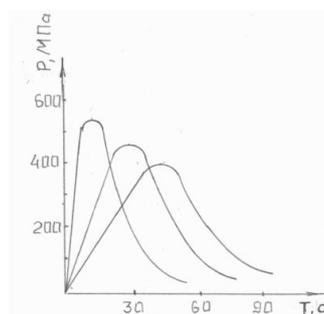


Рис. 2. Зависимость времени протекания процесса формования сплава Вуда от величины давления формования

Проведенные исследования позволили установить влияние технологических режимов получения плавких вставок на физико-механические свойства материала. Установлено, что оптимальным давлением, позволяющим получить плавкие вставки с требуемой температурой плавления $70\text{—}75\text{ }^{\circ}\text{C}$ является давление $500\text{—}540\text{ МПа}$.

1. Хавин В. Я. Краткий химический справочник. — Л.: Химия. — 1991
2. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. — М.: Машиностроение. — 1977

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И МОРФОЛОГИЯ МДО-ПОКРЫТИЙВ.Л. Басинюк¹, М.А. Леванцевич¹, Е.И. Мардосевич¹, С.А. Ковалева¹, С.С. Папина²¹Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск Беларусь; vladbas@mail.ru²ОАО «Планар», Минск, Беларусь**Цель**

Исследования особенностей морфологии МДО-покрытий и оценка их влияния на триботехнические свойства.

Методические подходы

МДО-покрытия на образцах из алюминиевого сплава типа АМц формировались анодно-катодной микродуговой обработкой на промышленном оборудовании ОАО «Планар». Толщина покрытия составляла 70—90 мкм, твердость — 14—16 ГПа. После формирования покрытия осуществлялась механическая обработка с полировкой его поверхностного слоя, обеспечивающей максимально возможное снижение его шероховатости. Исследовались особенности структуры, включая объем и характер распределения пористости и включений, а также топография поверхности. При этом использовалось следующее оборудование:

– сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения «Mira» фирмы «Tescan» (Чехия) с микрорентгеноспектральным анализатором «INCA Energy 350» фирмы «Oxford Instruments Analytical» (Великобритания), детектором вторичных электронов (SE) и обратно отраженных электронов (BSE);

– автоматический анализатор изображения «Mini-Magiscan» фирмы «Joyce Loebel» (Англия) по программе «Автоскан»;

– атомно-силовой микроскоп NT-206 производства ОДО «Микротестмашины (г. Гомель).

Наиболее типичные для МДО-покрытия визуализированные результаты испытаний приведены на рис. 1, 2.

Результаты и их обсуждение

Анализ полученных результатов показал:

– при наличии в сплаве включений, по данным СЭМ, они становятся основными концентраторами микронапряжений в МДО-покрытии (рис. 1), способствующим образованию продольных и поперечных микротрещин;

– МДО-покрытие имеет развитый рельеф поверхности (рис. 2, а), характеризующийся по данным АСМ среднеквадратичной шероховатостью ~ 700 нм, которая несущественно снижается до 400 нм после его суперфинишной механической обработки (рис. 2, б);

– для МДО-покрытия практически по всей толщине характерна зернистая структура (рис. 2, в, г).

Вследствие приведенных выше особенностей морфологии МДО-покрытий, их влияние на триботехнические свойства определяются следующим:

– в режиме жидкостного трения развитая топография поверхности способствует эффективному удерживанию смазки и, как следствие, высоким антифрикционными свойствами при трении скольжения;

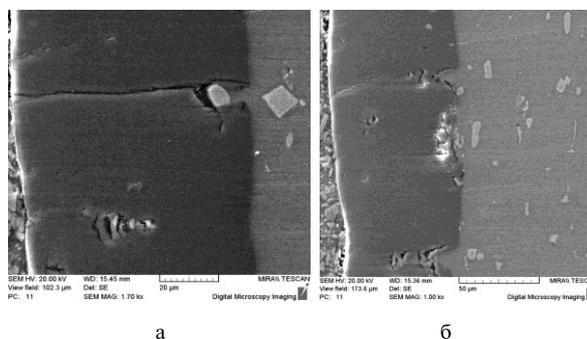


Рис. 1. СЭМ-изображения МДО-покрытия на алюминиевом сплаве типа АМц обратно рассеянных электронах

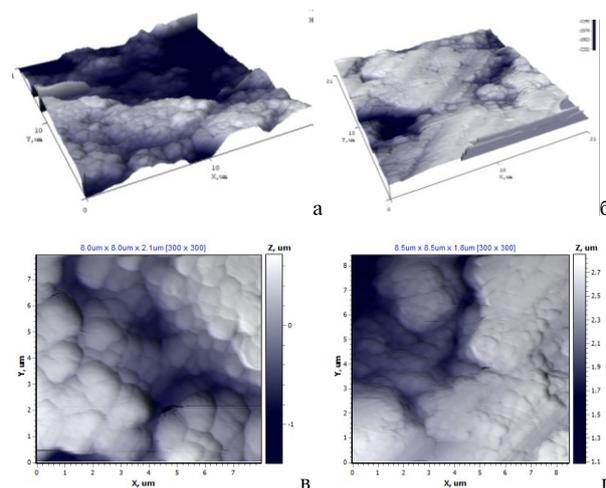


Рис. 2. АСМ 3D (а, б) и 2D (в, г) топография МДО-покрытия на сплаве типа АМц (а, в — исходная поверхность, б, г — после механической обработки)

– в режиме сухого трения скольжения при взаимодействии с аналогичным МДО-покрытием трение носит ярко выраженный фрикционный характер, что было показано в работе [1];

– при граничном режиме трения скольжения фрикционные свойства будут определяться комплексным влиянием свойств смазки, материала поверхности, контактирующей с поверхностью МДО-покрытия, а также скоростными, нагрузочными и тепловыми режимами контактного взаимодействия;

– развитый микрорельеф поверхности МДО-покрытия способствует возникновению более высоких, по сравнению с традиционными «подшипниковыми» парами трения качения, значений коэффициентов трения.

1. Basinyuk V.L. and Mardosevich E.I. Frictional and mechanical characteristics of oxide-ceramic coatings // Journal of Friction and Wear. — 2003 (24), no. 5, 39—44

ПОВЕРХНОСТНО МОДИФИЦИРОВАННЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ В УЗЛАХ ТРЕНИЯ ТЕХНИКИ ДЛЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ

Р.Е. Волкотруб, М.П. Лобкова, С.А. Ковалева

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Целью исследований явился выбор и обоснование перспективных композиционных материалов на основе МДО-покрытий для пар трения качения подшипниковых узлов техники для экстремальных условий и разработка рекомендаций к технологическим схемам их формирования.

Материалы и методы

В настоящее время керамические материалы достаточно широко применяются в подшипниках качения подвижных узлов техники для экстремальных условий, включая космическую. Для этих целей, как правило, используется специальная высококачественная прессованная керамика, изготовленная на основе нитрида кремния (Si_3N_4), карбида кремния (SiC); оксида циркония (ZrO_2), оксида алюминия (Al_2O_3) [1, 2]. При этом, в условиях повышенных градиентов эксплуатационных температур, достаточно характерных для условий открытого космоса, в ряде случаев возникает достаточно непростая задача исключения или, по меньшей мере, существенного снижения влияния различных коэффициентов теплового расширения на служебные свойства подшипниковых узлов.

В отдельных случаях одним из эффективных путей решения этой задачи может быть формирование композиционных покрытий с подложкой из МДО-покрытия (Al_2O_3), созданного анодно-катодной микродуговой обработкой. При этом должны быть комплексно решены следующие задачи:

- подобрана толщина МДО-покрытия, обеспечивающая требуемую нагрузочную способность при взаимодействии с телами качения, и подобран способ его поверхностного модифицирования, позволяющий снять внутренние остаточные напряжения, возникающие в зонах находящихся в этом покрытии включений и в переходной зоне между ним и основой;

- модифицирующий поверхность МДО-покрытия материал должен обладать высокой твердостью, способностью заполнять поверхностные поры и трещины этого покрытия, создавать остаточные напряжения сжатия и после механической суперфинишной обработки иметь шероховатость поверхности, не уступающую шероховатости дорожек качения обойм подшипника из стали ШХ15.

Одним из перспективных путей решения этой задачи можно отнести осаждение на нагретую до 420—430 °С поверхность МДО-покрытия паробразного карбида хрома (CrC), получаемого пиролизом хроморганической жидкости «Бархос».

Результаты и их обсуждение

Структура двухслойного покрытия $\text{CrC}-\text{Al}_2\text{O}_3$

показана на рис. 1.

Анализ результатов исследований приведенного на рис. 1 двухслойного покрытия, его триботехнических и прочностных свойств показал следующее:

- нагрев заготовки из алюминиевого сплава с предварительно сформированным на ее поверхности МДО-покрытием до 420—430 °С перед осаждением на него карбида хрома обеспечивает снятие в МДО-покрытии и на границе его соединения с основой остаточные напряжения, что даст возможность исключить самопроизвольное отслаивание сформированного композиционного покрытия;

- пары хроморганической жидкости при осаждении на поверхность МДО-покрытия проникают в его поры и трещины, причем вследствие различия в коэффициентах линейного расширения при охлаждении, они создают в поверхностном слое остаточные сжимающие напряжения, в совокупности обеспечивающие повышенные адгезионные и механические прочностные, в том числе усталостные [3], свойства покрытия и детали в целом;

- рационально подобранная толщина композиционного двухслойного покрытия $\text{CrC}-\text{Al}_2\text{O}_3$ и соотношения толщин его компонентов обеспечивает требуемые прочностные характеристики при его использовании в подшипниках качения;

- сформированная толщина слоя « CrC » (может достигать 50 мкм) и его морфология позволяют обеспечить суперфинишной механической обработкой шероховатость поверхности дорожки качения, не уступающую шероховатости дорожек качения обойм подшипника из стали ШХ15 и гарантирует соответствующие ей триботехнические свойства в режиме трения качения.



Рис. 1. Структура двухслойного покрытия

1. Композиционное покрытие на деталях из алюминиевых сплавов и способ его изготовления: пат. РБ № 10319 — № а 20050619. Афіц. Бюл./ Вынаходства. Карысныя мадэлі. Прамысл. узоры. Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь — 2007. / В.Л. Басинюк, В.А. Кукареко, А.В. Коломейченко, Е.И. Мардосевич, А.В. Титов
2. Композиционное покрытие и способ его изготовления: пат. 2175686 RU, МПК С 23 С 28/00. № 2000111046/02. Изобретения. — 2000, № 20, 112 / О.В. Берестнев, В.Л. Басинюк, М.В. Кирейцев, Г.В. Макаревич, А.П. Сысоев
3. Basiyuk V.L. and Mardosevich E.I. Frictional and Mechanical Characteristics of Oxide-Keramic Coatings // Journal of Friction and Wear. — 2003 (24), no. 5, 39—44

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПРИСАДОК РАЗЛИЧНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ

Е.Н. Волнянко, Т.Г. Чмыхова

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

Возрастающие требования к надежности промышленного оборудования, механизмов на транспорте и в быту обуславливают непрекращающийся поиск новых высокоэффективных смазочных материалов и технологических средств. Достижения нанотехнологий придали новый импульс развитию различных областей науки и техники, в том числе и трибоматериаловедению. Наиболее перспективным направлением при разработке смазочных материалов нового поколения стало использование в качестве присадок наноразмерных материалов.

Целью представленной работы является выявление наиболее эффективных наноприсадок различной химической природы, позволяющих улучшить антифрикционные и противозносные характеристики смазочных материалов. Были использованы жидкокристаллические, минеральные, полимерные и медьсодержащие наноматериалы. Для того чтобы исключить побочные трибозффекты, в качестве смазочной основы выбрали высокоочищенное вазелиновое масло. Присадки в смазочную основу вводили различными способами, определяемыми необходимостью дополнительного диспергирования или растворения, с использованием внешних энергетических воздействий (обработка ультразвуком, термическое воздействие, гомогенизация с помощью мешалок). Триботехнические испытания проводили на машине трения СМТ-1, где была реализована схема вал-частичный вкладыш. Оценивали триботехнические характеристики: коэффициент трения, износостойкость, несущую способность смазочного слоя, — параметры, отвечающие за антифрикционность [1]. Установлено, что введение наноприсадок позволяет снизить коэффициент трения более, чем в 2 раза при скорости скольжения 0,5 м/с и удельной нагрузке 1 МПа. Наилучшие антифрикционные характеристики показали смазочные материалы, содержащие жидкокристаллические материалы и присадки на основе минеральных материалов. Установлено, что при невысоких удельных нагрузках значения коэффициента трения хорошо коррелируют с износостойкостью узла трения. Однако, при увеличении нагрузки характер влияния присадок на износостойкость трибосопряжений меняется. Если рассматривать трибологические явления, имеющие ме-

сто в динамическом контакте, с точки зрения представлений о третьем теле, то естественно предположить, что наноприсадки различной химической природы по-разному способствуют реализации принципа положительного градиента механических свойств. При увеличении нагрузки смазочные материалы с жидкокристаллическими и медьсодержащими присадками формируют третье тело оптимальной структуры, обусловленной формированием так называемых нанокластеров [2]. Т.е. сдвиговые деформации локализуются в приповерхностном слое. Присадки способствуют его перерождению без нарушения сплошности поверхностного слоя трибосопряжений. В то время как минеральные присадки по-видимому не способны сформировать третье тело в виде прочных пленочных структур молекулярного уровня и исключить непосредственный контакт трущихся поверхностей. Таким образом, противозносные характеристики узлов трения не коррелируют с антифрикционными. При наиболее низком коэффициенте трения, характерном для смазочных материалов с минеральными присадками, несущая способность смазочного слоя оказалась на 50% ниже, чем у смазочных материалов, содержащих жидкокристаллические присадки.

Для оценки триботехнических характеристик, приближенных к эксплуатационным, проведены часовые испытания согласно стандартизированной методике на четырехшариковой машине трения. В качестве смазочной основы использовали промышленное масло. Минимальный показатель износа выявлен у смазочного материала, модифицированного жидкокристаллическими и медьсодержащими присадками. Эта закономерность сохраняется и при длительных испытаниях.

В работе рассматриваются области применения наноприсадок.

1. Шведков Е.Л., Ровинский Д.Я., Зозуля В.Д., Браун Э.Д. Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин — Киев: Наукова думка. — 1990
2. Косогорова Ю.П. Нанотрибозлектрохимические технологии при реализации эффекта безызносности в водно-спиртовых средах / Автореф. дисс. канд. техн. наук. — Ростов-на-Дону. — 2009

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИКОМПОНЕНТНЫХ ПОКРЫТИЙ, КОНДЕНСИРУЕМЫХ ИЗ ПАРОВ МЕТАЛЛОВ

И.Г. Горячева¹, Е.В. Торская¹, Ю.В. Корнев²,
И.Н. Ковалева³, Е.Э. Дмитриченко⁴, А.Я. Григорьев³

¹Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва, Россия

²Институт прикладной механики РАН, Москва, Россия.

³Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси. Гомель, Беларусь

⁴Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Гомель, Беларусь

Введение. Традиционным методом обеспечения заданной функциональности узлов трения прецизионной техники в экстремальных условиях является использование твёрдосмазочных покрытий на основе пластичных металлов. Основным недостатком подобных материалов является повышенный износ. Несколько уменьшить эту проблему можно используя сплавы металлов, например, Au–Co, Au–Cu, In–Al, Ag–Pb и некоторых других. Исследование механизмов трения таких сплавов, показали, что наклёп в них развивается существенно медленнее из-за эффектов торможения движения дислокаций и фронтов трещин, происходящих на границах материалов с различными параметрами кристаллической решётки [1—3].

Цель работы — определить упругие и триботехнические свойства бикомпонентных покрытий, конденсируемых из паров металлов In и Al.

Материалы и методы. В качестве базовых металлов, для получения бикомпонентных покрытий, использовали индий In(6%Sn) и алюминий Al. Покрытия наносили методами ионно-лучевого и магнетронного напыления, подробно методика рассмотрена в [4]. Обозначения покрытий: In1, Al1 — однослойные; In2 (In + Al), Al2 (Al + In) — двухслойные, первое наименование металла является нижним слоем к подложке, а второе — верхним; Al + In — бикомпонентное, соотношение частей металлов 12:8

Эксперимент по наноиндентированию образцов с исследуемыми покрытиями проводили с помощью измерительного комплекса NanoTest 600 (Micro Materials Ltd., Англия). В эксперименте применялся микромятник с разрешением по нагрузке $N = 60$ мкН, глубине индентирования $d = 0,04$ мкм, оснащенный коническим алмазным индентором с углом при вершине 60° и радиусом закругления $r = 10$ мкм. Расчёт модуля упругости покрытия проводился на основе решения контактной задачи для двухслойного упругого полупространства и гладкого индентора [5], в которых учитывается упругая деформация индентора (рис. 1). Эксперименты по определению коэффициента трения проводились в паре с керамическим шариком (материал шарика — Al_2O_3) $\varnothing 3$ мм с различной нагрузкой в диапазоне 5—2000 мН, путь трения 10 мм, скорость скольжения 1 мм/с (трибометр УМТ-3МТ, производства СЕТР).

Результаты исследований показали, что деформация однокомпонентных и бикомпонентных покрытий носит упругий характер, при этом покрытие из In и Al + In обладают одинаковым значением модуля упругости, что свидетельствует об образовании пространственных кластеров в структуре бикомпонентного покрытия. Двухслойные покрытия деформируются пластически, при таких же нагрузках, что и однослойные, что позволяет сделать вывод о наличии мягкого разупрочняющего промежуточного слоя на границе, между слоями.

Сравнительный анализ фрикционных свойств бикомпонентных и однокомпонентных покрытий (рис. 2), а также степени их износа после испытаний показал, что бикомпонентные покрытия обладают более стабильным и не зависящим от нагрузки коэффициентом трения, а также наиболее высокой среди однослойных покрытий степенью сцепления с подложкой. Из двухслойных покрытий более устойчивым к отслаиванию является покрытие Al2, но оно характеризуется высоким (свыше 0,6) значением коэффициента трения в большом диапазоне рассмотренных нагрузок

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов РФФИ (14-08-90026) и БРФФИ (Т14Р-093, Т15Лит-027).

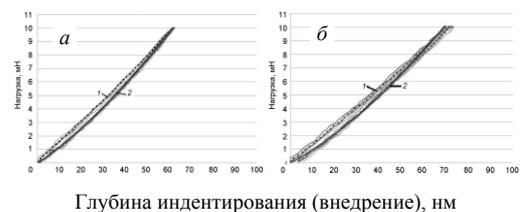


Рис. 1. Кривые нагрузка — внедрение для образцов бикомпонентного покрытия Al + In (а) и однокомпонентного покрытия из Al1 (б); кривые 1 — усреднённые результаты эксперимента; кривые 2 — расчётные

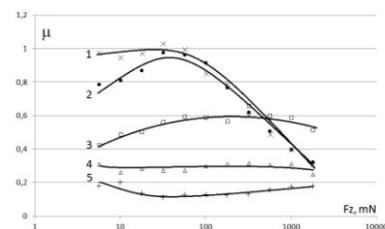


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения от нагрузки (усредненные результаты эксперимента): In1, Al2, In2, Al+In, Al1 (кривые 1—5 соответственно)

1. Лапина Л. Н., Попова Г. Е., Трубочева Г. А. Применение электролитических сплавов на основе золота в технологии изготовления изделий электронной техники // *Обзоры по электронной технике. ЦНИИ "Электроника"*. — 1982
2. Шугуров А. Р., Панин А. В., Шестериков Е. В. Исследование гальванических покрытий AuNi и AuCo методом склерометрии // *Письма в ЖТФ*. — 2011 (37), № 5, 64—71
3. Karlioglu R., Uysal M., Alp A., and Akbulut H. Reciprocating Wear Behavior of Ni-Co Alloys Produced by Pulse Current Electrodeposition // *Acta Physica Polonica A*. — 2013 (123), 424—426
4. Голосов Д. А., Завадский С. М., Сवादковский И. В., Мельников С. Н. Ионно-плазменная система для нанесения многослойных структур методом реактивного ионно-лучевого и магнетронного распыления // *Вакуумная техника и технология*. — 2010 (20), № 4, 227—234
5. Torskaya E. V. and Goryacheva I. G. The Effect of Interface Imperfection and External Loading on the Axisymmetric Contact with a Coated Solid // *Wear*. — 2003 (254), nos. 5—6, 538—54

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ РАПСОВОГО МАСЛА И ПЧЕЛИНОГО ВОСКА

А.Я. Григорьев¹, И.Н. Ковалева¹, Ю. Падгурскас², Р. Крейвайтис²

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь; aygri@tut.by

²Университет им. А. Стулгинскиса, Каунас, Литва

Введение

В узлах трения машин и механизмов пищевой промышленности предпочтительным является использование смазочных материалов на основе растительного сырья [1]. При малых нагрузках их характеристики могут быть соизмеримыми или даже лучшими чем у минеральных масел, но использование в составе таких смазок традиционных присадок невозможно. В этой связи поиск органолептически и биологически нейтральных модификаторов смазок на основе растительного масла является актуальной задачей.

Цель работы

Определение триботехнических характеристик смазочного материала на основе рапсового масла и пчелиного воска.

Материалы и методы

Смазочный материал готовился на основе рапсового рафинированного и дезодорированного пищевого масла (ГОСТ-Р 53457-2009), представляющего собой смесь олеиновой (50—60 об.%), линолевой (15—25 об.%), линоленовой (10—15 об.%) и ряд других жирных кислот с общим содержанием 5—10 об.%.

В качестве загустителя использовался экстракционный пчелиный воск (ГОСТ-Р 52098-2003). Для приготовления смазки воск растворялся в бензине (НЕФРАС, ГОСТ 8505-80) в соотношении 1:5 по весу. Раствор постепенно добавлялся в нагретое до 60—65 °С рапсовое масло до концентрации воска 10 мас.% при постоянном перемешивании до полного испарения растворителя. Структура полученной смазки представлена на рис. 1, а.

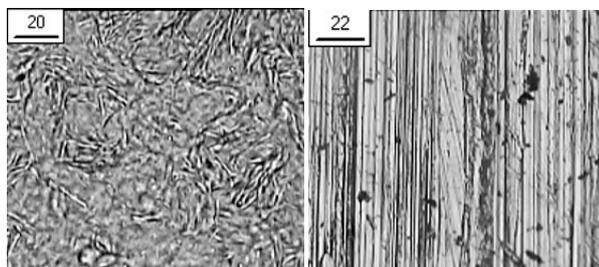


Рис. 1. Испытуемые материалы: а — структура смазочного материала; б — поверхность истираемой пластины из меди М1Е

В ходе триботехнических испытаний сравнивались коэффициенты трения и износ пар трения сталь (ШХ15) по бронзе (М1Е), истираемых в чистом рапсовом масле и его смеси с пчелиным воском. Испытания проводились на возвратно-поступательном трибометре МТУ-2К7 [2] по схеме сфера ($d = 4,7$ мм)/плоскость ($Ra 0,72$; рис. 1, б) при скорости 2,5 мм/с и длине хода 10 мм.

Результаты исследований

На рис. 2 представлены полученные экспериментальные данные.

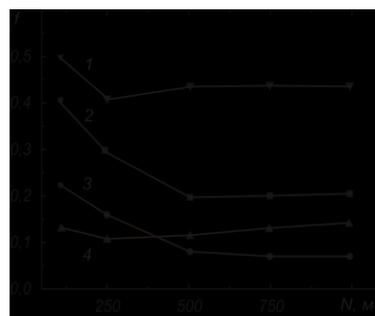


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения от нагрузки: 1 — трение без смазки; 2 — смазка индустриальным маслом И20А; 3 — смазка рапсовым маслом; 4 — смазка рапсовым маслом с пчелиным воском

Как можно видеть, и чистое и модифицированное воском рапсовое масло характеризуются существенно меньшими значениями коэффициентов трения по сравнению с контрольным экспериментом, проведенным при трении исследуемой пары как без смазочного материала, так и со смазкой индустриальным маслом И-20А.

Смазка с пчелиным воском показала несколько худшие результаты по сравнению с трением в среде чистого рапсового масла. С увеличением нагрузки коэффициент трения смазки с пчелиным воском неуклонно возрастает. Причиной такого поведения может являться способность воска при повышении температуры реагировать с солями жесткости воды и оксидами металлов [3]. Возможно, что образующиеся в результате соли жирных кислот, являясь достаточно эффективными ПАВ, снижают смазочную способность рапсового масла.

Заключение

Использование консистентного смазочного материала на основе рапсового масла и пчелиного воска эффективно лишь в легко нагруженных парах трения.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ, проект Т15Лит-027 и Литовской академии наук, проект LB-08/2015.

1. Крагельский И.В., Михин Н.М. Узлы трения машин. — М.: Машиностроение. — 1984
2. Григорьев А.Я., Гуцев Д.М., Зозуля А.П. и др. Возвратно-поступательный миллитрибометр МТУ-2К7 // Трение и износ. — 2014 (35), № 6, 664—669
3. Блинов К.Ф. Воск пчелиный // Ботанико-фармакогностический словарь: Справ. пособие / Под ред. К.Ф. Блиновой, Г.П. Яковлева. — М.: Высш. шк. — 1990

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КОМПЛЕКСНОЙ СУЛЬФОНАТ КАЛЬЦИЕВОЙ ПЛАСТИЧНОЙ СМАЗКИ С ДИСПЕРСНОЙ ФАЗОЙ НА ОСНОВЕ НАНОКАЛЬЦИТА

В.И. Жорник, А.В. Ивахник, В.П. Ивахник, М.А. Бухтилова

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь; zhornik@inmash.bas-net.by

Эффективным направлением повышения реологических и трибологических свойств сульфонат кальциевых пластичных смазок является формирование их дисперсной фазы на основе комплексных солей с образованием тиксотропных высокоструктурированных коллоидных дисперсий [1, 2].

Исследование процесса формирования структуры и свойств пластичной смазки при использовании химического принципа модифицирования наноконпонентами проводилось на примере комплексной сульфонат кальциевой смазки (kSulCa), получаемой на основе минерального масла с добавлением 12-гидрооксистеариновой, уксусной и борной кислот, гидроокиси кальция, а также высокощелочной присадки ССК-300. В процессе синтеза образуются наночастицы, которые являются зародышами кристаллизации дисперсной фазы пластичной смазки. Это позволяет целенаправленно управлять размерными параметрами и структурным состоянием синтезируемой дисперсной фазы.

При получении комплексных сульфонат кальциевых пластичных смазок сначала аморфные частицы карбоната кальция, содержащиеся в щелочной присадке, переходят в его неустойчивую кристаллическую модификацию (фатерит). Затем из частиц фатерита начинает формироваться дисперсная фаза смазки в виде другой (устойчивой) кристаллической модификации карбоната кальция (кальцита). В результате образуются нанокальцитные ядра, а затем от них начинают расти игольчатые кристаллы кальцита, покрытые высокомолекулярной оболочкой из сульфоната кальция и кальциевой соли 12-гидрооксистеариновой кислоты.

Структура единичного элемента дисперсной фазы kSulCa пластичной смазки представляет собой микромицеллу в виде нанокальцитного ядра (размером до 200 нм) и тонких игольчатых кристаллов кальцита толщиной порядка 100 нм и длиной 1–5 мкм. Единичные элементы дисперсной фазы скрепляются остатками фатерита и аморфноподобной модификации карбоната кальция в отдельные конгломераты микронных размеров. Эти конгломераты, имеющие макромицелярную структуру, в свою очередь, за счет сил различного межмолекулярного взаимодействия образуют в совокупности объемную дисперсную фазу смазки. В результате формируется структурированный подвижный каркас дисперсной фазы смазки в виде звездообразных мицелл, связанных между собой за счет межмолекулярного взаимодействия. Подобная структура обуславливает высокую адаптивность дисперсной фазы

пластичного смазочного материала к уровню его нагруженности в узле трения.

Уникальное строение дисперсной фазы kSulCa пластичной смазки обеспечивает существенно более высокий уровень ее механической стабильности (испытания по ГОСТ 19295–73) по сравнению с комплексными литиевой (kLi) и кальциевой (kCa) смазками (табл. 1).

Таблица 1. Механическая стабильность пластичных смазок

Количество циклов нагружения	Изменение пенетрации, ед.		
	kLi смазка с пакетом добавок	kCa смазка с пакетом добавок	kSulCa смазка
10 000	62	145	5
50 000	70	180	5
100 000	95	193	8

Испытания на четырехшариковой машине трения (ГОСТ 9490–75) показали, что kSulCa смазка, не содержащая специальных противозадирных добавок, обладает более высоким уровнем противозадирных и противозадирных свойств (нагрузка заедания — 2520 Н, нагрузка сваривания — 6200 Н) по сравнению с kLi и kCa смазками. Наряду с этим kSulCa смазка обладает высокими показателями по термостойкости (температура каплепадения — 320 °С), коллоидной стабильности (не более 1,5%), вымываемости.

Разработанная на основе проведенных исследований сульфонат кальциевая смазка OIMOL KSC WR 2 — водостойкая (ТУ ВУ 190410065.017-2014) характеризуется высокими противозадирными свойствами, водостойкостью, термической стойкостью, уникальной механической стабильностью, улучшенными антиокислительными и антикоррозионными качествами. Области применения смазки OIMOL KSC WR2: смазывание высоконагруженных подшипников качения и скольжения машин и оборудования, работающих при низких и средних скоростях в диапазоне температур от –30 до +200 °С (кратковременно до +230 °С); смазывание механизмов, работающих в условиях повышенной влажности (до 100%).

1. Жорник В.И., Ивахник А.В., Ивахник В.П. Влияние твердых наноразмерных добавок на структуру пластичной смазки и механизм изнашивания поверхности трения // Механика машин, механизмов и материалов. — 2010, № 3, 85–92
2. Плескачевский Ю.М., Маркова Л.В., Ивахник А.В. Структурные аспекты формирования дисперсной фазы пластичных смазок // Проблемы химмотологии. — Киев: Книжное изд-во НАНУ. — 2006, 280—282

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ 65Г ПРИ ТРЕНИИ С МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИМ ФРИКЦИОННЫМ МАТЕРИАЛОМ МК-5

А.Ф. Ильющенко, А.А. Дмитриевич¹, А.В. Лешок²

¹Институт порошковой металлургии, г. Минск

²Молодечненский завод порошковой металлургии, г. Молодечно, sdilav@tut.by

Фрикционы гидромеханических передач работают в сложных, напряженных условиях. В процессе включения они воспринимают статические и динамические нагрузки, поверхности трения фрикционов подвержены воздействию большой удельной тепловой энергии и давления (максимальное удельное давление для некоторых режимов работы может достигать 6 МПа (60 кгс/см²) [1, 2]. В момент работы гидромеханической коробки передач происходит переключение фрикционов сопровождающееся скольжением друг относительно друга фрикционных дисков. Данный процесс называется буксованием и определяется удельной работой с высвобождением энергии. Работа буксования возрастает с увеличением времени буксования, скоростей скольжения и давлений на поверхностях трения. С увеличением работы буксования возможно локальное повышение температур на отдельных участках, возникновение температурных всплесков, локальных участков схватывания и переноса фрикционного материала.

Для наиболее распространенного фрикционного материала на основе меди МК-5 (олово — 9%; свинец — 9%; железо — 4%; графит — 7%; медь — основа) эксплуатируемого в условиях смазки лежит в пределах 200—300 °С [3] при скорости скольжения 10±1 м/с и удельном давлении 4±0,2 МПа. Основой фрикционного материала является оловянистая бронза, которая обладает хорошей прирабатываемостью, высокой теплопроводностью, позволяя использовать ее при высоких скоростях скольжения [4].

Используемая в качестве материала диска стального сталь 65Г относится к классу рессорно-пружинных сталей, а по структурному классу — перлитная. Она отличается повышенным пределом выносливости, упругости, релаксационной стойкости при достаточной пластичности и вязкости. Стойкость к схватыванию закаленных сталей значительно выше, чем нормализованных и отожженных.

Анализируя поверхности дисков стальных имеющих следы перенесенного металлокерамического материала были определены четыре области: 1 — область зуба; 2 — область по наружному диаметру; 3 — центральная область; 4 — область по внутреннему диаметру.

Таким образом, результаты проведенных ис-

следований подтвердили, что перенос фрикционного материала на основе бронзы МК-5 начинается в случае нарушения условий эксплуатации, при отсутствии слоя смазки, превышении удельного давления, локального разогрева участков. Разогрев локальных участков приводит к размягчению бронзы, возможному ее пластическому деформированию и переносу на сопряженную поверхность.

Области 2 и 4 имеют визуальное сходство, явно выраженную шлифованную поверхность с металлическим блеском, без визуально заметных следов переноса фрикционного материала. На поверхностях присутствует явно выраженные следы трения в радиальном направлении высотой 0,8—1,2 мкм. Исследование морфологии поверхности показало наличие локальных участков с микросхватыванием и переносом металлокерамического фрикционного материала МК-5 размером до 10 мкм. Наличие цветов побежалости в области 3 свидетельствуют о возможном температурном перегреве при отсутствии достаточного количества смазки. В данной области установлено максимальное количество мест сваривания. Область 3 характеризуется наличием следов переноса фрикционного материала, равномерно расположенного на поверхности. Размер участков переноса до 10 мкм вытянутых в направлении трения. Содержание меди доходит до 27%, а содержание олова до 2,8%.

Следует отметить, что были выделены три области под местом переноса фрикционного материала с различной твердостью (64—66 МПа под пятном, 40—48 МПа на периферии пятна и 31—34 МПа в основном материале).

1. Сыроежко Г. С., Лешок А. В., Звонарёв Е. В. Технологии производства металлокерамических фрикционных дисков // Порошковая металлургия: Республиканский межведомственный сборник научных трудов. — Минск: Тонпик. — 2002, № 25, 54—56
2. Шаповалова О.А., Лешок А.В. Анализ отказов фрикционов ГМП и пути их снижения // Механика машин, механизмов и материалов. — 2011, № 3(16), 67—73
3. Тарасик В.П. Фрикционные муфты автомобильных гидромеханических передач. — Минск: Наука и техника. — 1973
4. Баранов Н.Г. Антифрикционные порошковые материалы для высокоскоростных узлов трения // Порошковая металлургия. — 1988, № 3, 29—38

Трибологические свойства полисахаридных покрытий

А.Н. Красковский, В.И. Куликовская, А.Е. Соломянский

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

Перспективной областью применения пленок на основе биополимеров является ортопедия и имплантология [1]. Модификация поверхности имплантатов и эндопротезов мультислойми природных полисахаридов позволит получить биосовместимые ортопедические материалы с антифрикционными и биоцидными свойствами [1].

Цель данной работы — изучить трибологические свойства полисахаридных мультислойных покрытий, сформированных методом послойного осаждения.

Полиэлектролитные пленки на основе полисахаридов (хитозан/пектин)_n, (хитозан/декстран)_n, (хитозан/λ-каррагинан)_n, (хитозан/альгинат)_n (n — число бислоев, n = 9, 5; 10) формировали чередующейся адсорбцией полиэлектролитов из их водных растворов с концентрацией 1,0—2,0 мг/мл на поверхности гидрофильного кремния [2]. Полученные пленки высушивали на воздухе в течение 24 ч.

Трибологические свойства пленок исследовали на трибометре возвратно-поступательного типа (ИММС НАН Беларуси). В качестве индентора использовали стальной шарик диаметром 3 мм. Условия тестирования: приложенная нагрузка 300 мН, линейная скорость 4 мм/с, длина хода (трека) 3 мм. Разрушение оксидного слоя кремниевой подложки наблюдается в диапазоне коэффициентов трения (μ) скольжения стали по кремнию от 0,2 до 0,4 [3]. При μ ~ 0,4 триботехнические испытания образцов прекращали. Морфологию поверхности пленок изучали методом атомно-силовой микроскопии (АСМ).

Установлено, что минимальные коэффициенты трения характерны для мультислоев, в состав которых входит альгинат: μ = 0,05 и 0,06 для покрытий (хитозан/альгинат)₉/хитозан и (хитозан/альгинат)₁₀, соответственно (табл. 1). Данные покрытия являются однородными, бездефектными (рис. 1, а), показатель шероховатости поверхности (*Rms*) составляет 0,5 нм [2].

Максимальный коэффициент трения (μ = 0,37) имеет пленка (хитозан/λ-каррагинан)₁₀, для которой характерна «зернистая» структура поверхности (рис. 1, б) и значение *Rms* составляет 35 нм [2].

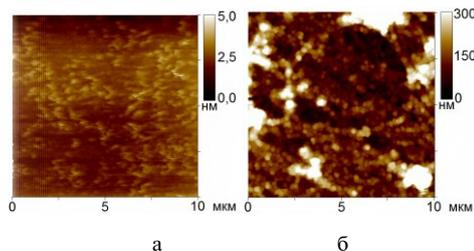


Рис. 1. АСМ-изображения поверхности пленок: а — (хитозан/альгинат)₁₀; б — (хитозан/λ-каррагинан)₁₀

Среди изученных полисахаридных мультислоев наибольшей износоустойчивостью в процессе трения обладает эластичное (модуль Юнга = 494 МПа) покрытие (хитозан/альгинат)₉/хитозан [2], которое удаляется из зоны контакта поверхностей после 3000 циклов скольжения (рис. 2).

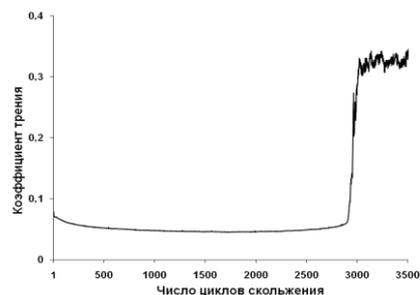


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения от числа циклов скольжения для пленки (хитозан/альгинат)₉/хитозан

Таким образом, изучены трибологические свойства полисахаридных мультислойных пленок, которые могут быть перспективны в качестве защитных покрытий в узлах трения имплантатов.

Таблица 1. Коэффициенты трения мультислойных полисахаридных пленок

Пленка	μ
(хитозан/пектин) ₉ /хитозан	0,26
(хитозан/пектин) ₁₀	0,27
(хитозан/декстран) ₉ /хитозан	0,26
(хитозан/декстран) ₁₀	0,18
(хитозан/λ-каррагинан) ₉ /хитозан	0,12
(хитозан/λ-каррагинан) ₁₀	0,37
(хитозан/альгинат) ₉ /хитозан	0,05
(хитозан/альгинат) ₁₀	0,06

1. Tryoen-Toth P., Vautier D., Haikel Y., Voegel J., Schaaf P., Chluba J., and Ogier J. Viability, Adhesion, and Bone Phenotype of Osteoblast-Like Cells on Polyelectrolyte Multilayer Films // *Biomed. Mater. Res.* — 2002 (60), 657—667
2. Красковский А.Н., Гилевская К.С., Скопцов Е.А., Грачева Е.А., Куликовская В.И., Агабеков В.Е. Морфология и упругие свойства полисахаридных пленок // Сборник докладов XI Международной конференции «Методологические аспекты сканирующей зондовой микроскопии-2014», 21—24 октября 2014, Минск, Беларусь. — 2014, 101—107
3. Комков О. Ю. Микротрибометр возвратно-поступательного типа, работающий в области малых нагрузок: конструктивные особенности и методика испытания образцов // *Трение и износ.* — 2003 (24), № 6, 642—648

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ТРЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ГРАНИЧНОЙ СМАЗКЕ

А.В. Купреев, М.С. Ануфриенко, С.М. Мартыненко

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

Полимерные материалы и композиты на их основе антифрикционного назначения широко применяются в узлах трения машин и механизмов работающих в условиях смазки. В подавляющем большинстве узлов при этом реализуется граничный вид трения, а основными факторами определяющими выбор материала являются скорость, нагрузка и температура эксплуатации. Также немаловажное значение имеет используемый при трении смазочный материал (СМ).

Трение при граничной смазке представляет собой такой вид контактного взаимодействия, при котором трущиеся тела разделяются граничными слоями толщиной 0,01...0,1 мкм [1], образующимися в результате физической адсорбции или химической реакции СМ с материалом трущихся тел. При таких условиях природа сил трения зависит от состояния и свойств взаимодействующих тел: шероховатости поверхностей трения; наличие пластических или упругих деформаций, а также от режима нагружения пары трения [2].

Целью данной работы являлось установление закономерностей трения и изнашивания полимерных материалов антифрикционного назначения в условиях граничного трения при воздействии эксплуатационных факторов.

В качестве объекта для проведения исследований был использован полиамид-6 (ПА-6) марки 210/310 (ТУ РБ 50048054.009-2001). При проведении испытаний использовались масло промышленное И-20А (ГОСТ 20799-88) и масло моторное М-10Г2 (ГОСТ 8581-78).

Триботехнические испытания проводились на машине трения 2070 СМТ-1 по схеме «вал — частичный вкладыш» при скоростях до 3 м/с и нагрузках до 2000 Н. В качестве контртела были использованы ролики из стали 45 (ГОСТ 1050-88) твердостью HRC_c 32...36 и шероховатостью поверхности R_a = 0,32 мкм. Коэффициент взаимного перекрытия пары трения составлял 0,125. Контроль температуры трения образца полимерного материала осуществляли хромель-копелевыми термомпарами на расстоянии 1мм от поверхности трения. Условия граничного трения моделировались путем введения в зону контакта дозированного количества СМ.

Для пары трения сталь 45 — ПА-6 получены экспериментальные зависимости влияния нагрузки на коэффициент трения (f) в условиях граничного трения. Установлено, что при малых нагрузках значение f определяет в основном фактическая площадь контакта (ФПК) и сопротивление граничного слоя

сдвигу. С увеличением нагрузки (10...400 Н) наблюдается снижение f , что связано с уменьшением увеличения ФПК и сопротивления граничного слоя сдвигу в сравнении с ростом нагрузки. В интервале нагрузок 400...1600 Н значения f стабилизируются, что обусловлено увеличением сил взаимодействия поверхностей трения по мере их сближения под нагрузкой, а также ростом деформационной составляющей силы трения, компенсируя недостаточный рост ФПК и сопротивления граничного слоя сдвигу. При нагрузках более 1600 Н наблюдается рост f связанный с доминированием деформационной составляющей силы трения, разрушением граничных слоев на отдельных пятнах фактического контакта и ростом на них температуры вызывающей в дальнейшем полное разрушение граничного слоя.

Проведены экспериментальные исследования влияния скорости скольжения на f для пары сталь 45 — ПА-6 при условии соблюдения граничного режима трения. Определены предельные значения скоростей при нагрузках 50...1000 Н, при которых в присутствии СМ на контактных поверхностях стабильно обеспечивается граничное трение. Установлено, что при скоростях скольжения более 1,5 м/с определяющим фактором роста f является увеличение температуры в зоне трения, что приводит к разориентации молекул СМ на отдельных участках контакта и разрушению граничных слоев.

Отмечено, что нагрузочная способность пары трения сталь 45 — ПА-6 существенно зависит от функциональных свойств СМ. Показано, что изменение вязкости СМ, увеличение содержания механических примесей и воды приводят к снижению предельной нагрузки и линейной скорости скольжения, при которых сохраняется режим граничного трения.

Таким образом, определены диапазоны нагрузок и скоростей, при которых соблюдаются условия граничного трения для пары сталь 45 — ПА-6. Показано, что основной причиной нарушения граничного режима трения, сопровождающегося резким ростом коэффициента трения, является увеличение температуры в зоне трения вызывающее разрушение граничных слоев адсорбированных пленок СМ на поверхности трущихся тел.

1. Ахматов, А.С. Молекулярная физика граничного трения / А.С. Ахматов. — М.: Физматгиз, 1963. — 472 с.
2. Богданович П.Н., Прушак В.Я., Богданович С.П. Трение, смазка и износ в машинах. — Мн.: Технология. — 2011

МЕХАНИЗМЫ ИЗНАШИВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ШЛИФОВАНИИ СТЕКЛА

В.Я. Лебедев

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

Алмазные инструменты обладают широкими технологическими возможностями при обработке твердых и высокопрочных материалов ввиду уникальных физико-механических и химических свойств алмаза. При резании каждое зерно в инструменте подвергается интенсивному воздействию упругих и пластических деформаций, сопровождаемых высокой температурой в зоне контакта. Совокупное воздействие всех факторов обуславливает особенности изнашивания алмазных зерен, связки и потерю функциональных свойств инструмента в целом.

Выполнены исследования процессов обработки художественного стекла алмазными кругами формы 1EE1. Ввиду остроконечной формы режущей части круги работают в экстремальных и высоконагруженных условиях. Зернистость алмазных порошков 100/80, концентрация 35 и 50%. Связкой кругов служили композиционные материалы систем «Cu — 20 мас.% Sn — наполнитель — пластификатор». В качестве наполнителя применялись карбиды кремния и бора. Технологический процесс изготовления компонентов шихты связки включал приготовление раствора тетрабората натрия и на его основе композиционных гранул из карбида кремния или карбида бора. Раствор тетрабората натрия может использоваться как в качестве самостоятельного компонента шихты, так и в роли реагента для получения композиционных гранул.

Исследования показали, что применение шихты медь — олово — композиционные гранулы — пластификатор при прочих равных условиях повышает твердость композиционных материалов на 10—15 HRB, что обусловлено как повышением степени наполнения композиционного материала, так и смачиванием пластификатором поверхности композиционных частиц и повышением прочности гранул SiC-матрица, B₄C-матрица (рис. 1, температура спекания а — 975 К, б — 1025 К).

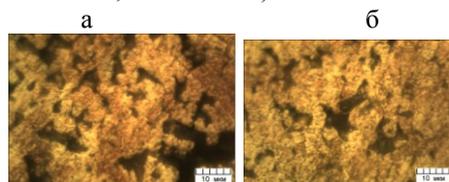


Рис. 1. Микроструктура композиционных материалов Cu — 20Sn — 4 мас.% SiC — 5 мас.% стекло

Применение пластификаторов на основе тетрабората натрия при двухстадийном горячем прессовании позволило получить композиционные материалы твердостью 75—85 HRB при температурах 975—1025 К и давлении 30—40 МПа.

При шлифовании стекла изнашивание алмазных

зерен происходит по механизмам хрупкого разрушения и скалывания вершин в момент контакта с обрабатываемым материалом и адгезионно — абразивного при образовании площадки износа. Изучены особенности потери функциональных свойств алмазных зерен в различных связках. Показано, что при традиционной связке M2-01 процесс от резания быстро переходит в деформационное взаимодействие при износе 20—30% зерен в рабочем сечении круга. При обработке стекла такое взаимодействие поддерживает процесс диспергирования поверхностного слоя за счет возрастания под алмазными зернами области напряжения сжатия и роста локальных температур в контактной зоне. Однако размягчение связки вызывает ее быстрое абразивное изнашивание и вырыв алмазных зерен не только с заметным износом, но и островершинных. Для связки M2-01 характерны риски абразивного износа в сочетании с кавернами от вырванных зерен и треков от проскальзывания алмазных зерен (рис. 2, а). Отмечается оплавление взаимодействующих материалов (круглые шарики на рис. 2, б).

Для опытной связки характерно хрупкое разрушение обрабатываемого стекла с одновременной пластической деформацией под воздействием острых вершин зерен. Характерным является сочетание абразивного царапания матричного материала связки и растворение стеклянных мостиков с обнажением новых зерен алмаза и карбида кремния (рис. 2, в). Исследование морфологии частиц удаленного обрабатываемого стекла показало наличие на них плоскостей скалывания (рис. 2, г).

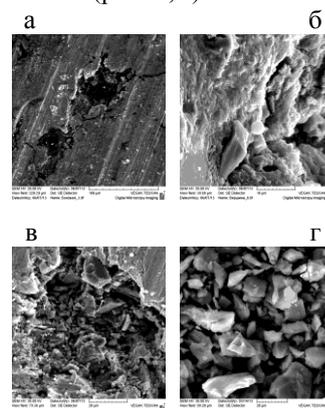


Рис. 2. Износ алмазного инструмента и продукты износа стекла

Показано, что введение наполнителей в связку улучшает процесс самозатачивания инструмента, снижает усилие шлифования, обеспечивает формирование обработанных поверхностей с равновесной морфологией.

ВЛИЯНИЕ АРМИРОВАНИЯ УГЛЕРОДНЫМИ ВОЛОКНАМИ ПОЛИМЕРКЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ НА ИХ ИЗНАШИВАНИЕ ПРИ ТРЕНИИ В ЖИДКОСТИ

А.С. Михневич¹, С.В. Сосновский², В.П. Селькин¹, А.В. Макаренко³

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

²ОАО «Гомельтранснефть Дружба», Гомель, Беларусь

³Мозырский государственный педагогический университет им. И.П. Шамякина, Мозырь, Беларусь;
selkin_v@mail.ru

Цель. Оценка перспектив использования армированных непрерывными углеродными волокнами полимеркерамических композитов на основе эпоксидных смол для создания износостойких покрытий контактных поверхностей запорной арматуры магистральных нефте- и водопроводов.

Материалы и методы. Объектом исследования являлся широко используемый в мире для защиты различного оборудования трубопроводов, перекачивающих жидкости, и отличающийся высокой износостойкостью и низким коэффициентом трения полимеркерамический состав Loctite 7227 Nordbak Brushable Ceramic (эпоксидная смола с наполнителем — карбидом кремния) производства Henkel AG & Co. Для его дополнительного армирования использовали углеродную ткань «Урал» марки Т-Р (ОАО «СветлогорскХимволокно»), которую пропитывали составом при избыточном давлении. Коэффициент трения по стали оценивали на микротрибометре возвратно-поступательного типа MTU-2K7 (индентор из стали ШХ-15 диаметром 4,8 мм) при нагрузке 1,0 Н и скорости скольжения 10 мм/с [1]. Интенсивность изнашивания покрытий на основе дополнительно армированного и неармированного состава при нагрузках, соответствующих условиям работы узлов трения запорной арматуры магистральных трубопроводов, оценивали на машине трения 2070 СМТ-1. Схема трения — вал (образец с испытываемым покрытием) — частичный вкладыш (контртело — сталь 40Х13)». Скорость скольжения — 0,25 м/с, Давление, рассчитанное на контурную площадь касания — 2,5 и 5,0 МПа. Путь трения — 1800 м, что соответствует 1000 циклам «открыто — закрыто» работы шиберной задвижки с диаметром прохода 800 мм. Поскольку в парах трения затворов задвижек магистральных трубопроводов не происходит существенного разогрева трущихся тел, испытания проводили в проточной воде, поддерживая ее температуру в зоне контакта в диапазоне 35—40 °С.

Результаты и их обсуждение. Испытания на машине возвратно-поступательного типа показали, что армирование состава Loctite 7227 углеродной тканью не приводит к заметному изменению его коэффициента трения по стали (~0,3). В то же время отмечено уменьшение ширины дорожки трения примерно на 20% (см. рис. 1), что свидетельствует о повышении износостойкости материала. Величина изнашивания покрытий, на основе армированного и неармированного полимеркерамического состава,

после 2-х часов испытаний на машине 2070 СМТ-1 представлена в таблице.

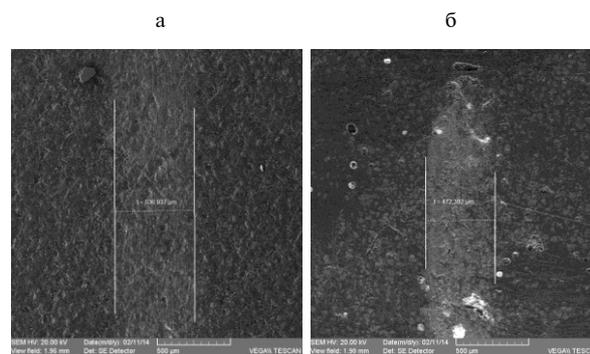


Рис. Дорожка трения на поверхности покрытий на основе состава Loctite 7227 (а) и состава Loctite 7227 армированного углеродной тканью (б)

Таблица. Линейный износ покрытий на основе армированного и неармированного состава Loctite 7227 при давлении 2,5 МПа и 5,0 МПа

Образец	Линейный износ покрытия, мкм		Линейный износ контртела, мкм	
	2,5 МПа	5,0 МПа	2,5 МПа	5,0 МПа
Состав Loctite 7227	47	103	78	125
Состав Loctite 7227 армированный углеродной тканью	9,8	21	9,6	16

Таким образом, показано, что дополнительное армирование углеродной тканью даже такого достаточно износостойкого композиционного материала как Loctite 7227 Nordbak Brushable Ceramic может приводить к существенному снижению интенсивности его изнашивания при трении по стали в жидкости. Особенно важно отметить, что армирование приводит к уменьшению (почти на порядок) абразивного воздействия содержащегося в композите керамического наполнителя на контактирующие с покрытием на его основе поверхности. Последнее обстоятельство устраняет главный фактор ограничивающий использование подобных материалов в качестве антифрикционных покрытий на рабочих поверхностях запорной арматуры магистральных нефте- и водопроводов.

1. Григорьев А.Я., Гуцев Д.М., Зозуля А.П. и др. Возвратно-поступательный миллитрибометр MTU-2K7 // Трение и износ. — 2014 (34), № 6, 664—669

ПОВЫШЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ И ШЕРОХОВАТОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИТУМНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Д.И. Бочкарев, В.В. Петрусевич

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

Надежность автомобильной дороги как транспортно-сооружения — это ее способность обеспечивать среднегодовую техническую скорость транспортного потока, близкую к оптимальной в течении всего жизненного цикла дороги, а также ее инженерных сооружений.

На начальном этапе эксплуатации дороги основным разрушающим фактором является воздействие воды. Проникая в поры материала, в том числе и в пустоты молекулярной решетки битума, вода отслаивает адсорбированные пленки вяжущего от поверхности каменного материала, происходит гидратация объемного битума и разрушение полярных связей в структуре асфальтобетона. Такие деструктивные процессы, а также воздействие колес транспортных средств, обуславливает начало шелушения и выноса из поверхностного слоя асфальтобетона мелких частиц материала, что приводит к значительной интенсификации разрушения покрытия. Такие процессы протекают тем интенсивнее, чем ниже водостойкость при длительном водонасыщении асфальтобетона, выше пористость, а также больше интенсивность движения транспорта и увлажнение поверхности покрытия [1].

В настоящее время асфальтобетонные покрытия практически не имеют альтернативы при устройстве дорожных одежд нежесткого типа. Срок службы горячего асфальтобетона, применяемого для устройства покрытий на автомобильных дорогах в условиях современного автомобильного движения должен составлять 12—15 лет. Однако опыт проведения ремонтных работ на автодорогах свидетельствует, что при нормативном сроке (15 лет) эксплуатации реабилитированной автодороги, трещины и другие дефекты на поверхности асфальтобетонного покрытия, в силу тех или иных причин возникают уже на протяжении первого-второго года эксплуатации.

Таким образом для обеспечения в Республике Беларусь максимального срока службы асфальтобетонного покрытия необходимо учитывать в подборе состава асфальтобетона два основных фактора. Первый из них — летняя эксплуатация, когда материал, нагреваясь свыше 50 °С теряет свои прочностные свойства, что приводит к образованию колеиности. Вторым фактором — эксплуатация в зимний период, характеризующийся тем, что под действием чередующихся циклов замораживания — оттаивания происходит трещинообразование и разрушение асфальтобетона.

Для эффективной защиты дорожных покрытий от влияния разрушающих факторов внешней среды необходима разработка принципиально новых технологий.

Одним из вариантов которых является химическая обработка покрытий битумно-полимерными композициями, которые обладают следующими физико-механическими свойствами приведенными в табл. 1.

Таблица 1. Требуемые физико-механические свойства битумно-полимерных композиций

Наименование показателей	Требуемый результат
Водопроницаемость, %	0
Стойкость к действию агрессивных сред, %	90—95
Температура размягчения, °С	10
Температура хрупкости, °С	-50
Коэффициент сцепления	0,80—0,85
Проникновение в покрытие, см	до 5

На сегодняшний день протяженность существующих автодорог в Республике Беларусь — более 85,7 тыс. км, из них более 15,5 тыс. км — республиканские и 70,2 тыс. км — местные автодороги. Для эффективной защиты их покрытий от влияния разрушающих факторов внешней среды необходима разработка принципиально новых технологий. Одним из вариантов которых является химическая обработка покрытий реагентами на основе различных композиций. При нанесении на покрытие данные составы проникают в объем материала, заполняя микротрещины и дефекты покрытия, что может приводить к снижению водоотталкивания, а также повышению коэффициента сцепления с колесами транспортных средств. Такие материалы должны увеличивать долговечность покрытий с одновременным улучшением транспортно-эксплуатационных показателей.

1. Чистяков Е.Г. Разработка методов повышения эксплуатационно-прочностных характеристик автомобильных дорог с учетом циклического воздействия нагрузок: автореф. диссерт. техн. наук : 05.23.11. — Волгоград. — 2010
2. Шаповалов В.М., Бочкарев Д.И., Купчинов Б.И. Влияние полимерных модифицирующих добавок на физико-механические свойства дорожных асфальтобетонов // *Материалы. Технологии. Инструменты.* — 2006 (11), № 1, 68—73
3. Леонович И.И., Мельникова И.С. Погодно-климатические условия и их учет при выборе технологии и организации дорожных работ // *Труды БГУТ.* — 2011, № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть

НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ АЭРОЗОЛЬНЫЕ ПОРОШКИ ИЗ КЕРАМИКИ — НОВЫЙ ЭФФЕКТИВНЫЙ НАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА (ПТФЭ)

Л.В. Виноградов¹, В.И. Антипов¹, Ф.Г. Колмаков¹,
Э.М. Лазарев¹, Е.Е. Баранов¹, В.А. Смуругов², В.В. Бирани²

¹Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия

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

Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) достаточно широко применяются в узлах трения различного машинного оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств. При изготовлении полимерных композитов используют разнообразные порошкообразные наполнители, способствующие повышению антифрикционных свойств материалов (из графита, дисульфида молибдена, нитрида бора, диселенидов металлов и др.), а также наполнители, повышающие физико-механические свойства композита (молотый кокс, стеклянные, полимерные и углеродные волокна, порошки различных металлов). Большие перспективы открываются перед композитами, где в качестве наполнителя применяют наноразмерные частицы [1]. Так использование ультрадисперсных частиц в композитах на основе полиэтеркетона позволяет в 2 раза снизить коэффициент трения и интенсивность изнашивания материала [2]. В настоящее время в качестве наполнителей для композиционных материалов успешно используются ультрадисперсные алмазные порошки [3—4].

Наряду с указанными типами наполнителей определённые перспективы имеются у нового вида субмикронных наноструктурированных сферических порошков, синтезированных методом ультразвукового распылительного пиролиза [5]. Указанный метод позволяет получать субмикронные порошки (аэрозольные порошки) с уникальными свойствами. Частицы в них имеют почти идеальную сферическую форму и узкий разброс по размерам (рис. 1, 2). При определённых режимах процесса пиролиза метод позволяет синтезировать аэрозольные частицы с внутренней нанофрагментарной поликристаллической структурой. Разветвлённая сеть межнанофрагментарных границ обеспечивает повышенную активность аэрозольных порошков, сопоставимую с активностью УДП, но, при этом в порошках не образуются многочастичные трудно разрушимые агломераты.

В докладе дано описание конструкции лабораторной установки ультразвукового распылительного пиролиза, а также приведены результаты исследования свойств полученных этим методом субмикронных наноструктурированных аэрозольных порошков

из оксидной керамики.

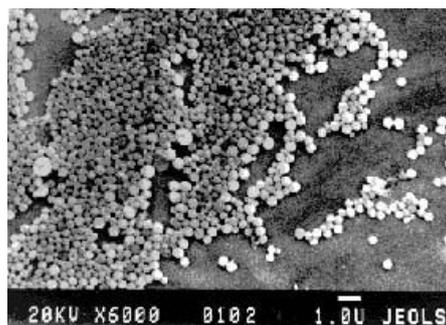


Рис. 1. Микрофотография аэрозольных порошков тетрагонального оксида циркония

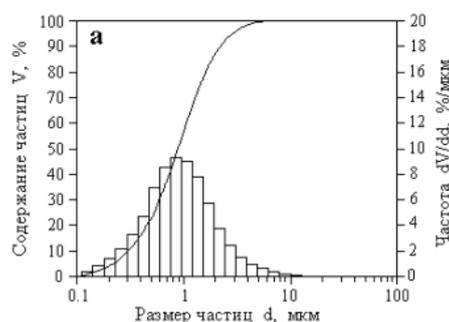


Рис. 2. Распределение по размерам частиц аэрозольных порошков тетрагонального оксида циркония

1. Burya A.J. and Arlamova N.T. Friction and Wear of Fenilon Filled by Ultra-Dispersed Oxynitride Silicon-Yttrium // Applied Mechanics and Engineering. — 1999 (4), special issue NCBS-99, —115—120
2. Wang Q., Xue Q., Shen W., and Liu W. Tribochemistry of poly-erketone composites filled with various kinds of SiC / Proc. of 1st Asia Int. Conf. on Tribology. October 12-15, 1998. Beijing, China. — 1998 (1), 234—235
3. Охлопкова А.А. Свойства политетрафторэтилена, модифицированного ультрадисперсными алмазами // Материалы, технологии, инструменты. — 1999, № 3, 60—63
4. Маневич А.М., Овчинников Е.В., Бойко Ю.С., Струк В.А. Триботехнические характеристики политетрафторэтилена, модифицированного кластерами синтетического углерода // Трение и износ. — 1998 (19), № 3, 366—369
5. Галахов А.В., Виноградов Л.В., Антипов В.И., Колмаков А.Г. Наноструктурированные порошки для керамики // Российские нанотехнологии. — 2011 (6), № 9—10, 131—135

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ГРАНИЧНОЙ СМАЗОЧНОЙ ПЛЕНКИ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ

С.В. Воронин

Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, Украина;
voronin.sergey@inbox.ru

Введение

В последние десятилетия активно ведутся работы в области создания присадок нового поколения к смазочным материалам. В этих работах особая роль отводится веществам, способным формировать в растворе базового масла надмолекулярные агрегаты жидкокристаллического строения. Из таких агрегатов, в последующем, на поверхностях трения формируется граничная пленка, обладающая основными свойствами жидких кристаллов [1, 2], а именно, анизотропией и высокой чувствительностью к внешним электрическим и магнитным полям. Учитывая перечисленные свойства, а также строение жидких кристаллов, особенно смектического типа, граничная пленка будет обладать низким коэффициентом трения и высокой несущей способностью [3]. При использовании жидких кристаллов в качестве присадок к маслам актуальной задачей является изучение трибологических свойств их граничных пленок в различных условиях контакта.

Цель

Изучение электрических свойств граничной пленки жидкокристаллического строения, получение закономерностей изменения несущей способности такой граничной пленки от температуры.

Материалы и методы

В исследованиях использовалось масло И-20А ГОСТ 20799–88 с добавлением двух типов присадок: стеариновая кислота ГОСТ 6484–96 в концентрации 0,3% по объему; трехкомпонентная присадка на основе карбамида А ГОСТ 2081–92, стеариновой кислоты ГОСТ 6484–96 и олеиновой кислоты Б14 ГОСТ 7580–91 в концентрации 0,2% по объему.

В качестве тел контакта выбраны шарики из стали ШХ15 диаметром 24 мм 10-го класса точности по ГОСТ 3722–81. Шарики устанавливались в диэлектрических пластинах шарнирно соединенных между собой, что позволило реализовать нормальную нагрузку в контакте. Оба шарика погружались в термостатированную емкость с маслом. При помощи вольтметра В7-21А производились измерения электрического сопротивления смазанного контакта в зависимости от нормальной нагрузки (рис. 1). На этом же рисунке приведена методика определения несущей способности смазочной пленки, которая равна нагрузке, приводящей к снижению сопротивления до уровня металлического контакта. На основе исследо-

ваний электрических свойств, в последующем, были получены закономерности изменения несущей способности от температуры (рис. 2).

Результаты и их обсуждение

При температурах ниже температуры плавления наблюдается скачок сопротивления (рис. 1, кривая 1), который указывает на наличие фазового перехода в граничной пленке. При температурах выше температуры плавления такой скачок отсутствует, а сопротивление снижается монотонно (рис. 1, кривая 2).

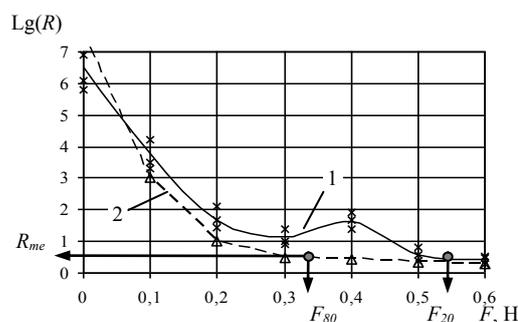


Рис. 1. Изменение сопротивления в контакте (стеариновая кислота): 1 — $T = 20^\circ\text{C}$; 2 — $T = 80^\circ\text{C}$

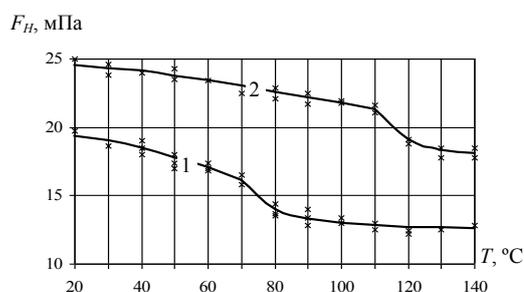


Рис. 2. Изменение несущей способности пленки: 1 — стеариновая кислота; 2 — трехкомпонентная присадка

При достижении температуры плавления граничной пленки кристаллического строения наблюдается изменение закономерности снижения ее несущей способности от температуры «рис. 2».

1. Лысыков Е. Н., Косолапов В. Б., Воронин С. В. Надмолекулярные структуры жидких смазочных сред и их влияние на износ технических систем. — Харьков: ЭДЭНА. — 2009
2. Ермаков С. Ф. Трибология жидкокристаллических наноматериалов и систем. — Минск: Беларусь. Навука. — 2011
3. Лысыков Е. Н., Воронин С. В. Влияние наноструктур присадки на трение и износ в технических системах // Фундаментальные и прикладные проблемы науки. Том 1. — Материалы VIII Междунар. симп. — М.: РАН. — 2013, 143–151

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СТАЛЬНЫХ ПЛИТ ДЛЯ ДРОБИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

И.Н. Ердаков¹, В.М. Ткачёв², В.В. Новокрещенов¹, П.В. Феколин¹

¹Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

²Челябинский электрометаллургический комбинат, Челябинск, Россия; wissenschaftler@bk.ru

Введение

В случае изготовления деталей, работающих при одновременном действии истирающей и ударной нагрузки, используется легированная марганцем сталь марки 110Г13Л. Высокая температура заливки этой стали недопустима, так как это приводит к интенсивному протеканию окислительных процессов. Образующиеся оксиды марганца при контакте с материалом стержней и формы образуют легкоплавкие силикаты, что приводит к пригару [1—2]. Кроме того, в отливках, кристаллизующихся из перегретой стали, развивается столбчатая структура, следствием чего является резкое снижение прочности и износостойкости отливок.

Выбор способа изготовления литых деталей из данной стали, главным образом, зависит от их габаритных размеров, конфигурации и возможности создания направленного затвердевания отливки.

Известны классические способы качественного литья плит из данной стали, но они отличаются низким технологическим выходом годного (ТВГ) (45...60%) и трудоемкостью технологического процесса. Это связано с необходимостью манипулирования литейной формой при заливке.

Цель работы — повышение эффективности производства плит для дробильных установок ферросплавного производства из высокомарганцевистой стали за счёт сокращения времени изготовления литых изделий и уменьшения используемых ресурсов.

Материалы и методы

Исследования производили в условиях действующего литейного производства ОАО «Челябинский электрометаллургический комбинат». В технологических картах оценивали такие показатели, как суммарное время операций изготовления плиты (мин); дефекты — степень коробления плиты в виде величины наибольшего отклонения от прямолинейности тыльной стороны плит (мм); общая протяженность трещин (мм); объем утяжины в виде отношения её объёма к единице площади поверхности

плиты ($\text{см}^3/\text{дм}^2$); процент металла, ушедшего на изготовление литников и прибылей применительно к одной отливке; износ, оцениваемый потерей массы плиты до момента полного истирания рёбер. Всего было реализовано шесть экспериментальных вариантов технологии с трехкратным повторением каждого. Свойства литейной формы были постоянными, а температура заливки стали находилась в интервале 1400...1450 °С.

Результаты и их обсуждение

В результате оптимизации технологии увеличена износостойкость плиты на 20% при повышении в два раза её эффективности. За счёт обеспечения принципа направленного в рёбрах отливки формируется мелкозернистая структура без микропустот и микродефектов.

Выводы

В ходе проведённых исследований предложен новый эффективный технологический процесс изготовления дробильных плит, отличающийся ресурсосберегающими показателями.

Структурная оптимизация позволила определить наилучшую конструкцию литниково-питающей системы, обеспечивающей двукратное повышение эффективности технологии за счёт сокращения времени производства плит, затрат на исправление дефектов, уменьшения массы металла на литники и прибыли.

На основе метода планируемого эксперимента получены регрессионные уравнения процесса, оптимизированы его технологические параметры. В результате этого достигнуто повышение на 20% износостойкости плиты.

1. Georgeou Z., Schöttler J., Rohrberg D., Spitzer K.-H., Newirkowicz A., and Nyström R. Metallurgical Methods for the Production of Steels with High Manganese Contents [Metallurgische verfahren zur herstellung von stählen mit hohen mangangehalten] // Stahl und Eisen. — 2012 (132), no. 8, 29—36
2. Нехендзи Ю.А. Стальное литье. — М.: Металлургиздат. — 1948

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЕВ TiN, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ РЕАКТИВНОГО МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

М.В. Ермоленко, С.М. Завадский, Д.А. Голосов

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь,
marevs@tut.by

Введение

Одним из видов защитных покрытий, представляющих значительный интерес для машиностроения, электроники и микроэлектроники являются покрытия на основе нитрида титана. Широкое использование их в качестве твердых износостойких покрытий на стальных деталях машин, в том числе компрессорных, для режущего инструмента, диффузионных барьеров в электронике, декоративных и коррозионностойких покрытий и др. обусловлено тем, что нитрид титана обладает высокими твердостью, износостойкостью и модулем упругости, химически стабилен [1].

В связи с этим представляет интерес изучение зависимости трибологических свойств слоев нитрида титана, сформированных реактивным магнетронным распылением на постоянном токе, от условий нанесения.

Материалы и методы

Покрытия из нитрида титана наносились с помощью экспериментальной установки для нанесения компонентных слоев методом реактивного магнетронного распыления при пониженном давлении. Установка выполнена на базе вакуумного поста ВУ-2МП.

Перед напылением производилась очистка мишени и подложек от остаточного загрязнения. В качестве подложек использовался Si (100), оптическое стекло, ситалл. В процессе нанесения слоев подложка располагалась на расстоянии 8,5 см от поверхности мишени МРС.

Камера вакуумной установки откачивалась до остаточного давления 10^{-3} Па. Распыление мишеней Ti (99,9%) Ø160 мм и толщиной 5—10 мм осуществлялось в среде Ar с различным содержанием реактивного газа N₂. Для поддержания заданного расхода газов использовались автоматические регуляторы расхода газа РРГ-1. При этом поток Ar во всех экспериментах оставался постоянным на уровне 45 мл/мин. Поток реактивного газа изменялся от 0 до 16 мл/мин.

Ток разряда ионного источника во всех экспериментах поддерживался постоянным ($I_r = 100$ мА, $U_r = 5,0$ кВ) при давлении в камере $2,0 \cdot 10^{-2}$ Па.

Результаты и их обсуждение

Проведены исследования твердости и триболо-

гических характеристик слоев нитрида титана, полученных методом реактивного магнетронного распыления. Значения микротвердости слоев получены с помощью измерителя микротвердости Leika VMHT Mot при нагрузке индентора 5 г и времени сохранения нагрузки 7 с. Для исключения эффекта деформации подложки, измеряемые пленки наносились до толщины не менее 1,0 мкм на подложки из нержавеющей стали 12X18H10 Т. Для измерений использовался индентор Кнупа.

Была получена зависимость твердости по Кнупу слоев нитрида титана нанесенных методом реактивного магнетронного распыления от потока реактивного газа N₂. Твердость пленок достигала 30 ГПа при потоке реактивного газа порядка 3,0—4,0 мл/мин.

С целью исследования трибологических свойств TiN покрытий некоторые образцы были подвергнуты истиранию в условиях сухого трения. Измерения проводились на трибометре ТАУ-1Н методом истирания покрытия индентором из твердосплавного материала ВК-20. Нагрузка индентора составляла 140 г (1,372 Н), количество циклов — 500.

Анализ трибограмм показал, что слои имеют практически постоянные характеристики на всех участках износа, что свидетельствует об отсутствии слоистой структуры покрытий.

Были получены зависимости ширины дорожки трения, коэффициента трения и объемного износа слоев TiN полученных методом реактивного магнетронного распыления от потока реактивного газа N₂. Наиболее износостойкие слои нанесены при потоке N₂ порядка 2 мл/мин. Слои полученные при данных условиях имели недостехиометрический состав.

Выводы

С целью повышения износостойкости, как, например, для режущего инструмента, необходимо использовать пленки недостехиометрического и близкого к нему составов. Стехиометрические пленки во многих случаях, несмотря на высокую твердость, оказываются неприменимыми, из-за их экстремальной хрупкости.

1. Погребняк А.Д., Махмуд А.М., Караша И.Т., Кирик Г.В. Структура и свойства нанокристаллических TiN покрытий, полученных в условиях непрерывного осаждения и ионной имплантации // Вісник ХНУ, № 962, серія «Фізика». — Хмельницький, Україна. — 2011, вип. 15, 46—48

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ИОННО-АССИСТИРОВАННЫМ НАНЕСЕНИЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ

А.В. Касперович¹, О.Г. Бобрович¹, В.В. Тульев¹,
И.С. Ташлыков², А.В. Купреев³, М.С. Ануфриенко³

¹Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь; andkasp@belstu.by

²Белорусский государственный педагогический университет им. Максима Танка, Минск, Беларусь

³Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого, Гомель, Беларусь

Введение

Для повышения долговечности манжетных уплотнений из резин на основе полярных каучуков постоянно ведется поиск новых рецептурных и технологических приемов, способствующих повышению стойкости резин к маслам, топливам и смазкам, воздушному тепловому старению, фрикционному износу и другим эксплуатационным воздействиям. Модификация является одним из наиболее доступных способов улучшения свойств резин без существенного изменения технологии производства резинотехнических изделий (РТИ).

Для модификации поверхности РТИ применяли процесс ионно-ассистированного нанесения покрытий на поверхность резины и изделий из нее в условиях саморадиации (ИАНПУС), в котором радиационное ассистирование обеспечивается ускоренными ионами металла покрытия. В отличие от классического ионного ассистирования (ИАНП) этот способ осаждения покрытий позволяет избавиться от введения нежелательных примесей инертных газов в состав покрытия и модифицировать поверхность изделий с целью улучшения эксплуатационных свойств [1].

Цель работы заключается в сравнительном анализе триботехнических характеристик поверхности резины на основе полярных каучуков (бутадиенитрильный, фторкаучук) модифицированной при ионно-ассистированном осаждении покрытий на основе металлов в условиях саморадиации.

Материалы и методы

Ранее было показано, что метод ионного ассистирования в условиях саморадиации обеспечивает формирование покрытий различного функционального назначения на рабочих поверхностях резинотехнических изделий [2].

Исследовались покрытия, сформированные на резиновых подложках после нанесения на них методом ИАНПУС в вакууме покрытий на основе металлов: Mo^+ , Zr^+ .

Подложки с размерами $40 \times 30 \times 2$ мм изготавливали из резиновых смесей на основе бутадиенитрильного каучука и фторкаучука. Резиновые образцы протирали безворсовой тканью смоченной этиловым спиртом, после чего высушивали при комнатной температуре. Образец помещали на дер-

жатель, который располагается внутри вакуумной камеры, рис. 1.

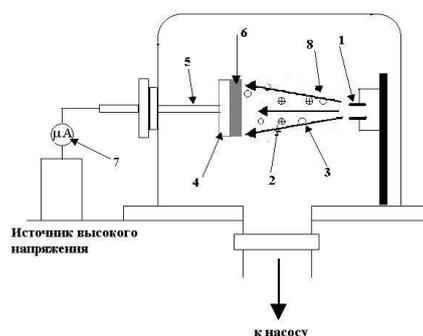


Рис. 1. Схема ИАНПУС: 1 — ионный источник, 2 — ионы металла, 3 — нейтральная фракция, 4 — подложка, 5 — высоковольтный электрод, 6 — покрытие, 7 — амперметр, 8 — напряженность электростатического поля

Триботологические испытания осуществляли на возвратно-поступательном микротрибометре МТУ-2К7 (ИММС НАН Беларуси, г. Гомель) в нормальных условиях (ГОСТ 8.395–80) без смазочного материала. В качестве контртела использовали шарик из стали ШХ15 ($\varnothing 4,7$ мм). Испытания выполняли при нагрузках 100, 250, 500, 750 и 1000 мН, относительной скорости скольжения 2,5 мм/с, длине двойного хода 10 мм и пути трения 7,5 м. Результаты испытаний представлены в таблице.

Таблица 1. Коэффициент трения μ исследуемых образцов при нагрузке 1000 мН

Вид покрытия	Исходная резина		Mo^+		Zr^+	
	БНКС	Фтор	БНКС	Фтор	БНКС	Фтор
μ	0,99	0,23	0,92	0,14	0,60	0,16

Выводы

Таким образом, формирование покрытий на поверхности резин приводит к изменению характеристик их фрикционного взаимодействия с контртелом.

1. Касперович А.В. Модифицирование поверхности резины ионно-ассистированным осаждением покрытий: Дис. ... к-та техн. наук: 05.02.01. — Минск. — 2002
2. Kasperovich A.V., Tashlykov I.S., and Wolf G.K. Elastomer Surface Modification by Means of SIAD of Metal-Based Layers // Surf. Coat. Tech. — 2002 (158—159), no. 6, 498—502

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОКСИДНЫХ НАНОПЛЁНОК

А.В. Морозов, А.М. Мезрин

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

Введение. В работе представлены результаты экспериментальной оценки триботехнических характеристик защитных пленок, выращенных на поверхности стали 12X18H10T химическим «карбоксилатным» методом. Изучаются пленки, состоящие из оксидов Al, Zr и Y. Толщина получаемых пленок определялась оптическим методом [1], которая в зависимости от числа нанесенных слоев составляла $150 \div 600$ нм. Пленки носились на подложки из нержавеющей стали, поверхность которых предварительно полировалась до значения шероховатости по Ra $\leq 0,02$ мкм.

Материалы и методы. Механические характеристики наносимых пленок и используемых подложек изучались методом микро- и наноиндентирования на приборах Shimadzu HMV-2000 и CETR UNMT-1, соответственно. При микроиндентировании использовалась пирамида Виккерса (измерение твердости проводилось согласно ГОСТ 2999–75). Оценка коэффициента трения покрытий проводилась по схеме пальчик-пластина при нормальных условиях с постоянной нагрузкой $P = 15$ Н и скоростью скольжения $V = 0,001$ м/с. Методика проводимых испытаний описана в работе [2]. В процессе испытаний была обеспечена непрерывная регистрация коэффициента трения. Статический и динамический коэффициенты трения определялись по полученным протокольным записям. Статический коэффициент трения определялся по величине первого пика в записи, динамический — методом наименьших квадратов по средней величине на протяжении следующего за пиком участка пути.

Испытания на износостойкость в абразивной среде образцов с оксидными пленками проводились на трибометре T-05 (Польша). Ролик представлял собой обрешиненный цилиндр диаметром 36 мм, основная функция которого — обеспечивать перемещение частиц абразива через контакт за счет их внедрения в податливый резиновый слой. Абразивной массой служила суспензия из двуокиси титана (IV) диспергированного в дистиллированной воде (концентрация 1:1). Условия испытаний выбирались таким образом, чтобы, с одной стороны, они не были бы критичными для пленок, а с другой стороны, чтобы были вполне реальными для узлов трения (например, шнек, транспортирующий абразивную среду). Испытания проводились при среднем давлении $P = 1,0$ МПа и скорости скольжения $V = 0,1$ м/с. После проведения испытаний на износ исследуемого образца определяли площадь дорожки трения, образованную за счет истирания покрытия со стального блока. Площади выработанных дорожек трения фотографировались при помощи оптического микроскопа Neophot-2 и вычислялись по

средствам программного обеспечения ImagescopeS. Относительную износостойкость ε вычисляли, используя приведенные в работе [3] соображения.

Результаты и их обсуждение. Проведенное экспериментальное исследование показало, что в результате нанесения тонких пленок на поверхность стали 12X18H10T происходит незначительное повышение как микро-, так и нанотвердости.

Анализ полученных значений коэффициентов трения показывает, что наименьшей относительной величиной скачка обладает покрытие на основе оксида алюминия. Однако, повторные испытания той же поверхности показывают, что статический и динамический коэффициенты трения выравниваются, вследствие процесса приработки. Таким образом, можно заключить, что исследуемые оксидные пленки, можно отнести к классу антискачковых покрытий после процесса приработки контактирующих поверхностей.

Анализ полученных данных по испытаниям на абразивное изнашивание позволяет сделать вывод: покрытие на основе оксида Al практически не повышает износостойкость стали, в то время как покрытие на основе Zr–Y способно увеличивать износостойкость композиции покрытие — сталь марки 12X18H10T. Диоксид циркония, стабилизированный иттрием нанесенный в 3 слоя в 16,8 раз более износостоек, чем покрытие на основе диоксида алюминия.

Заключение. Результаты выполненного исследования показывают, что коэффициент трения снижается в случае контакта поверхностей покрытых пленками оксидов металлов, способствуя повышению долговечности исследуемого сопряжения. Полученные данные по оценке абразивной износостойкости коррелируют с результатами по оценке механических свойств и определению коэффициента трения. То есть, для более износостойкого покрытия характерна большая твердость и меньший коэффициент трения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 15-08-06298).

1. Сахаров В.В., Басков П.Б., Берикашвили В.Ш., Ивкина О.В., Косов Д.Е., Мосягина И.В., Фролов Н.Н., Шарипова М.А. Оксидная наноразмерная модификация поверхности неорганических материалов // Наноинженерия. — 2011, № 6, 15—24
2. Морозов А.В. Экспериментальное определение статического и динамического коэффициентов трения скольжения эпитаксиальных материалов // Трение и износ. — 2014 (35), № 2, 114—120
3. Способ определения относительной износостойкости материалов // Патент РФ № 2373520. Оpub.: 20.11.2009 / Тарасов В.В., Лоханина С.Ю., Чуркин А.В.

ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК В КАЧЕСТВЕ ТРИБОАКТИВНЫХ КОМПОНЕНТ СОТС ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ

А.Г. Наумов, А.А. Разумов

Ивановский государственный университет, Иваново, Россия; agn8@yandex.ru

Цель работы

Целью данного исследования является оценка эффективности применения модифицированных углеродных нанотрубок (УНТ) в качестве трибоактивных присадок к СОТС в процессах лезвийной обработки металлов.

Материалы и методы

Используемые УНТ и методики модификаций подробно описаны в [1]. Исследуемая смазочно-охлаждающая жидкость с присадками УНТ готовилась на основе индустриального масла И-40А (ГОСТ 20799–88) путем ультразвуковой диспергации присадок «чистых» (исходных) и модифицированных УНТ на частоте 22 кГц в течение 4—5 часов.

Исследуемая смазочно-охлаждающая жидкость готовилась на основе индустриального масла И-40А (ГОСТ 20799–88) путем ультразвуковой диспергации присадок «чистых» (исходных) и модифицированных УНТ на частоте 22 кГц в течение 4—5 часов.

Эксперименты проводились при сравнении с индустриальным маслом И40А и при резании без СОТС на операциях сверления и продольного точения.

Операция сверления проводилась на авторском стенде. В качестве интегральной характеристики смазочной способности СОЖ был принят крутящий момент. Подача СОЖ осуществлялась капельным методом с расходом 2 мл/мин. Качество обработанной поверхности оценивалось её шероховатостью, измеряемую на профилографе-профилометре «Абрис ПМ-7» по оценочному параметру R_a .

В другой серии экспериментов были проведены модельные исследования по определению продольной усадки стружки на различных скоростях резания для различных концентраций присадок на операции продольного точения упорно-проходным резцом. Также были проведены испытания на износостойкость резцов при аналогичных режимах резания для СОЖ с присадками УНТ на скорости резания 40 м/мин. В качестве обрабатываемого материала использовалась аустенитная нержавеющая сталь 12Х18Н10Т.

Были проведены исследования корней стружек стали 45, полученных методом падающего резца для исследуемых СОЖ, определены углы сдвига β_1 , текстуры β_2 , ширины зон вторичных деформаций на

обработанной поверхности a^* и прирезцевой поверхности стружки $a^*_{стр}$, вычислен коэффициент усадки стружки K_f .

Структура контактирующих поверхностей изучалась с помощью электронного микроскопа просвечивающего типа ЭМВ-100 Л (ускоряющее напряжение 50 кВ) в режиме получения изображения, в режиме электронографа и микродифракции.

ДТА, совмещенный с масс-спектральным анализом, и ДСК материала, содержащего УНТ, проводились на приборе синхронного термического анализа STA 449 F1 Jupiter с квадрупольным масс-спектрометром QMS 403C Aeolos. Масс-спектры отходящих газов регистрировали с разрешением 1 а.е.м. при энергии ионизации электронным ударом — 70 эВ. Эксперимент проводился в интервале температур 30—850 °С в алундовом тигле в контролируемой атмосфере имитирующей атмосферный воздух (80% — N_2 , 20% — O_2).

Обсуждение результатов

Эффективность СОЖ с присадками модифицированных УНТ зависит от типа функциональной группы — модификатора. Установлено, что наиболее эффективными являются присадки УНТ функционализированные 4-аминоазобензолом и этилендиамином, а наиболее близкой к оптимальной концентрации присадок является $C = 0,5 \cdot 10^{-6}$ мас.%. Использование в качестве активного компонента СОЖ модифицированных УНТ позволяет снизить крутящий момент резания на операции сверления до 22% по сравнению с резанием с использованием базовой СОЖ, повысить время работы быстрорежущего инструмента до 7,5 раз, а также снизить среднее значение R_a обработанной поверхности до 20% на операции точения.

Проведенные исследования реплик, полученных с поверхности стружки, при резании с присадками модифицированных УНТ и ДТА материала, содержащего УНТ позволяют выдвинуть гипотетический механизм действия, объясняющий влияние присадок модифицированных УНТ на процессы лезвийной обработки металлов

1. Осипов Н.Н., Клюев М.В., Разумов А.А., Наумов А.Г., Скворцов К.В., Хорьков К.С. Химическая модификация углеродных нанотрубок // Известия высших учебных заведений: Химия и хим. технология. — 2013 (56), № 1, 100—103

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ТРЕНИЕ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ НИТРИДОВ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ

У.С. Немченко¹, В.М. Береснев¹, В.Ю. Новиков², П.В. Турбин¹

¹Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков, Украина; ululkin@gmail.com

²Белгородский национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

Повышение износостойкости пар трения деталей машин и работоспособности режущего инструмента, расширение областей их применения можно решить за счет нанесения на рабочие поверхности покрытий. В последнее время для обеспечения качественного комплекса эксплуатационных характеристик весьма перспективным является применение многофазных покрытий на основе карбидов, боридов, нитридов и силицидов переходных металлов, объединяющих в себе одновременно высокую твердость, износостойкость и теплостойкость.

В работе уделялось внимание особенностям влияния структурно-фазового состояния многоэлементных покрытий (TiZrSi)N, (TiZrCrNbSi)N и (TiZrHfVNBa)N на триботехнические характеристики трения в воздушной среде при температурах 300 °С, 500 °С, 700 °С. В качестве контртела использовался шарик диаметром 6,0 мм, изготовленный из спеченного сертифицированного материала — Al₂O₃. Применялась нагрузка в 6,0 Н, а скорость скольжения составляла 10 см/с. Испытания соответствуют международным стандартам ASTM G99-959, DIN50324 и ISO 20808. На поверхности дорожек трения наблюдается присутствие образовавшихся в процессе трения трибопленок на основе тугоплавких металлов, в частности ZrO₂, TiO₂ и окисла типа MeTiO₄, где Me соответствует содержанию Zr, Hf и других металлов. Использование послыоного микроанализа позволило оценить фазовый состав трибопленки. Однако, характеристики изнашивания нельзя связывать с одним каким-либо свойством окисных пленок. Необходимо учитывать комплекс таких характеристик, как прочность, хрупкость, твердость, а также прочность сцепления окисной пленки с поверхностью основного металла.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при указанных условиях трение обусловлено не только переносом материала, но и взаимодействием окружающей атмосферы с поверхностями скольжения, активируемым энергией трения. Важными также являются процессы трибомеханического окисления при скольжении сухих поверхностей контртела Al₂O₃ и покрытий в воздушной среде.

Трибологические характеристики системы «покрытие (TiZrHfVNBa)N–Al₂O₃» при температурах испытаний 20 °С, 500 °С и 700 °С показали, что исходный коэффициент трения при указанных температурах имел значения $\mu_{20} = 0,683$, $\mu_{500} = 1,15$ и $\mu_{700} = 0,725$ соответственно. В процессе испытаний значения коэффициента трения изменились до $\mu_{20\text{исп}} = 1,063$, $\mu_{500\text{исп}} = 0,827$ и $\mu_{700\text{исп}} = 0,585$. Интенсивность

износа контртела для различных температур имела следующие значения: $J_{k20} = 3,34 \cdot 10^{-6}$ мм³/Н/м, $J_{k500} = 7,36 \cdot 10^{-6}$ мм³/Н/м, $J_{k700} = 2,47 \cdot 10^{-5}$ мм³/Н/м.

При этом интенсивность износа покрытия для различных температур имела следующие значения: $J_{n20} = 4,1 \cdot 10^{-5}$ мм³/Н/м, $J_{n500} = 2,12 \cdot 10^{-5}$ мм³/Н/м, $J_{n700} = 2,71 \cdot 10^{-5}$ мм³/Н/м.

Изображения дорожек трения покрытий, а также контртел из Al₂O₃ при высокотемпературных испытаниях образцов (TiZrHfVNBa)N приведены на рис. 1.

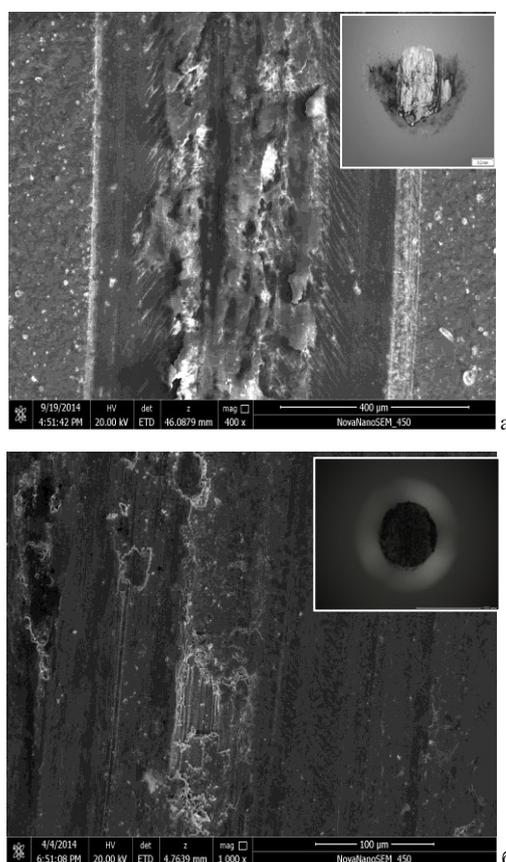


Рис. 1. Снимки дорожек трения и контртел: а — 700 °С; б — 500 °С

1. Pogrebnyak A.D., Pshyk A.V., Beresnev V.M., and Zhollybekov B.R. Protection of Specimens Against Friction and Wear using Titanium-Based Multicomponent Nanocomposite Coatings: A Review // *J. Friction and Wear*. — 2014 (35), no. 1, 55—66
2. Pogrebnyak A.D., Bagdasaryan A.A., and Yakushchenko I.V. The Structure and Properties of High-Entropy Alloys and Nitride Coatings Based on Them // *Russ. Chem. Rev.* — 2014 (83), no. 11, 1027

СТРУКТУРА И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВМПЭ, НАПОЛНЕННОГО КЕРАМИЧЕСКИМИ НАНОЧАСТИЦАМИ

А.А. Охлопкова, Т.А. Охлопкова, Р.В. Борисова, А.Н. Голиков

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия; botanya05@mail.ru

Цель

Исследование триботехнических свойств и механизмов износа полимерных нанокомпозитов (ПнК) на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), модифицированного малыми дозами керамических наночастиц.

Материалы и методы

В качестве объектов исследований были использованы СВМПЭ марки Ticopa GUR 4120 с молекулярной массой 5 млн. г/моль и наночастицы (НЧ) кристаллических Al_2O_3 , AlN и аморфных SiO_2 , Si_3N_4 (Emfutur Technologies, Испания).

Введение наполнителей в СВМПЭ проводилось путем совместной механической активации в планетарной мельнице Pulverisette-5 (Fritsch, Германия) с частотой 400 об/мин в течение 2 мин. ПнК получены методом горячего прессования полимеров с подпрессовкой при 4 МПа и прессованием при давлении 10 МПа при температуре 175—180 °С в течение 20 мин. Содержание наполнителей варьировалось от 0,1 до 2 мас. %.

Триботехнические испытания проведены на универсальной машине трения UMT-2 (CETR, США) в режиме «палец—диск» с нагрузкой 150 Н и скоростью скольжения 0,5 м/с. Поверхности трения ПнК исследованы на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) JSM-7800F (JEOL, Япония), снабженном энерго-дисперсионной рентгеновской спектроскопией (ЭДС) X-MAX 20 (Оксфорд, Великобритания) для анализа химического состава. Химический состав поверхностей трения также исследован на ИК-спектрометре Varian FTIR 7000 (Varian Medical Systems, США).

Результаты и их обсуждение

Показаны триботехнические свойства (табл. 1) исходного полимера и ПнК на основе СВМПЭ и НЧ. Линейный износ ПнК уменьшается с увеличением содержания НЧ до критической концентрации (0,1—0,5 мас. % для аморфных НЧ и 1 мас. % для кристаллических НЧ), после этой концентрации линейный износ резко увеличивается. Коэффициент трения для всех ПнК, за исключением СВМПЭ + AlN, находится на уровне исходного полимера. При концентрации выше 1% коэффициент трения у всех образцов несколько снижается.

Наблюдаются бороздки и продукты износа на поверхностях трения исходного полимера и СВМПЭ + нитриды Al и Si, полученных методом СЭМ. Тре-

ние СВМПЭ + оксиды Al и Si имеет несколько другой механизм, отличающийся отсутствием бороздок трения. Такой вид поверхности трения наблюдается у ПнК с 0,5—1,0 мас. % Al_2O_3 и SiO_2 .

Таблица 1. Триботехнические свойства СВМПЭ и ПнК

Состав	d, нм	c, мас. %	z, мм	f
СВМПЭ	—	0	0,31	0,36
СВМПЭ + $\alpha-Al_2O_3$	40	1,0	0,12	0,33
СВМПЭ + SiO_2	7—14	0,1	0,16	0,34
СВМПЭ + Si_3N_4	20	0,5	0,20	0,38
СВМПЭ + AlN	35	1,0	0,24	0,29

Примечание: d — средний размер НЧ, c — концентрация НЧ, z — линейный износ, f — коэффициент трения по стали.

На поверхности трения СВМПЭ+ Al_2O_3 НЧ собираются в структуры с фрактальной природой. Эти диссипативные структуры могут обеспечить уникальные свойства поверхности ПнК, такие как высокая износостойкость, низкий коэффициент трения и образование прочной «пленки переноса» [1].

ЭДС анализ поверхности трения и продуктов износа показал содержание O, также Fe, Ni, Cr, что свидетельствует о трибоокислительных и трибодеструкционных процессах.

Зарегистрированы полосы поглощения карбонильной группы в $C=O$ и карбоксильной группы в эфирах в ИК-спектрах, что указывает на протекание процессов окисления во время механической активации. В ИК-спектрах поверхности трения появляются новые пики с 1262, 1170, 1365 cm^{-1} , соответствующие валентным колебаниям связи C—O в C—O—C [2, 3]. Сильная полоса поглощения в области 1560—1580 cm^{-1} может указывать на ионизированную форму карбоксильной группы, например, в соли органических кислот Cr, Fe и Ni, которые находятся в составе стали контртела [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания Министерства образования и науки РФ № 11.512.2014/К от 18.07.14.

- German S. Fox-Rabinovich, Iosif Gershman, Mohamed A. El Hakim, Mohamed A. Shalaby, James E. Krzanowski, Stephen C. // Chip Interface during Cutting Lubricants. — 2014, no. 2, 113—123
- Magda Rocha, Alexandra Mansur and Herman Mansur // Materials. — 2009, no. 2, 562—576
- Nakanishi K. Infrared Absorption Spectroscopy: Practical Unknown Binding. — 1963
- Lee Smith A. Applied Infrared Infrared Spectroscopy: Fundamentals, Techniques and Analytical Problem-Solving. — New York: Wiley—Interscience. — 1979

О РОЛИ БРОНЗОВОГО ПОКРЫТИЯ НА ЧУГУННОЙ ВСТАВКЕ КОЛЕСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТОРМОЗНОЙ КОЛОДКИ ДЛЯ ВАГОНОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

А.В. Павлов, И.А. Адудин

Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Россия; pavlovav@ystu.ru

Постановка задачи

Для повышения надёжности крепления полимерного композиционного фрикционного материала тормозной колодки к металлической чугунной вставке возникла необходимость в разработке буферного материала, обладающего высокими антикоррозионными и адгезионными свойствами.

На сегодняшний день композиционная полуметаллическая колесосберегающая тормозная колодка ФРИТЕКС Контакт® для вагонов железнодорожного транспорта считается одной из самых лучших в мире по эксплуатационным характеристикам. Однако в силу специфики конструкции эта колодка является открытой коррозионной системой. В результате коррозионных изменений надёжность данной тормозной колодки может снижаться. Для защиты от коррозии и для повышения адгезии полимерного композиционного материала к чугуну разработана технология нанесения бронзового покрытия с подслоем олова на чугунный вкладыш композиционной полуметаллической колесосберегающей тормозной колодки ФРИТЕКС Контакт®.

Материалы и методы

Исследовалась коррозионная стойкость элементов металлической конструкции колодки в различных агрессивных средах, приближенных к эксплуатационным условиям, а также коррозионная стойкость этих же элементов в условиях хранения до и после эксплуатации. Для оценки скорости коррозии металлических элементов конструкции в электролитах был использован гравиметрический метод. Прочность связи между фрикционным полимерным материалом и чугуном из вставки колодки с бронзовым покрытием до и после эксплуатации определялась на разрывной машине с маятниковым силоизмерителем РМИ-60.

Результаты и их обсуждение

Электрохимическое покрытие чугунной вставки бронзовым сплавом позволяет в 8 раз повысить адгезию фрикционного материала к чугуну после вулканизации колодок. Бронзовое покрытие в процессе эксплуатации колодки спекается в присутствии сильных восстановителей таких, например, как водород и закись углерода (угарный газ), обра-

зующихся в результате термической деструкции связующего при торможении. Получаемый спечённый материал (металлокерамика) имеет промежуточный показатель коэффициента теплопроводности между чугуном и полимерным композиционным материалом, и тем самым препятствует преждевременному разрушению поверхности колодки, на которой осуществляется высокотемпературный фрикционный контакт с поверхностью колеса. Кроме этого, в результате высокой температуры и давления в зоне фрикционного контакта создаётся автоклавный режим, при котором возможно образование олово-органических соединений из фрагментов полимерного связующего и олова, входящего в состав бронзы. Олово-органические соединения обладают коэффициентом теплопроводности, превышающим этот показатель для полимерных тормозных колодок в 2÷2,5 раза. Наконец, олово, попадая на рабочую поверхность колеса, с последующей его сегрегацией на границах зерен железной матрицы, будет способствовать упрочению материала колеса. Применение вместо бронзы латуни не допустимо, так как цинк, входящий в состав латуни, приводит к охрупчиванию границ зерен матрицы железа и его разрушению.

Заключение

Бронзовое покрытие, нанесенное электрохимически на чугунную вставку:

- защищает от атмосферной, высокотемпературной газовой и электрохимической коррозии;
- является буфером на пути распределения тепловых потоков по чугунной вставке и полимерной композиционной колодке;
- препятствует наводораживанию металлических поверхностей в зоне фрикционного контакта;
- значительно повышает адгезию чугуна к полимерной композиционной массе колодки после вулканизации;
- препятствует охрупчиванию границ зерен матрицы железа колесной стали и её преждевременному разрушению [1].

1. Тормозная колодка железнодорожного транспорта: Пат. РФ на изобретение № 2499710. — 2012 / А.В. Павлов, Д.В. Куделин, Е.В. Терентьева, Т.Н. Несиоловская

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОЩНОСТИ ВОЗНИКАЮЩЕЙ ПРИ ТОРЦОВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ С УЧЕТОМ ИЗНОСА ИНСТРУМЕНТА

Д.Ю. Пименов

Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет),
Челябинск, Россия; danil_u@rambler.ru

Введение

Торцовое фрезерование на сегодня является высокопроизводительным и распространённым методом обработки плоских поверхностей. При этом важно еще на этапе проектирования технологических процессов обработки, такого рода деталей, определять приемлемые режимы торцового фрезерования: подачу и скорость резания. Выбранные режимы обработки, сказываются на силы, возникающие в процессе фрезерования, а силы в свою очередь влияют на упругие отжатия инструмента от заготовки, что влияет на точность обработки.

На сегодня существует довольно много моделей сил торцового фрезерования, например [1, 2]. В работе Гузеева–Пименова [2] приводится математическая модель сил торцового фрезерования, учитывающая величину износа по задней поверхности зуба инструмента, которая применима для разнообразных условий торцового фрезерования. Однако, даже имея в своем арсенале математические модели силовых зависимостей, учитывающих нарастающую величину износа, использовать это на практике для управления режимами резания по мере роста износа на большинстве станков не представляется возможным. А вот с появлением большего числа станков с ЧПУ, позволяющих проводить мониторинг процесса резания, такого рода управление режимами резания по мере увеличения площадки износа становится вполне реализуемой задачей. В частности такие станки снабжены возможностью отслеживать текущую величину мощности привода главного движения, а также мощности приводов отвечающих за перемещения по осям координат станка x , y , z . Но для этого необходима математическая модель мощности торцового фрезерования, учитывающая износ инструмента. Такие модели отсутствуют в современных научных источниках. Поэтому создание такой модели является актуальной задачей.

Цель: исследовать влияние величины площадки износа по задней поверхности зубьев торцовых фрез и режимов торцового фрезерования на шероховатость обработанной поверхности.

Математическое моделирование

В работе определена математическая модель мощность главного привода движения торцового фрезерования определяется произведением главной составляющей (касательной) силы резания P и скорости резания V .

Описание эксперимента

Для оценки адекватности математической модели мощности привода главного движения для разных величин износа по задней поверхности инструмента проведены экспериментальные исследования. Для этого осуществлена обработка на обрабатываемом центре сверлильно-фрезерно-расточной группы Mori Seiki NMV 5000 с ЧПУ, расположенном в научно-образовательном центре Машиностроения и металлургии Южно-Уральского государственного университета.

Однородность выборочных дисперсий проверялась по критерию Кохрена.

С использованием критерия Фишера установлена адекватность математической модели мощности привода главного движения.

Результаты и выводы

Получена математическая модель мощности привода главного движения при торцовом фрезерования учитывающая величину износа по задней поверхности инструмента.

Используя элементы мониторинга мощности привода главного движения современных станков с ЧПУ возможно по мере изменения величины площадки износа зубьев фрезы по задней поверхности управлять режимами торцового фрезерования.

1. Гузеев В.И., Пименов Д.Ю. Математическое моделирование силы резания при торцовом фрезерования // Вестник машиностроения. — 2011, № 10, 70—74
2. Matsumura T., Shimada M., Teramoto K., and Usui E. Predictive cutting force model and cutting force chart for milling with cutter axis inclination // International Journal of Automation Technology. — 2013, 7 (1), 30—38

ПРИМЕНЕНИЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ САМОСМАЗЫВАЮЩИХСЯ ПОКРЫТИЙ В ШАРНИРАХ И ПОДШИПНИКАХ СКОЛЬЖЕНИЯ

В.Н. Пучков¹, А.Г. Пономаренко²

¹Институт машиноведения им. А.А. Благоднарова РАН, Москва, Россия; puchkov.v.n@bk.ru

²НИИ Физической и Органической Химии Южного Федерального Университета, Ростов-на-Дону, Россия

Введение

Оценка трибологических характеристик подшипников скольжения и шарниров, изучение процессов диссипации энергии при трении и механизмов демпфирования, а также принципы подбора используемых в узлах трения подшипниковых материалов и покрытий, обладающих необходимой долговечностью — это наиболее важные задачи, решаемые при создании и полноценном применении самосмазывающихся материалов и покрытий в демпферах колебаний механических конструкций.

Постановка задачи

В работе рассматриваются трибологические свойства и область применения антифрикционных самосмазывающихся органолокнитов (АСО), применяемых для создания износостойкой вращательной пары трения (шарниров, подшипников скольжения типа демпферов с высоким значением рассеиваемой мощности). Самосмазывающиеся металлополимерные подшипники используются в качестве комбинированных устройств, совмещающих функции подшипника и фрикционного демпфера. Дальнейшее распространение самосмазывающихся подшипников скольжения, улучшение их эксплуатационных показателей сдерживается отсутствием научно обоснованных методов расчета, оптимальных технологий получения поверхностей трения, медленным внедрением в производство новых самосмазывающихся материалов, противоречивостью данных о возможных предельных значениях рабочих параметров этих подшипников.

Методы исследования

В работах [1—3] представлены результаты экспериментальных исследований самосмазывающихся шарниров и подшипников скольжения и сделано обобщение теоретических и экспериментальных исследований, позволяющее рассчитывать ресурс, а также коэффициенты трения скольжения в заданных условиях эксплуатации.

Значительные температуры в контакте являются главной причиной повреждения и деградации полимерного материала, вызывают возрастание коэффициента трения и приводят к выходу из строя всего подшипника, который происходит в результате возникновения металлического контакта вкладыша и поверхности скольжения подшипника. При критических температурах, контакта, происходит деструкция органических составляющих композиционного мате-

риала, возникает катастрофический износ и разрушение подшипника.

Для создания демпферов — подшипниковых самосмазывающихся опор скольжения необходимо, задаваясь величиной допустимого износа, выбрать материалы и технологию их обработки, обеспечивающих необходимые функциональные свойства (демпирующую способность и требуемую долговечность). Скорость изнашивания опор зависит от многих факторов: действующей нагрузки (контактного давления), температуры, вида и режима движения, частоты вращения, агрессивного воздействия окружающей среды, физико-химической модификации поверхностей в процессе трения. Решающее значение имеют материалы трущихся сопряжений, физико-химические и механические свойства поверхностных и приповерхностных слоев, реологические и физико-химические свойства смазочного материала, метод смазывания.

Полученные результаты

Разработаны научные основы для оценки ресурса подшипников скольжения-демпферов. Исследовано влияние силовых воздействий на их трибологические характеристики (износ, коэффициент трения, тепловое состояние). Разработан экспериментально-расчетный метод для определения долговечности самосмазывающихся подшипников-демпферов. Получены зависимости для определения интенсивности изнашивания материала покрытия, представленные в обобщенных переменных. Разработан метод для оценки коэффициента трения самосмазывающихся подшипников-демпферов. Изучено тепловое состояние подшипников с использованием различных компьютерных программ.

Заключение

Полученные результаты способствуют выбору антифрикционных материалов с учетом их температурной стойкости. Результаты проведенных экспериментов подтвердили правильность выполненных ранее теоретических оценок ресурса подшипников, позволяющих достоверно прогнозировать их надежную работу.

1. Дроздов Ю.Н., Юдин Е.Г., Белов А.И. Прикладная трибология (трение, износ, смазка). — М: Эко-Пресс. — 2010
2. Дроздов Ю.Н., Павлов В.Г., Пучков В.Н. Трение и износ в экстремальных условиях. — М: Машиностроение. — 1986
3. Когаев В.П., Дроздов Ю.Н. Прочность и износостойкость деталей машин. — М.: Высшая школа. — 1991

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЖИМА ПЛАВКИ

Н.Д. Тураходжаев, С.А. Расулов, Т.Х. Турсунов, Л.Э. Якубов,
Х.З. Абдурахманов, Ш.Н. Тураходжаева, В.П. Брагина

Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан; penza_met@mail.ru

Цель

Целью исследования является определение режимов плавки композиционных алюминиевых сплавов в электрических установках с применением защитного слоя флюса.

Материалы и методы

Экспериментальные исследования по определению режимов плавки велись на однофазной установке с питанием от сварочного трансформатора ТС-500. В качестве измерительных приборов применяли К-50, с помощью которого замерялась сила тока как на одном электроде, так на двух. Для проведения исследовательских плавок создавался температурный режим, который обеспечивался образованием дуги посредством замкнутой цепи: верхний электрод-кокс-нижний электрод. Для предотвращения потерь флюса посредством угара, дугу установки образовывали посредством кокса в контактном режиме. Для электрической установки с подвижным и неподвижным электродами приводились режимы нагрева, загрузки металла и ведения плавки алюминиевых сплавов. Для снижения потерь вследствие угара алюминиевых сплавов приводятся примеры применения защитных флюсов, способствующих защите жидкого расплава от контакта с кислородом [1]. Научными сотрудниками Ташкентского государственного технического университета был разработан способ переплава композиционного алюминиевого сплава под защитным флюсом и создана конструкция для его осуществления. При разработке способа использовали данные применения электрошлаковой печи для переплава стали с расходуемым электродом. Отличительный принцип работы данной печи заключается в том, что в ней применяются нерасходуемые графитовые электроды, с помощью которых можно перерабатывать как чёрные, так и цветные металлы и их сплавы. В работе приводятся материалы композиционных алюминиевых сплавов и температурный режим рабочего пространства станочки, которая должна поддерживаться в пределах 1000—1100 °С, а температура зоны плавления должна быть в пределах 1400—1500 °С [2].

Температура рабочего пространства установки поддерживалась в пределах 1000—1100 °С, а температура зоны плавления 1400—1500 °С. Загрузка производилась через загрузочное окно выполненной в верхней части установки по принципу противотока [3]. Загрузка композиционных алюминиевых сплавов производилась после расплавления флюса и

достижения ею температуры 600—650 °С, 700—750, 800—850 и 900—950 °С.

Результаты и их обсуждение

При использовании процесса плавления композиционных алюминиевых сплавов с образованием жидкой ванны флюса при температуре 600—650 °С, содержание окисных включений в составе расплава составило 7—8%. Количество водорода в этом при этом составило 0,60—0,62 см³/100 гр. Во втором режиме плавки, которая протекает под слоем защитного флюса при температуре 700—750 °С, содержание окисных включений в составе полученного расплава составило 2—3%, а количество водорода 0,34—0,36 см³/100 гр. В режиме плавки, которая протекает под слоем защитного флюса при температуре 800—850 °С содержание окисных включений в расплаве составило 4—5%, а количество водорода 0,42—0,44 см³/100 гр. В режиме плавки, которая протекает под слоем защитного флюса при температуре 900—950 °С, содержание окисных включений в составе расплава составило 6—7%, а количество водорода 0,54—0,56 см³/100 гр. Как видно из результатов исследований, температура жидкой ванны из флюса для плавки алюминиевых сплавов влияет на количественные показатели окисных и газовых включений получаемого расплава. Это свидетельствует об эффективности применения ведения плавки под защитным покровом флюса при соблюдении необходимого температурного режима. В заключении исследовательских работ можно сделать выводы и рекомендации, по которым загрузка композиционных алюминиевых сплавов должна производиться после расплавления флюса и достижения ею температуры 700—750 °С. В то же время, использование конструкции плавильного агрегата с применением графитовых электродов и защитного флюса обеспечивает

- сокращение безвозвратных потерь металла;
- экономию энергетических затрат;
- повышение качества выплавляемого расплава за счёт снижения в его составе окисных и газовых включений.

1. Альтман М. Б., Лебедев А. А., Чухров М. В. Плавка и литье сплавов цветных металлов. — М. — 1963
2. Тураходжаев Н.Д., Шазимов А.О., Камолов Ж.С. Повышение качества алюминиевых сплавов, получаемых из газовых печей // Вестник ТГТУ. — 2008, № 2, 193—196
3. Тураходжаев Н.Д., Якубов Л.Э. Диффузия водорода в алюминиевых расплавах // Вестник ТГТУ. — 2008, № 3, 250—254

ВЛИЯНИЕ НАНОМОДИФИЦИРОВАНИЯ НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛИСТОВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Л.И. Шашура, И.А. Ровба, Г.А. Жогло

Гродненский филиал НИЦПР ИТМО им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, Гродно, Беларусь,
resource@mail.grodno.by

Введение

Разработка способов получения полимерматричных композиционных материалов, содержащих наноразмерные наполнители в качестве дисперсной фазы, является современным перспективным направлением материаловедения. Введение в полимерную матрицу всего 0,1—5,0 мас.% такого рода наполнителей позволяет существенно изменять физико-механические и функциональные свойства композиционных материалов.

Однако получение гибридных полимерных нанокомпозитов осложняется с одной стороны склонностью наночастиц к агрегированию ввиду высоких значений поверхностной энергии, а с другой — нередко низким сродством наполнителя к матрице. Одним из известных путей решения проблемы является полимеризация *in situ*, однако этот метод сложен технологически и требует значительных материальных затрат. В этой связи целесообразными остаются исследования, направленные на поиск вариантов получения такого рода гибридных материалов методом смешения в расплаве.

Целью работы является получение нового композиционного листового материала конструкционного назначения с улучшенными физико-механическими свойствами.

Материалы и методы

В работе рассмотрен способ получения листового композиционного материала на основе вторичного полиэтилена высокого давления (ПЭВД марки А1) и промышленно производимых наночастиц монтмориллонита (ММТ с удельной поверхностью 65,2 м²/г) в комбинации с МАН. Листовые материалы наномодифицировали в два этапа. Первоначально методом смешения в расплаве в двухшнековом экструдере получили гранулированный наноконцентрат ПЭВД, содержащий 15 мас.% ММТ и 5 мас.% МАН. Полимер-носителем являлся полиэтилен с низкой вязкостью расплава марки 12203-250. Подобным образом изготовили контрольные образцы концентратов чистых ММТ и МАН.

На втором этапе на листовальной линии МКЮЖ. ЛЛ.575.00.00.000 РЭ получили несколько вариантов листовых материалов:

- 1) ПЭВД вторичный (контроль),
- 2) смесь вторичного ПЭВД и ПЭВД марки 1220 3-280 в соотношении, соответствующем их пропорции в композите с 3 мас.% содержанием ММТ,
- 3) ПЭВД + 3 мас.% ММТ,

- 4) ПЭВД + 3 мас.% ММТ + 1 мас.% МАН,
- 5) ПЭВД + 1 мас.% МАН.

Результаты и их обсуждение

Влияние наномодифицирования оценивали на микросклерометре, разработанном в НИЦПР ИТМО НАН Б. Определяли шероховатость поверхности и силу трения в зависимости от длины пути. Обработку результатов проводили с помощью компьютерной программы MicroScratch. Результаты некоторых из испытанных образцов представлены на рис. 1.

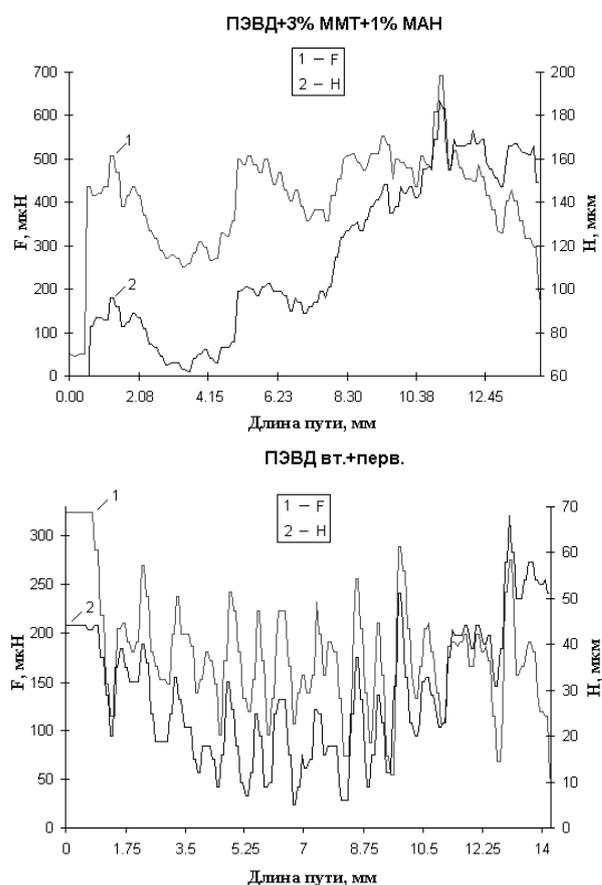


Рис. 1. Зависимость шероховатости и силы трения образцов от длины пройденного пути

В результате проведенных испытаний установлено, что значения силы трения и шероховатости поверхности выше у образца ПЭВД, наполненного ММТ и МАН. Также выявлено, что данный вариант материала обладает лучшими значениями предела прочности при растяжении и микротвердости.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ И ПЛАКИРОВАННЫХ МЕДНЫХ ПОКРЫТИЙ

В.К. Шелег, Е.В. Пилипчук, М.А. Леванцевич

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь; p.ili.p@yandex.ru

Цель

Определение и сопоставление критериев работоспособности медных покрытий, сформированных методами гальванического осаждения и деформационного плакирования гибким инструментом.

Материалы и методы

При проведении испытаний использовались образцы в виде прямоугольных пластин, размером $20 \times 70 \times 1$ мм, а также диски диаметром 70 мм, изготовленные из стали 08кп. На плоских поверхностях пластин и дисков были сформированы медные покрытия методами гальванического осаждения и ДПГИ толщинами соответственно 6—7 и 4—5 мкм.

Пластинки подвергались циклическому попеременному знакопеременному изгибу на угол 70° с фиксацией числа циклов до момента начала отслоения покрытия и полной поломки образца.

Диски подвергались сравнительным испытаниям на трение и износ на машине трения одностороннего вращения реализующей трение сферического индентора, с радиусом 8 мм, изготовленного из стали 40X (HRC 43...45), по плоской поверхности диска. Испытания проводились в режиме сухого трения, с нагрузкой на индентор 0,39 Н при относительной скорости скольжения последнего по диску 0,25 м/с, сопоставимой со скоростью подачи проволоки в сварочных полуавтоматах. В ходе испытаний регистрировались коэффициент трения скольжения между трущимися образцами, а также износ индентора и диска, определяемый по величине убыли их массы. Продолжительность пути трения составляла 600 м.

Результаты и их обсуждение

Испытания пластин показали, что на плакированных образцах не происходит отслоения и вздутия покрытия даже при поломке образца, в то время как у образцов с гальваническим покрытием отслоение покрытия происходило через 0,5 цикла.

Результаты триботехнических испытаний показали (рис. 1), что образцы с покрытием сформированным методом ДПГИ имеют более высокие (в среднем на 40%) значения коэффициента трения скольжения, чем образцы с гальваническим покрытием, что объясняется меньшей пластичностью плакированных покрытий.

Износ испытываемых образцов дисков с покрытиями и трущихся в паре с ними сферических инденторов примерно одинаков (рис. 2).

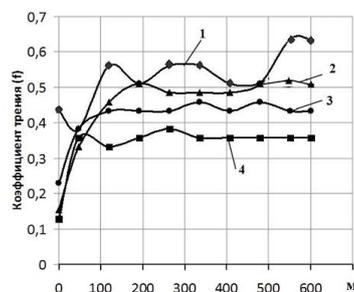


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения скольжения от пути трения: 1 — без покрытия, 2 — с покрытием сформированным методом ДПГИ, 3 — обработан щеткой без нанесения покрытия, 4 — с гальваническим покрытием

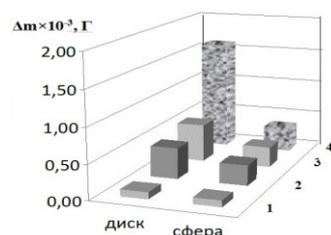


Рис. 2. Износ экспериментальных образцов в результате триботехнических испытаний: 1 — диск обработан щеткой без нанесения покрытия; 2 — диск с гальваническим покрытием; 3 — диск с плакированным покрытием; 4 — диск без покрытия

Заключение

Результаты проведенных исследований позволяют заключить, что метод ДПГИ можно успешно применять для формирования медного покрытия на поверхности сварочной проволоки, поскольку обеспечивается высокая прочность сцепления сформированного слоя с поверхностью основы. Сформированный слой способен выдерживать весьма значительные удельные контактные нагрузки (до 250 МПа). Возможно, что благодаря более высокому значению коэффициента трения скольжения плакированного слоя, улучшатся условия контактирования проволоки с подающими роликами сварочных полуавтоматов, способствуя устранению ее проскальзывания и более равномерной ее подаче. Стоит отметить, что пластичность плакированных покрытий можно регулировать варьированием технологических параметров процесса плакирования.

1. Леванцевич М.А., Максимченко Н.Н., Зольников В.Г. Повышение эксплуатационных свойств трибосопрежений нанесением покрытий металлическими щетками // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. — 2005, № 1, 67—72

СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция 5

Фторполимеры: получение, исследования, применение

**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ И ТРИБОЛОГИЯ
(ПОЛИКОМТРИБ-2015)**

23—26 июня 2015 г., Гомель, Беларусь

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ФТОРПОЛИМЕРНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА МАГНИЕВЫХ СПЛАВАХ

Д.В. Машталяр¹, С.В. Гнеденков¹, С.Л. Синебрюхов¹, И.М. Имшинецкий¹,
К.В. Надараиа¹, Д.П. Кирюхин², В.М. Бузник^{1,3}

¹Институт химии Дальневосточного отделения РАН, Владивосток, Россия; madiva@inbox.ru

²Институт проблем химической физики РАН, Московская область, Черноголовка, Россия

³Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов, Москва, Россия

Цель

Сплавы магния отличаются уникальным сочетанием высокой прочности, низкой плотности, пластичности и легкости в обработке. Именно поэтому они используются в авиационной, автомобильной и электронной промышленности. Однако более широкое практическое применение магниевых сплавов ограничивают два существенных недостатка — низкая стойкость к коррозии и износу.

Одним из способов повышения стойкости металлов и сплавов является формирование на их поверхности защитных покрытий. В последние десятилетия активно развивается один из наиболее перспективных видов поверхностной обработки металлов и сплавов — метод плазменного электролитического оксидирования (ПЭО). ПЭО позволяет формировать антикоррозионные, износ- и термостойкие керамикоподобные покрытия [1, 2]. Получаемые методом ПЭО слои служат подходящей основой для создания композиционных покрытий (КП), включающих в свой состав фторполимеры, обладающие высокой химической стойкостью и антифрикционными характеристиками.

Материалы и методы исследований

Базовый ПЭО-слой был сформирован при анодно-катодной поляризации в силикатно-фторидном электролите [2] на деформируемом магниевом сплаве МА8 (система Mg–Mn–Ce).

Нанесение фторполимера на базовый ПЭО-слой с целью получения КП осуществляли двумя способами. В первом случае использовали суспензию ультрадисперсного политетрафторэтилена (УПТФЭ) торговой марки «Форум[®]», во втором — теломерный раствор тетрафторэтилена (ТФЭ) в ацетоне торговой марки «Черфлон[®]». Нанесение полимеров осуществлялось окунанием и электрофоретическим осаждением с последующей термообработкой.

Оценку защитных свойств КП проводили электрохимическими и трибологическими методами.

Результаты и их обсуждение

Согласно анализу электрохимических характе-

ристик КП, полученные с использованием теломерного раствора ТФЭ и суспензии УПТФЭ, снижают токи коррозии на 2—4 порядка по сравнению с исходным ПЭО-слоем.

Трибологические исследования свидетельствуют о повышенных антифрикционных характеристиках КП с нанесенным на поверхность фторполимерным материалом. Коэффициент трения более чем в 8 раз меньше, чем у базового покрытия, сформированного в процессе ПЭО. Фторполимерный материал играет роль сухой смазки [2]. Под воздействием нагрузки полимер уплотняется и распределяется более равномерно, обеспечивая снижение коэффициента трения, а следовательно, и увеличивая (до 80 раз) ресурс до износа КП. Антикоррозионные и трибологические характеристики полимерсодержащего КП обусловлены особенностями морфологии поверхности, высокими диэлектрическими свойствами покрытия. Предложенные режимы нанесения фторполимерных материалов на ПЭО-покрытие обеспечивают гидрофобные и супергидрофобные свойства поверхности, создавая дополнительную защиту от внешней коррозионно-активной среды.

Заключение

Проведенные исследования показали, что обработка ПЭО-слоев в теломерном растворе и суспензиях с УПТФЭ, позволяет существенно увеличить антикоррозионные и антифрикционные свойства поверхности магниевых сплавов. Разработанные КП являются перспективными материалами для различных областей промышленности.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (№ 14-33-00009) и Правительства РФ (Федерального агентства научных организаций).

1. Gnedenkov S.V., Khrisanova O.A., Zavidnaya A.G., et al. PEO-Coatings Obtained on an Mg–Mn Type Alloy under Unipolar and Bipolar Modes in Silicate-Containing Electrolytes // Surf. Coat. Tech. — 2010 (204), 2316–2322.
2. Gnedenkov S.V., Sinebryukhov S.L., Mashtalyar D.V., et al. Composite Polymer-Containing Protective Coatings on Magnesium Alloy MA8 // Corr. Sci. — 2014 (85), 52–59

ИК-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРИБООКИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПТФЭС.А. Слепцова, А.А. Охлопкова, Ю.В. Кириллина,
Н.Н. Лазарева, Ф.Д. Васильева, М.М. Макаров

Северо-Восточный федеральный университет, Якутск, Россия; ssard@yandex.ru

В разработке методов повышения износостойкости, понимании механизмов процессов трения полимерных композитов большую роль играют трибохимические реакции макромолекул в ходе фрикционного взаимодействия. Несмотря на значительное количество исследований в этом направлении, четкие представления о механизмах, элементарных стадиях трибохимических реакций отсутствуют. Это связано как с труднодоступностью области контакта, так и с большим количеством механизмов, по которым могут инициироваться химические процессы в полимерах при трибоактивации.

Цель

Исследование влияния наполнителей на свойства и трибоокислительные процессы композитов на основе ПТФЭ.

Материалы и методы исследований

Объектами исследования выступили полимерные композиционные материалы на основе ПТФЭ марки ПН (ГОСТ 10007–80). В качестве наполнителей использованы оксид алюминия, шпинель магния, природные слоистые силикаты, терморасширенный графит. Физико-механические свойства композитов исследовали с применением стандартных методик (ГОСТ 11262-80) при комнатной температуре и скорости перемещения подвижных захватов 100 мм/мин. Скорость изнашивания и коэффициент трения определяли на машине трения СМЦ-2 (Россия) по схеме трения «вал-втулка», при нагрузке — 0,45 МПа, скорости скольжения — 0,39 м/с (ГОСТ 11629-75).

Для структурных исследований использовались методы РЭМ, ЭДС и ИК-спектроскопии.

Результаты и их обсуждение

Из работы [1] известно, что физическое состояние поверхности трения твердого тела характеризуется наличием определенного состава поверхностных пленок и особенностями структуры поверхностных слоев. В реальных условиях на воздухе все микровыступы и микротрещины почти мгновенно, от сотых до тысячных долей секунды, покрываются оксидными пленками и слоями адсорбированных молекул газов и воды. Совершенно очевидно влияние этих пленок на процессы трения, включающие интенсивную деформацию и неизбежное разрушение трущихся поверхностей. На ИК-спектрах композитов, модифицированных наполнителями, в составе которых содержится металл и подвергнутых трению, в области от 3600 см⁻¹ до 2600 см⁻¹ видно

появление широкой полосы поглощения. Известно, что образование в этой области узких полос поглощения характерно для свободных, не ассоциированных гидроксильных групп спиртов. В работе [2] упоминается, что появление широкой полосы поглощения в областях, характерных для колебания связи ОН-группы, связано с образованием ассоциатов или «водородной связи хелатного типа». Т.е., в любом из этих случаев данные полосы свидетельствуют об образовании промежуточного продукта окисления углеродной цепи. Карбонильные и карбоксильные соединения, являющиеся следующими продуктами окисления углеводов, вследствие малой устойчивости в дальнейшем могут образовать соли карбоновых кислот с участием катионов металлов наполнителей или контртела. Доказательством этого выступают 2 характерных пика, обнаруживаемые в области 1680—1400 см⁻¹ в ИК-спектрах всех композитов, модифицированных наполнителями, содержащими в своем составе металлы. В работе [2] отмечается, что соли карбоновых кислот, имеющие ионное строение, характеризуются наличием двух интенсивных полос поглощения при 1680—1610 см⁻¹ и 1400—1300 см⁻¹, отвечающих антисимметричному и симметричному колебаниям двух равноценных связей С=О. Следует отметить, что композиты, модифицированные наполнителями, не содержащими в своем составе металл, не обнаруживают дополнительных полос в указанных областях.

Заключение

На основании анализа ИК-спектров ПТФЭ, модифицированного наполнителями различной природы, содержания и дисперсности выявлено, что процессы структурообразования (сшивки), конкурирующие с процессами деструкции, протекают через стадию образования карбоксилат-анионов. Показано, что наличие металлов в составе наполнителей способствует инициации трибоокислительных процессов, а затем их ингибированию, предопределяя процессы структурообразования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по Государственному заданию № 11.512.2014/К.

1. Машков Ю.К. Трибофизика металлов и полимеров. — Омск: Изд-во ОмГТУ. — 2013
2. Казицына Л.А., Куплетская Н.Б. Применение УФ-, ИК- и ЯМР спектроскопии в органической химии. — М.: Высшая школа. — 1971

КОМБИНИРОВАННАЯ ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННАЯ АБЛЯЦИЯ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

Е.М. Толстопятов

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

В работах [1, 2] сообщалось об обнаруженном влиянии электрического разряда в среде газообразных продуктов лазерной абляции политетрафторэтилена (ПТФЭ) на процесс образования волокнистых продуктов. Однако получить количественные данные и установить механизм этого эффекта не удалось из-за недостаточной воспроизводимости и стабильности пространственной локализации активной зоны плазмы.

Целью настоящего исследования является получение количественных данных о влиянии разрядной плазмы на процесс лазерной абляции ПТФЭ.

Для стабилизации пространственного положения активной зоны разряда был использован источник высокого напряжения с высоким внутренним сопротивлением с симметричным выходом. Кроме этого, лазерно-плазменный блок в целом собран в виде осесимметричной конструкции, минимизирующей нестабильность зоны разряда.

В качестве мишени взяты образцы промышленного полимера двух партий, различающиеся выходом волокнистой фракции в безразрядном режиме абляции (I — 10 и II — 15%). Предварительно в закрытой вакуумированной камере создавалась газовая среда с давлением, равным давлению в установившемся режиме абляции при непрерывной откачке, путём разложения вспомогательной мишени. Время облучения лазерным лучом мощностью 45 Вт составляло 30 с; при этом откачка камеры началась синхронно с подачей лазерного излучения на основную мишень и высокого напряжения на электроды.

На рисунке приведена зависимость параметров абляции образца I от тока разряда для одного из вариантов электродной системы. Из этих данных следует, что воздействие плазмы оказывает существенное влияние на выход волокнистой фракции, не изменяя интенсивности выделения газа. Интегральная скорость абляции изменяется только за счёт вариации вклада волокнистой фракции. Дополнительные эксперименты с полимером разных партий, а также с различной геометрией электродной системы, переменным и постоянным токами, показали, что характер и количественные параметры влияния плазмы могут быть различными. Положение максимума волокнообразования на токовой шкале и его величина могут изменяться, вплоть до полного его отсутствия. Необходимо отметить, что начальная часть графика с максимумом подобна ходу зависимости выхода волокнистых продуктов лазерной абляции ПТФЭ от дозы предварительного γ -облучения [2].

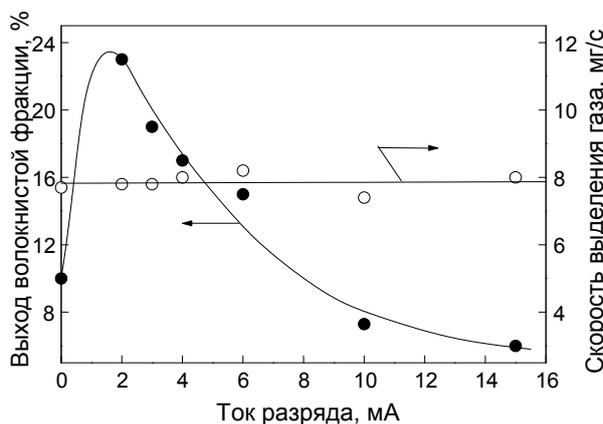


Рис. Зависимость выхода волокнистой фракции и скорости выделения газа при абляции образца I

Полученные образцы волокнистого полимера и материала поверхностного слоя кратера абляции проанализированы на ИК спектрометре и электронном микроскопе.

ИК спектры материала волокон, полученные при разных токах разряда, полностью совпадают между собой и со спектром исходного полимера. В то же время морфология поверхности кратера абляции зависит от тока разряда, что свидетельствует о некоторых различиях в свойствах полимера поверхностного слоя, модифицированного комбинированным воздействием лазерного излучения и плазмы различной интенсивности. Характер поверхности кратера абляции при больших токах разряда соответствует состоянию полимера с пониженной молекулярной массой.

Для объяснения наблюдаемого явления предложена гипотеза термохимического модифицирования поверхностного слоя облучаемого лазером полимера совместным действием генерируемых в нём активных продуктов деструкции ПТФЭ и диффундирующих в объём слоя продуктов плазмолиза тетрафторэтилена. В результате этих процессов изменяются реологические свойства поверхностного слоя кратера абляции и, как следствие, способность его к газодинамической вытяжке в струи, отверждающиеся в виде волокон.

1. Толстопятов Е.М., Гракович П.Н., Иванов Л.Ф., Рябенко И.Л. О механизме образования волокон при лазерной абляции политетрафторэтилена // Вопросы химии и хим. технол. — 2002, № 2, 128—131
2. Гракович П.Н., Иванов Л.Ф., Калинин Л.А., Рябенко И.Л., Толстопятов Е.М., Красовский А.М. Лазерная абляция политетрафторэтилена // Рос. хим. журнал. — 2008, (LII), № 3, 97—105

НАНОВОЛОКНА КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ НАПОЛНИТЕЛЬ ПТФЭ

А.Г. Аргунова

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия; ag_argunova@mail.ru

Введение

К настоящему времени накоплен значительный экспериментальный материал, отражающий влияние структурно-фазового состояния и параметров надмолекулярной структуры на свойства многокомпонентных систем на основе ПТФЭ, содержащих волокнистые и дисперсные наполнители. Дальнейшее развитие исследований в этом направлении связано с установлением закономерностей структурообразования в полимерах, модифицированных нановолокнами для реализации более устойчивой в условиях жесткого фрикционного взаимодействия системы. В связи с этим, исследование влияния нановолокон различного состава на свойства полимерных композитов является актуальной задачей материаловедения.

Цель

Целью работы являлось исследование действия наполнителей, содержащих нановолокна различной природы на свойства композиционных материалов на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ).

Материалы и методы исследований

В качестве наполнителей применялись наноструктурные волокна оксида алюминия с размерами зерен 9—11 нм (γ -фаза) и 40—50 нм (α -фаза), а также углеродные наномодифицированные волокна марки УКН-М, представляющие собой углеродные микроволокна с наращенными на них нановолокнами (диаметр 20—50 нм). В качестве полимерной матрицы использовался ПТФЭ (ГОСТ 10007-80).

Физико-механические характеристики композитов определяли согласно ГОСТ 11262-80 на универсальной разрывной машине UTS-2. Триботехнические характеристики (коэффициент трения, массовую скорость изнашивания) определяли на машинах трения СМЦ-2 (схема трения «вал—втулка», нагрузка — 100 Н, скорость скольжения — 0,39 м/с, путь трения 7—10 км) (ГОСТ 11629).

Результаты и их обсуждение

Необходимо акцентировать внимание на свойствах формирующихся нанокомпозитов. В табл. 1 приведены деформационно-прочностные и триботехнические характеристики композитов, наполненных нановолокнами.

Из табл. 1 видно, что при наполнении ПТФЭ нановолокнами оксида алюминия деформационно-прочностные характеристики композитов остаются на высоком уровне, характерном для ненаполненного ПТФЭ, а в случае с использованием волокон γ -фазы, прочность увеличивается на 10%.

Таблица 1. Деформационно-прочностные и триботехнические характеристики ПТФЭ, модифицированного наноразмерными порошками оксида алюминия

Композиция	σ_p , МПа	ϵ_p , %	I , мг/ч
ПТФЭ	19—20	300—320	75,0
ПТФЭ + 1% γ -Al ₂ O ₃	21—22	310—320	1,8
ПТФЭ + 2% γ -Al ₂ O ₃	21—22	300—310	0,5
ПТФЭ + 5% γ -Al ₂ O ₃	17—19	270—290	0,4
ПТФЭ + 1% α -Al ₂ O ₃	19—20	270—280	11,0
ПТФЭ + 2% α -Al ₂ O ₃	18—19	250—260	2,1
ПТФЭ + 5% α -Al ₂ O ₃	17—19	250—260	1,0
ПТФЭ + 1% УКН	15—17	150—170	1,0
ПТФЭ + 2% УКН	16—18	180—200	0,3
ПТФЭ + 5% УКН	15—17	120—130	0,1

Примечание. σ_p — прочность при растяжении, МПа; ϵ_p — относительное удлинение при разрыве, %; I — скорость массового изнашивания

Армирующая способность коротких волокон весьма невысока. расположение коротких волокон в объеме материала скорее хаотичная. При использовании нановолокон возможность передачи напряжения от матрицы к наполнителю снижается и его вклад в увеличении прочности композита начинает конкурировать со снижением прочности матрицы из-за возникающей неравномерности напряжений и развития дефектов. Из-за этого прочность таких композитов не увеличивается по сравнению с прочностью матрицы (а в случае использования углеродных наномодифицированных волокон даже несколько снижается).

Однако триботехнические характеристики таких композитов значительно улучшаются. Так, при использовании нановолокон оксида алюминия, скорость массового изнашивания (I) уменьшается в 100—200 раз по сравнению с ПТФЭ, а использование углеродного волокна УКН снижает I в 500-700 раз. Это очевидно связано с пластифицирующей ролью частиц нановолокон в трибологических процессах, облегчающей ориентацию макромолекул ПТФЭ по направлению скольжения.

Преимущество нановолокнистых наполнителей определяется также возможностью высокоскоростной переработки материалов в изделия.

Таким образом, наполнители, содержащие нановолокна являются перспективными для создания антифрикционных композиционных полимерных материалов, отличающихся высокой износостойкостью. А исследование структурных характеристик подобных нанокомпозитов является интересной задачей для дальнейшего изучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта «Научно-образовательный фонд поддержки молодых ученых Республики Саха (Якутия)» 201302010133.

ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПТФЭ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

А.Г. Аргунова

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия; ag_argunova@mail.ru

Введение

Инновационное развитие Арктической зоны Российской Федерации подразумевает использование в технике материалов, способных выдерживать большие амплитуды температурных перепадов и высокие нагрузки при отрицательных температурах.

Выпускаемые отечественной промышленностью полимерные композиционные материалы (ПКМ) на основе ПТФЭ, хотя и имеют более высокую износостойкость, характеризуются недостаточной эластичностью и прочностью, что снижает их эффективность и работоспособность в качестве герметизаторов при отрицательных температурах. Применение нанонаполненных композитов является актуальным решением этой проблемы.

Цель

Проведены исследования релаксационных свойств композиционных материалов на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) и наноксидов алюминия с целью прогнозирования поведения свойств нанокomпозиционного материала при работе в условиях отрицательных температур.

Материалы и методы исследований

Объектами исследования являлись ПТФЭ (ГОСТ 10007–80) и нанокomпозиты на его основе, наполненные наноструктурными оксидами алюминия с размерами зерен 9—11 нм.

Экспериментальные исследования по растяжению образцов проводили на испытательной машине «UTS-2» (Германия) в диапазоне температур от –40 до +20 °С. Образцы термостатировали в температурной камере «Noske-Kaeser» в течение 60 мин.

Результаты и их обсуждение

При оценке характеристик полимерных материалов необходимо исследовать их релаксационные свойства, позволяющие прогнозировать работоспособность изделий из этих материалов в тех или иных условиях эксплуатации, в том числе при отрицательных температурах.

Наиболее распространенными способами математического описания релаксационных свойств полимерных композитов являются два: с помощью спектров времени релаксации и изменениями в релаксирующих напряжениях, описываемых уравнением Кольрауша. Спектром времен релаксации можно отобразить любой сложный процесс, однако метод требует трудоемкого расчета.

Уравнение Кольрауша довольно точно описывает релаксацию напряжения в полимерах:

$$\sigma(t) = \sigma_{\infty} + \sigma_0 \exp(-at^k),$$

где $\sigma(t)$ — напряжение в момент t ; $\sigma_{\infty} = E_{\infty}\epsilon$ — равновесное напряжение; $\sigma_0 = E_0\epsilon$ — релаксирующая часть напряжения; a, k — константы, причем $a = 1/\tau^k$ (τ — время релаксации).

Экспериментально не удалось установить какой-либо определенной зависимости параметров от температуры и условий деформирования, но в ряде случаев они зависят от длительности испытания. В эксперименте использованы различные уровни деформации от 0,82 до 1,15% при температурах от 23 до –40 °С. Как видно из рис.1, наблюдается снижение значения остаточного напряжения нанокomпозита при температуре ниже 0 °С по сравнению с ПТФЭ. При температуре –40 °С значение остаточного напряжения у ПКМ становится в 1,5 раза ниже.

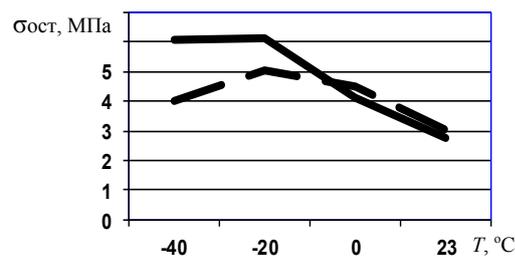


Рис. 1. Зависимость остаточного напряжения от температуры: — ПТФЭ, - - - ПТФЭ + Al₂O₃

Как правило, охрупчивающие факторы (в том числе понижение температуры) усиливают влияние остаточного напряжения. Однако нанокomпозиты проявляют себя как пластичный материал даже при резко отрицательных температурах, а следовательно не теряет своих герметизирующих свойств.

Нетипичные для композитов данные получены при исследовании триботехнических свойств. Установлено, что при отрицательных температурах (–40 °С) скорость массового изнашивания (I) нанокomпозитов уменьшается в 8—9 раз по сравнению с I при комнатной температуре (+23 °С). В то время как для композитов с цеолитами, базальтовым волокном, шпинелями магния и др. наполнителями I при отрицательных температурах увеличивается. Очевидно, это связано с трибохимическими процессами, протекающими на поверхностях трения нанокomпозитов. Это позволит повысить работоспособность и долговечность изделий из разработанного материала, в том числе при эксплуатации в узлах трения в северных регионах РФ.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта «Научно-образовательный фонд поддержки молодых ученых Республики Саха (Якутия)» 201302010133

ОСОБЕННОСТИ МЕЖФАЗНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В КОМПОЗИТЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕН — СЛОИ ГРАФЕНА

О.В. Кропотин, С.С. Акименко, В.А. Горбунов,
П.В. Стищенко, В.Ф. Фелелов, Ю.К. Машков

Омский государственный технический университет, Омск, Россия; kropotin@mail.ru

Введение

Углеродные наполнители широко применяются при создании антифрикционных композиционных материалов на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) и характеризуются как структурно активные. Влияние наполнителя на структуру и свойства матрицы реализуется посредством межфазного взаимодействия.

Материалы и методы исследований

Исследование особенностей межфазного взаимодействия в ПТФЭ-композитах с углеродными наполнителями проводилось с использованием метода молекулярной динамики и методики построения модельной системы, представленной в работе [1]. Моделируемый композит представлял собой параллелепипед с размерами $38,69 \times 37,69 \times 100 \text{ \AA}^3$ с периодическими граничными условиями. В качестве модели углеродного наполнителя использовались три слоя графена, полимерная фаза состояла из 42-х молекул ПТФЭ $(C_2F_4)_{40}$. Для описания межмолекулярного взаимодействия в NVT-ансамбле использовался потенциал COMPASS. В качестве параметров, характеризующих межфазное взаимодействие, выбраны плотность ПТФЭ и концентрация атомов.

Результаты исследования

Результат моделирования равновесного состояния модельной системы показан на рис. 1.

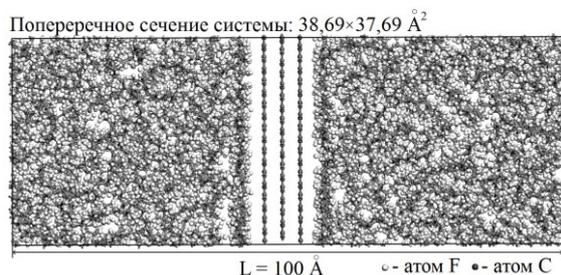


Рис. 1. Модельная система при $T = 300 \text{ K}$

Как следует из рис. 1, молекулы ПТФЭ располагаются на некотором расстоянии от поверхности крайнего из трех слоев графена. Визуально в области межфазной границы отмечается ориентация молекул ПТФЭ вдоль слоев графена, что подтверждается чередованием максимумов концентрации атомов фтора (F) и углерода (C) в матрице вблизи межфазной границы (рис. 2) и представляет собой проявление процессов самоорганизации в полимерной матрице вблизи межфазной границы.

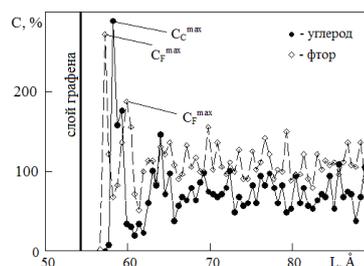


Рис. 2. Зависимость концентрации атомов углерода и фтора от расстояния L для фрагмента модельной системы

Как следует из рис. 3, в окрестности межфазной границы в ПТФЭ формируются межфазные слои, характеризующиеся различными (осциллирующими) значениями плотности. Ориентация макромолекул ПТФЭ вдоль слоев графена определяет осцилляции плотности ПТФЭ в интервале L от 56,5 до 58,5 \AA . Наличие более масштабной осцилляции плотности в интервале L от 58 до 63 \AA обусловлено другими факторами (в том числе согласно работе [2], массопереносом в полимерной матрице).

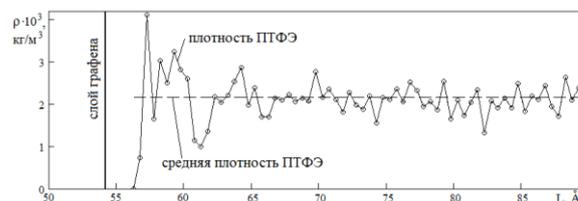


Рис. 3. Зависимость плотности матрицы от расстояния L для фрагмента модельной системы

Установленные особенности межфазного взаимодействия могут быть качественно распространены на ПТФЭ-композиты с углеродными наполнителями, имеющими кристаллическую структуру, близкую к модельной (например, приповерхностный слой частицы графита, содержащий кристаллы, базисные плоскости которых расположены параллельно поверхности частицы).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 14-08-90022).

1. C. Jang, et al. Interfacial Shear Strength of Cured Vinyl Ester Resin-Graphite Nanoplatelet from Molecular Dynamics Simulations // *Polymer*. — 2013 (54), 3282—3289
2. Липатов Ю. С. Коллоидная химия полимеров. — Киев: Наук. думка. — 1985

ПРИВИВОЧНАЯ ФОТОПОЛИМЕРИЗАЦИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ РТУТНЫХ ЛАМП И МОЩНЫХ СВЕТОДИОДОВ

А.А. Горбачев, Л.В. Шкрабатовская, А.В. Данильчик,
Л.К. Приходченко, Е.В. Луценко, О.Н. Третинников

Институт физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь; a.gorbachev@ifanbel.bas-net.by

Фотоиндуцированная прививочная полимеризация — простой, экономичный и экологически чистый способ модификации поверхности материалов функциональными полимерами, получения селективных мембран, сорбентов, биомедицинских материалов, микрожидкостных устройств. Для крупнотоннажных промышленных применений этого способа актуальным является повышение скорости образования привитого полимера.

Скорость фотохимических реакций может быть повышена за счет увеличения интенсивности излучения. До настоящего времени для прививочной фотополимеризации на поверхности использовали УФ излучение ртутных ламп на длине волны 365 нм. Мощность излучения на $\lambda = 365$ нм составляет менее 20% от полной оптической мощности лампы. Почти половина этой мощности теряется на светофильтре, выделяющем данное излучение. В результате, из-за относительно низкой плотности мощности излучения (~ 10 мВт/см²) длительность прививочной фотополимеризации составляет 10—60 мин, что не позволяет проводить процесс в непрерывном («рулонном») режиме. Перспективной альтернативой ртутным лампам, являются мощные УФ светодиоды, появившиеся на рынке буквально в последние годы.

Цель работы — исследование возможностей существенного повышения скорости прививочной фотополимеризации на поверхности за счет использования излучения мощных УФ светодиодов.

УФ-индуцированную прививочную полимеризацию акриловой кислоты (АК) на поверхности пленок полипропилена (ПП) проводили по методу «тонкого слоя», описанной в [1]. Использовали светодиодный УФ излучатель собственного изготовления, дающий излучение на длине волны 365 нм с плотностью мощности до 200 мВт/см² при площади засветки 75 см². Излучение спаренных ртутных ламп ДРТ-400 на 365 нм выделяли полосовым фильтром УФС-6. При этом плотность мощности излучения составляла 12—14 мВт/см². ИК спектры поверхности пленок получали методом ИК спектроскопии НПВО (рис. 1). Количество (G) привитой полиакриловой кислоты (ПАК) определяли из интенсивностей полос поглощения ПАК при 1710 см⁻¹ (A_{1710}) и ПП при 1376 см⁻¹ (A_{1376}) по формуле $G = A_{1710}/(A_{1710} + A_{1376})$.

Использование излучателя на мощных УФ светодиодах позволило получить 6-кратное сокращение

продолжительности процесса прививки, относительно его продолжительности при использовании УФ излучателя на ртутных лампах (рис. 2). Предел повышения плотности мощности излучения, после которого скорость реакции перестает увеличиваться, не был достигнут. Можно ожидать дальнейшего увеличения скорости реакции при использовании еще более мощного излучения.

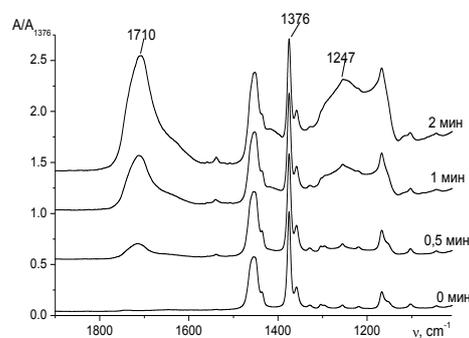


Рис. 1. ИК спектры НПВО исходной пленки ПП и пленок ПП, модифицированных прививочной фотополимеризацией АК при плотности мощности излучения светодиодного УФ излучателя 193 мВт/см². Время реакции указано на рисунках.

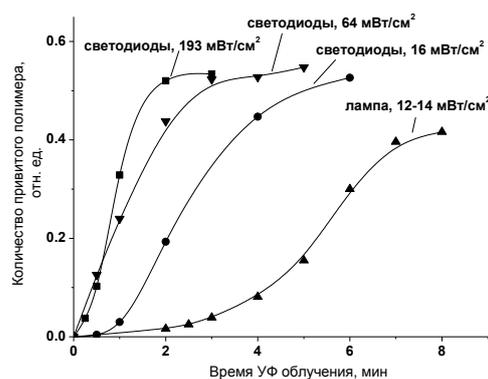


Рис. 2. Зависимость количества привитого полимера от времени УФ облучения ламповым источником и светодиодным источником при разных плотностях мощности излучения.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке БРФФИ (проект X15M-062).

- Третинников О.Н., Приходченко Л.К., Шкрабатовская Л.В. Фотоиндуцированная прививочная полимеризация акриловой кислоты на поверхности пленок полипропилена из тонкого слоя недеаэрированного водного раствора мономера // Журн. прикл. химии. — 2013 (86), № 10, 1642—1647

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ФТОРОПОЛИМЕРОВ И МОДИФИЦИРОВАННЫХ В ПЛАЗМЕ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН

П.Н. Гракович¹, В.М. Макаренко¹, В.А. Кукареко², В.М. Полховский³,
А.В. Пожарицкий⁴, О.Е. Маскалюнайтэ⁵, В.В. Некрасова⁵, С.Ю. Заболотских⁵

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

²Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск Беларусь

³АОА «СветлогорскХимволокно», Светлогорск, Беларусь

⁴АОА «Гродненский механический завод», Гродно, Беларусь

⁵Институт резины и РТИ ОАО «Уральский завод РТИ», Екатеринбург, Россия

Введение

Развитие работ по созданию опытнопромышленной технологии композиционных материалов на основе фторполимеров и углеродных волокон (УВ), аппретированных сформированным в плазме нанопокрыванием из фторполимера, ставит перед разработчиками новые, ранее не решаемые задачи и открывает новые возможности.

Целью настоящей работы является обсуждение некоторых, весьма важных для материаловедения и технологии композитов на основе фторполимеров, проблем и методов их решения, полученных в ходе выполнения задания Программы Союзного государства «Компомат».

Результаты и их обсуждение

Одним из главных достижений является разработка установки плазмохимической обработки (ПХО) УВ, позволяющая обрабатывать ткани шириной до 650 мм в рулоне диаметром до 300 мм. Её создание позволило снять проблему нехватки мощностей для отработки технологии и наработки опытнопромышленных партий УВ для выпуска композитов и их натурных испытаний.

Также создано и запущено новое измельчительное оборудование, позволяющее получать молотые УВ требуемой дисперсности.

Одной из острейших проблем является разработка экспресс-метода определения эффективности ПХО УВ. Для этого было использовано несколько разных подходов:

А) изготовление модельных композитов из модифицированной углеткани и ПЭ-пленки, а затем определение их механических характеристик, которые коррелируют со смачиваемостью поверхности УВ расплавом ПЭ.

Б) Измерение угла смачивания капли воды на углеткани. Работа потребовала расчета формы капли с учетом гравитации. В результате было показано,

что для вычисления угла смачивания достаточно измерить две из трех величин: максимальный диаметр капли, её высота или диаметр основания. Это существенно облегчило и повысило точность определения угла смачивания.

Разработан и внедрен новый способ экспресс-анализа износостойкости композита, основанный на измерении диаметров пятен износа образцов при испытаниях по схеме «шар—диск» после приработки и испытаний. Обоснованы конкретные величины пути приработки и испытаний.

Разработана методика определения функции распределения УВ по длине после помола, основанная на компьютерной обработке фотографий молотых волокон. Также проверена возможность использования для измерения распределения УВ по длинам метода рассеяния лазерного излучения на диспергированных в жидкости УВ. Создана компьютерная модель измельчения УВ. Показано, что плотность вероятности распределения УВ по длинам является суммой двух функций, одна из которых является экспоненциальной, а область определения второй сосредоточена в узком диапазоне коротких длин. Пересчет результатов на среднемассовые дает два пика — один в области коротких, длиной до 50 мкм УВ, а второй — в области в 3—6 раз более длинных.

Интересные и важные результаты получены при использовании аппретированных фторполимерным нанопокрыванием УВ во фторкаучуках. Резина стала эластичнее, мягче, но прочнее. Существенно улучшились её устойчивость к высокотемпературному (200 °С) старению. В результате износостойкость реальных деталей из опытной резины увеличилась в 3 раза. Предложен механизм влияния слоя фторполимера на УВ, заключающийся в существенном повышении роли ван-дер-ваальсовых сил, в обеспечении взаимодействия матрицы из фторкаучука и наполнителя из модифицированных УВ.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФТОРОПЛАСТА «ГРИФТЕКС» В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ХИРУРГИИ

П.Н. Гракович¹, В.В. Кудло², И.Г. Жук², И.С. Цыдик²

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

²Гродненский государственный медицинский университет, Гродно, Беларусь

Введение

Лазерная технология волокнисто-пористого фторопласта «Грифтекс» позволяет получать уникальный по своей поровой структуре материал. Одной из областей его применения является хирургия, что, в том числе связано с ограниченным количеством методов получения пористых систем из фторопласта-4.

Цель

Оценить результаты применения волокнисто-пористого фторопласта «Грифтекс» в экспериментальной хирургии.

Материалы и методы исследований

Впервые свойства волокнисто-пористого фторопласта «Грифтекс» в экспериментальной хирургии были исследованы при использовании его для пластики мышечного дефекта в качестве каркасного материала (Цыдик, 2006). Исследовался материал разной пористости: высокопористый, по структуре близкий к вате, так относительно низкопористый (типа войлок, пористость около 85%). Исследование иммунной системы свидетельствовало об отсутствии реакции отторжения и деструкции трансплантата. Было доказано отсутствие токсического эффекта со стороны имплантата на обмен веществ в организме. При гистологическом исследовании препаратов на поздних сроках было обнаружено, что протезы полностью восполняли объем утраченных тканей, были не только инкапсулированы, но и внутри полностью прорастали соединительной тканью. При этом степень выраженности прорастания и инкапсуляции зависела от пористости материала. В случаях применения высокопористого материала капсула была более тонкостенной, но и сам протез более интенсивно и в гораздо большей степени прорастал элементами соединительной ткани.

Протезы из «Грифтекс» служили своеобразным матриксом и обеспечивали направленную репаративную регенерацию в области имплантации с восстановлением объема утраченной ткани. Кроме того, высокие интеграционные свойства высокопористого материала позволяли применять его в функционально активных (подвижных) областях.

В последующем материал «Грифтекс» был использован для модифицирования поверхности эластического обтуратора кишечника (Смотрин И.С., 2009). Последние изготавливались из медицинского полиуретана и, в связи с этим, обладали главным недостатком: из-за открыто-ячеистой структуры при

длительном контакте с раневой поверхностью может сопровождаться прорастанием в ячейки волокон соединительной ткани. Данный недостаток удалось устранить нанесением слоя «Грифтекса» толщиной 2 мм. Кроме того, была разработана система фиксации обтуратора в просвете свищевого хода. Углубленные исследования показали, что обтуратор включающий «Грифтекс», не оказывает отрицательного воздействия на общую совокупность метаболических процессов в тканях экспериментальных животных (исследовался пул свободных аминокислот тканей).

Высокая гидрофобность и малая прочность сцепления волокон в материале «Грифтекс» позволили разработать сорбционно-дренажное устройство для гнойных ран и полостей (Ославский А.И., 2011). Оно позволяет организовать локальную санацию гнойника, в т.ч. методами лапороскопии.

В последнее время начаты исследования по изучению влияния «Грифтекс» при его имплантации на раневую поверхность печени (Кудло В.В., 2011). Было выявлено, что волокна коллагена используют матрикс полимера как опору для полного восстановления капсулы органа. В более поздние сроки происходит обрастание материала снаружи (со стороны брюшной полости) и изнутри (со стороны раны печени). Лабораторные исследования показали, что «Грифтекс» при контакте с внутренней средой живой модели не вызывает изменений в показателях общего и биохимического анализов крови, коагулограммы. При микроскопическом исследовании гистологических препаратов обнаружено, что в ткани печени, прилегающей к полимеру, воспалительная реакция носила умеренный характер, структура материала практически не изменялась и отсутствовала его абсорбция. На отдалении от места операции структура печени не отличалась от нормы, рубцовые и цирротические изменения отсутствовали.

Таким образом волокнисто-пористый фторопласт «Грифтекс» является биологически совместимым и инертным материалом, применение которого в экспериментальной хирургии в полной мере обосновано как с целью замещения наружных тканей, так и частей внутренних органов, а так же для временного закрытия полых органов. Данное направление экспериментальной хирургии является перспективным и может способствовать поиску новых способов хирургического лечения заболеваний различных органов и тканей. Результатом работы является создание новых изделий медицинского назначения на основе материала «Грифтекс».

INDUSTRIAL APPLICATION OF VACUUM-DEPOSITED FLUOROPOLYMER FILMS

E. Tolstopyatov¹, K. Grytsenko², O. Belyaev², Yu. Kolomzarov², V. Ksianzou³, S. Schrader³

¹V.A. Belyi Metal Polymer Research Institute of NASB, Gomel, Belarus; etolstopy@mail.ru

²Institute of Semiconductor Physics nam. V.E. Laskaryov, Kyiv, Ukraine; d.grytsenko@gmail.com

³University of Applied Sciences, Wildau, Germany

Various methods were developed in laboratory scale to deposit thin (micro- and nanometer scale) fluoropolymer coatings in vacuum or rarefied gaseous media. Coatings of polytetrafluoroethylene- and polyhexafluoropropylene-like polymers were among the first tested due to outstanding properties of the parent polymers. Some technical characteristics of the deposited coatings are usually somewhat lower than that of the parent polymers, but reproduce them to a great extent, depending on the deposition method used. The perfluoropolymer (PFP) films were deposited using various methods: thermal decomposition, magnetron sputtering, laser ablation of polymers in vacuum; plasma polymerization and hot-wire chemical vapor deposition from gaseous compounds. Partially fluorinated polymer (FP) films were deposited by gas phase methods and wet methods as well, using proper precursors. After tens years of research activity, some of these methods were brought up to industrial applications, others are now in the stage of preparation to practical use. The applications are basing on both traditional functionalities like antifriction and protective coatings in MEMS and other smart devices, as well as high-technology novel ones: barrier, dielectric and protective layers in organic light emitting diodes, organic field effect transistors, sensors; low refractive index layer in optical waveguide, matrix for metal nanoparticles etc.

The main industrial applications of thin PFP films include antifriction, bio-inert and stable protective coatings on medical instruments and devices: stents from stainless steel, needles, nozzles, orifices, sensors, guidewires. Main enterprises, which use automatic robotic lines for PFP coating deposition, are:

– Surface solutions group <http://www.surface-solutionsgroup.com/guidewires/>

– Orinocoat <http://www.orinocoat.com/ptfe-coated-medical/>

– Thierry Corporation <http://www.thierry-corp.com/pecvd-plasma-coating>

– Surface Engineering Associates <http://www.seac1.com/>

– ADZ Nagano <http://www.eurekamagazine.co.uk/design-engineering-news/level-sensors-have-ptfe-coating-for-increased-durability/43812/>

Except medical devices, the PFP coatings deposited on ceramics, rubber, surface of electronic devices and fabric are used now in some branches of industrial production as antifriction, anti-sticking and hydrophobic coatings.

Nanometer scale plasma synthesized PFP coating deposited onto carbon fibers, significantly increases technical characteristics of a composite material based on PTFE. This technology is used now in production of SUPERFLUVIS composite material [1] in MPRI NASB: <http://mpri.org.by/struktura/otdely/otdel-2-fizika-i-mehanika-kompozicionnyh-sistem/kompozicionnye-antifrikcionnye-materialy-gruppy-fluvis.html>.

The PFP coating deposition onto carbon fibers is performed on industrial vacuum facilities, which are operating in semi-automatic mode.

Possibility of promising advanced high-technology applications PFP and FP thin films, filled with metal nanoparticles or/and organic compounds, are being intensively studied. PFP layers filled with silver and gold nanoparticles were tested as biocide coatings and various kinds of plasmonic sensors. Recently dye-filled PFP films were successfully used as laser recording media for super-high density archive information storage and optical reversible media [2—4]. PTFE films, filled with both dye- and metal nanoparticles are using as optical sensors for aggressive compounds [5].

Data on technical characteristics of fluoropolymer and based on it composite coatings as well as features of their deposition with using various methods are cited in the report. The challenging directions of future applications of the various PFP and FP coatings in the industry are discussed.

1. Гракович П.Н., Шелестова В.А., Иванов Л.Ф., Толстопятов Е.М., Жандаров С.Ф., Данченко С.Г., Макаренко В.Г. Плазменно-химическое формирование нанопокровов из фторполимера на поверхности углеродных волокон // Сб. матер. Всерос. конф. «Физика низкотемпературной плазмы» ФНТП-2014 / 20-23 мая 2014 г. Казань. — Казань: Изд-во КНИТУ. — 2014 (2), 283—286
2. Gorbov I.V., Kryuchyn A.A., Grytsenko K.P., Manko D.Yu., Borodin Yu.O. High-Density Data Recording via Laser Thermo-Lithography and Ion-Beam Etching // Semicond. Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. — 2014 (17), no. 1, 52—55
3. Grytsenko K.P., Machulin V.F., Ait A.O., Gorelik A.M., Kobeleva O.I., Valova T.M., Barachevsky V.A. Photochromic Films Prepared by Vacuum Co-Deposition of Polymer and Spiropyran // Optical Memory and Neural Networks. — 2010 (19), no. 3, 254—259
4. Kobeleva, O.I., Valova, T.M., Ait, A.O., Barachevsky, V.A., Grytsenko, K.P., Machulin, V.F., Kravushkin, M.M. Photochromic Properties of Composite Films of Thermally Irreversible Diarylethenes and Fulgimides in Polytetrafluoroethylene Matrix // Semicond. Phys., Quantum Electronics & Optoelectronics. — 2011 (14), no. 4, 441—444
5. Grytsenko K., Schrader S., Detert H. Ultra-Stable Dye-Filled Polytetrafluoroethylene Thin Films // Nanosci. & Technol. — 2014 (1), no. 2, 1—5

ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИД/ОКСИДНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА СПЛАВЕ МАГНИЯ

В.С. Егоркин, И.Е. Вялый, Д.П. Опра, С.Л. Синебрюхов, С.В. Гнеденков

Институт химии Дальневосточного отделения РАН, Владивосток, Россия; egorkin@ich.dvo.ru

Цель

Перспективность магниевых сплавов как конструкционных и функциональных материалов для автомобильной, аэрокосмической и других отраслей промышленности обусловлена их малой удельной плотностью, высокой прочностью, легкостью механической обработки. Основными недостатками, существенно ограничивающими практическое применение магниевых сплавов, являются низкие стойкость к коррозии и износу.

Целью данного исследования являлось разработка способа формирования покрытий, направленных на увеличение защиты сплава магния посредством формирования на его поверхности износостойкого и антикоррозионного полимерсодержащего покрытия.

Материалы и методы исследований

Покрытия формировали посредством сочетания двух методов. Первый — формирование керамикоподобного защитного покрытия методом плазменного электролитического оксидирования (ПЭО) [1]. Второй — формирование на ПЭО-покрытии поливинилиденфторидного (ПВДФ)-слоя методом окунания. ПВДФ-полимер характеризуется высокими антифрикционными свойствами, химической стойкостью и термической стабильностью [2]. Образцы представляли собой прямоугольные пластины размерами 20×30×1,5 мм, изготовленные из магниевых сплавов системы Mg–Mn–Ce (1,5—2,5 мас.% Mn; 0,15—0,35 мас.% Ce; Mg — остальное). Электролит для проведения ПЭО состоял из 15 г/л Na₂SiO₃ и 5 г/л NaF, растворенных в воде. Оксидирование проводили в биполярном режиме. Для формирования ПВДФ/ПЭО-покрытий использовали метод окунания с выдержкой 10 секунд образцов с ПЭО-слоем в раствор ПВДФ-полимера $-(C_2H_2F_2)_n-$. Для получения раствора использовали N-метил-2-пирролидон (C₅H₉NO), в котором размешивали порошок ПВДФ. Затем образцы просушивали при 70 °С.

Измерение толщины покрытий проводили вихревым толщиномером ВТ-201. Фазовый состав поверхностных слоев определяли на рентгеновском дифрактометре D8 Advance (CuK_α-излучение).

Трибологические испытания проводили на автоматизированной машине трения Tribometer (CSM Instruments). Оценка площади поперечного сечения дорожки износа после трибологических испытаний проводили прецизионным контактным профилометром MetekSurtronic 25. Адгезионные свойства по-

верхностных слоев были исследованы методом склерометрии на приборе Revetest Scratch Tester (CSM Instruments). Исследование электрохимических параметров проводили в 3% растворе NaCl методом потенциодинамической поляризации и импедансной спектроскопии с помощью VersaSTAT MC (Princeton Applied Research).

Результаты и их обсуждение

Исходные ПЭО-покрытия содержат в своем составе MgO и Mg₂SiO₄. Толщина сформированных на их основе ПВДФ/ПЭО-покрытий составляет 14±2 мкм.

Однократное нанесение полимера на ПЭО-слой позволяет увеличить износостойкость покрытий почти в 2 раза, повышение кратности до 2—3 раз приводит к увеличению количества циклов истирания до металла (более чем в 25 раз).

Наилучшими адгезионными характеристиками обладают полимерсодержащие ПЭО-покрытия, сформированные трехкратным нанесением полимера.

Анализ электрохимических параметров показал, что трехкратное нанесение ПВДФ на ПЭО-покрытия более чем на 4 порядка уменьшает токи свободной коррозии (до 6,0·10⁻⁹ А·см⁻²) по сравнению со сплавом без покрытия (3,3·10⁻⁵ А·см⁻²).

Установлено, что ПВДФ/ПЭО-покрытие обладает антифрикционными свойствами, снижая коэффициент трения до значений 0,30±0,06, что существенно ниже по сравнению с базовым ПЭО-слоем (0,65±0,03).

В результате проведенных исследований разработан метод формирования антикоррозионного композиционного полимерсодержащего покрытия на поверхности сплава магния, предварительно обработанного методом ПЭО. Показано, что при трехкратном нанесении ПВДФ на поверхность ПЭО-покрытия значительно улучшаются антикоррозионные и антифрикционные свойства.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (№ 14-33-00009) и Правительства РФ (Федерального агентства научных организаций).

1. Gnedkov S.V., et al. PEO Coatings Obtained on an Mg-Mn Type Alloy under Unipolar and Bipolar Modes in Silicate-Containing Electrolytes // Surf. Coat. Technol. — 2010 (204), 2316—2322
2. Liu F., et al. // J. Membrane Sci. — 2011 (375), 1—27

ЛАЗЕРНАЯ АБЛЯЦИЯ РАДИАЦИОННО МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА

Л.А. Калинин¹, С.Р. Аллаяров²

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь;
K1an@mail.ru

²Институт проблем химической физики РАН, Московская обл., Черноголовка, Россия; sadush@icp.ac.ru

В последние годы интерес к абляции полимеров лазерным излучением возрос, что стимулировано наметившимися перспективами практического использования этого метода и получаемых полимерных продуктов. Накопленные результаты позволяют углубить научные представления о физико- и термохимических процессах, протекающих при воздействии излучений на полимеры, а также об общих механизмах деструкции полимеров [1].

Целью данной работы являлось исследование процесса лазерной абляции поливинилиденфторида (ПВДФ) предварительно модифицированного гамма-радиацией на воздухе, под действием излучения непрерывного CO₂-лазера в вакууме.

В качестве объектов исследования использовали серийно выпускаемые фторопласты марок Ф-2, модифицированного разными дозами гамма-радиации, что приводило к образованию значительного количества сшивок и неопределённых связей.

Протекание процесса лазерной абляции сравнивали по нескольким параметрам: время латентного периода, образование газообразных продуктов, образование углеродного материала в кратере абляции, форма и размер частиц уносимых из кратера абляции, скорость разрушения материала.

Лазерное облучение проводили с использованием непрерывного многомодового CO₂-лазера и модернизированной камеры ВУП-4М.

Определение скорости разрушения материала

производили гравиметрическим методом, исследование продуктов абляции при помощи Фурье ИК-спектрометра и электронной микроскопии.

Проведенные исследования показали, что изменение дозы гамма-радиации значительно изменяет общую картину процесса лазерной абляции. Так с увеличением дозы гамма-радиации скорость абляции уменьшается, что можно объяснить образованием значительного количества углерода в зоне абляции и экранировании подлежащих слоёв полимера углеродом. Анализ материала унесённого из зоны абляции показал что, при небольших дозах радиации наблюдаются достаточно крупные частицы, а с повышением дозы гамма-радиации более мелкие, часть которых синтезировалась из газовой фазы.

Анализ химического состава части не выявил особых отклонений.

Полученные экспериментальные данные подтверждают влияние гамма-радиации на лазерную абляцию ПВДФ, и позволяют дополнить существующую модель лазерной абляции полимера.

Работа выполнена при поддержке Института проблем химической физики Российской академии наук, 14232, Московская обл., Черноголовка.

1. Ольхов Ю.А., Аллаяров С.Р., Толстопятов Е.М., Гракович П.Н., Калинин Л.А., Добровольский Ю.А., Диксон Д.А. Влияние непрерывного излучения CO₂-лазера на термические и молекулярно топологические свойства политетрафторэтилена // Химия высоких энергий. — 2010 (44), № 1, 65—77

АДГЕЗИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ ХОЛОДНОГО ОТВЕРЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ ФТОРКАУЧУКОВ

Е.В. Савина, В.И. Пурцеладзе, Г.А. Емельянов

Ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени Научно-исследовательский институт синтетического каучука им. акад. С.В. Лебедева, Санкт-Петербург, Россия; savinaev91@gmail.com

Введение

Потребность в термоагрессивостойких материалах с высокой адгезией для ответственных областей техники стимулирует исследование и создание новых улучшенных материалов, а также выявляет необходимость более подробного изучения научных аспектов материаловедения. Весьма перспективным является использование покрытий на основе фторорганических каучуков, поскольку они обладают рядом ценных свойств, в частности, высокими химической и механической прочностью, термостойкостью, низкой паропроницаемостью, повышенной стойкостью к атмосферным воздействиям, кислороду, озону и солнечному свету; огнестойкостью [1]. Однако возможности применения подобных покрытий ограничивают недостаточно высокая адгезия и необходимость высокотемпературной вулканизации.

Цель

В связи с вышеизложенным, была предпринята попытка устранить недостатки рецептур покрытий на основе фторированных каучуков (ФК) без потери основных свойств путем создания композиций, способных отверждаться при комнатной температуре, при этом имеющих высокую адгезию к субстрату.

Материалы и методы исследований

В качестве основы при создании материала использовался фторкаучук СКФ-26 — сополимер винилиденфторида и гексафторпропилена, который широко известен как основа для создания термоагрессивостойких покрытий и герметиков [2, 3].

Для улучшения адгезии композита были исследованы галогенированные каучуки (ГК) различной природы. ГК отличаются высокой адгезией к тканям и металлам и в настоящее время широко применяются для производства клеев и лаков. Кроме того, галогенированные каучуки обладают превосходной устойчивостью к биокоррозии, что позволяет использовать их как компоненты систем для защиты от «обрастания» в водных средах.

Исследовались композиции с различным процентным соотношением ГК и СКФ-26. В качестве отвердителя использовался γ -аминопропилтриэтоксисилан (АГМ-9). Были проведены исследования, подтверждающие предполагаемую структуру получаемых покрытий, а также характеризующие физико-механические и физико-химические свой-

ства композиций.

Результаты и их обсуждения

В ходе разработки рецептуры особое внимание уделялось механизму взаимодействия аминных отвердителей с галогенированным каучуком. Для достижения поставленных целей необходимо было создать материал, компоненты которого образуют единую пространственно-сшитую систему (структура «сетка в сетке») [4]. На основании результатов ИК-спектроскопии, а также косвенных признаков (изменение окраски раствора и пленки), были получены данные, подтверждающие гипотезу о дегидрогалогенировании исходного ГК. Результаты испытаний конечных композиций ФК-ГК на стойкость в галогенированных растворителях также показали, что при добавлении менее 20 мас.% АГМ-9 в композицию набухание образца составляет не более 2%. Это может свидетельствовать об образовании пространственно-сшитой системы.

Испытания термостойкости показали, что присутствие в структуре «сшитого» СКФ-26 сетки ГК не оказывает влияния на термостойкость фторкаучука и полученные композиции имеют аналогичные температурные показатели разложения с исходным фторкаучуком.

Физико-механические испытания образцов изучаемых композиций позволили определить предел содержания ГК в композиции. Так при содержании 15—25 мас.% галогенированного каучука прочность и эластичность пленки соотносится с аналогичными показателями для покрытий на основе фторкаучука; дальнейшее увеличение содержания ГК по отношению к СКФ-26 негативно сказывается как на прочностных показателях покрытия, так и на адгезии сдвига. Показано, что при содержании ГК не более 25 мас.% по отношению к ФК, происходит увеличение адгезии покрытия к металлу более чем на 150%; при содержании ГК выше 40 мас.% возрастание адгезионной прочности не столь значительно и составляет не более 45%.

1. Кондрашов Э.К., Владимирский В.Н., Бейдер Э.Я. Эрозионностойкие лакокрасочные покрытия. — М.: Химия. — 1989
2. Патент РФ № 2074199
3. Патент РФ № 2540619
4. Гинзбург Л.В., Польсман Г.С. и др. Исследование механизма взаимодействия хлорсодержащих полимеров с полидиенами в присутствии аминов // Высокомолекулярные соединения. Сер. А. — 1972 (XIV), № 8, 1667

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПТФЭ

М.Ю. Целуев, В.А. Шелестова

Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, tseluev@gmail.com

Постановка задачи

Эффективным способом повышения эксплуатационных свойств политетрафторэтилена (ПТФЭ) является создание композиционных материалов (КМ) на его основе, наполненных порошкообразными и волокнистыми компонентами. Предварительная плазменно-химическая обработка (ПХО) с целью получения на поверхности наполнителя фторполимерного покрытия позволяет дополнительно повысить физико-механические характеристики КМ за счет улучшения адгезионной связи частиц наполнителя с матричным полимером [1].

Цель — изучение влияния концентрации углеродных волокон (УВ), прошедших ПХО, и дисульфида молибдена (ДМ) на физико-механические характеристики КМ на основе ПТФЭ.

Материалы и методы исследований

ПХО углеродной ленты (УЛ) осуществляли на установке УВН, оснащенной генератором низкотемпературной плазмы и механизмом перемотки УЛ, по технологии, описанной в [2]. В качестве плазмообразующего газа использовали октафторциклобутан. ПХО обеспечивала получение на поверхности волокон УЛ тонкой (60...70 нм) фторполимерной пленки с высоким сродством к ПТФЭ [3]. КМ на основе ПТФЭ, содержащие 20...30 мас.% УВ, 0...5 мас.% ДМ и 0,5 мас.% графита (Г), получали на Гродненском механическом заводе по промышленной технологии, включающей измельчение УЛ на дисмембраторе, механическое сухое смешение компонентов, холодное брикетирование пресс-массы, спекание брикетов и др. [1].

Плотность образцов определяли методом гидростатического взвешивания по ГОСТ 15139–69 на аналитических весах GX-1000, оснащенных комплектом GX-13. Твердость образцов исследовали методом Бринелля на твердомере ТР 5006 с учетом рекомендаций ГОСТ 9012–59 и ГОСТ 4670–91. Модуль упругости и условное напряжение при 5%-ой относительной деформации изучали методом сжатия образцов между плоскопараллельными стальными плитами на универсальной испытательной машине Instron 5567 согласно ГОСТ 4651–82 и ГОСТ 9550–81. Коэффициент линейного термического расширения (КЛТР) КМ определяли на dilatометре DIL 801L по ГОСТ 15173–70. Математическую обработку результатов эксперимента выполняли методами математической статистики.

Результаты и их обсуждение

Результаты исследования показали, что величина плотности исследованных КМ находится в интервале 1645...2007 кг/м³, модуля упругости — 247...773 МПа, сопротивления сжатию — 7...21 МПа. Установлено, что уровень перечисленных физико-механических характеристик КМ практически линейно снижается при увеличении содержания УВ и повышается с ростом концентрации ДМ. Твердость образцов из КМ составила 43...78 МПа. Этот параметр находится в нелинейной зависимости от концентрации наполнителя и принимает максимальное значение для КМ состава ПТФЭ-Г-УВ при содержании УВ порядка 30 мас.%, а для КМ ПТФЭ-Г-УВ-ДМ (5 мас.%) — 25 мас.% УВ.

Математическая обработка экспериментальных данных позволила установить регрессионную зависимость плотности КМ от содержания (мас.%) УВ C_1 и ДМ C_2 :

$$\rho = 2289,8 - 21,7 C_1 + 73,86 C_2 - 1,629 C_1 C_2, (1)$$

модуля упругости КМ:

$$E = 1263,1 - 34,35 C_1 + 186,05 C_2 - 5,929 C_1 C_2, (2)$$

напряжения сжатия при 5%-ой деформации КМ:

$$\sigma_{0,05} = 38,8 - 1,07 C_1 + 3,08 C_2 - 0,086 C_1 C_2. (3)$$

Выражения (1)–(3) аппроксимируют экспериментальные данные с относительной погрешностью, не превышающей 10%, и могут быть использованы при выборе состава КМ с заданным уровнем физико-механических характеристик.

На зависимостях КЛТР КМ от температуры присутствует острый пик в интервале 19...21 °С, что связано с фазовым переходом в ПТФЭ. Величина КЛТР в интервале температур 50...250 °С составила $(6...33) \cdot 10^{-5} K^{-1}$, наблюдается монотонный рост КЛТР при увеличении температуры КМ свыше 50 °С.

1. Шелестова В.А., Гракович П.Н., Данченко С.Г. Композит Суперфлувис и его применение в узлах трения // Вопросы материаловедения. — 2012, № 4, 210—216
2. Шелестова В.А. Плазменное нанесение фторполимерного покрытия на углеродные волокна для улучшения свойств фторопластовых композитов // Материалы. Технологии. Инструменты. — 2010 (15), № 2, 39—51
3. Шелестова В.А., Жандаров С.Ф., Данченко С.Г., Гракович П.Н. Модифицирование поверхности углеродных волокон фторполимером в низкотемпературной плазме // Физика и химия обработки материалов. — 2014, № 4, 12—19

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ УГЛЕРОДНЫХ ТКАНЕЙ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФТОРОПЛАСТОВЫХ КОМПОЗИТОВ

В.А. Шелестова¹, М.Ю. Целуев¹, И.В. Коваль¹, М.В. Полховский²

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, sheles_v@mail.ru

²ОАО СветлогорскХимволокно, Светлогорск, Беларусь

В области разработки композиционных материалов на основе фторопласта-4 (Ф-4) и углеродных волокон (УВ) важной задачей является изучение влияния на комплекс свойств данных композитов особенностей исходных компонентов.

Для наполнения Ф-4 применяются дискретные УВ, полученные измельчением углеродных тканых материалов разных типов и марок, которые существенно отличаются по свойствам. При производстве углеродных материалов на ОАО «СветлогорскХимволокно» их свойства могут варьироваться различными технологическими приемами: составом и режимами пропитки и сушки, температурой термообработки, степенью крутки нитей, видом плетения тканей и др. В свою очередь, характеристики тканей могут оказывать влияние на процессы их плазмохимической обработки (ПХО) и измельчения и, соответственно, на свойства наполняемых ими композитов.

Целью работы являлось изучение влияния некоторых свойств углеродных материалов на характеристики фторопластовых композитов. Работа выполнялась в рамках контракта ЮВК-2012-5.

Образцы углеродных материалов получены на ОАО «СветлогорскХимволокно», модифицированы методом ПХО в среде октафторциклобутана. Далее углеродные материалы измельчены на промышленном оборудовании ОАО «Гродненский механический завод». УВ различного фракционного состава получены рассеиванием их на ситах и использованы для получения образцов композитов на ОАО «Гродненский механический завод» из порошка Ф-4 марки ПН 90.

Характеристики углеродных материалов определены по методикам производственной лаборатории ОАО «СветлогорскХимволокно», упруго-прочностные свойства композитов — на универсальной испытательной машине Instron 5567, коэффициент термического линейного расширения (КТЛР) композитов — на dilatометре DIL801L в интервале температур $-20...+250$ °С.

Установлено влияние на фракционный состав и насыпную плотность измельченных УВ свойств исходных углеродных тканей, полученных при варьировании параметров технологического процесса, а также влияние ПХО. Зависимость насыпной плотности измельченных УВ от величины удельной по-

верхности волокон имеет минимум. После ПХО УВ характер влияния этого параметра на насыпную плотность меняется на противоположный. ПХО приводит к повышению способности углеродных волокон к измельчению, вероятно, за счет травления поверхности УВ фтором.

Изучены зависимости физико-механических свойств фторопластовых композитов от насыпной плотности и фракционного состава УВ и определены интервалы оптимальных значений насыпной плотности для модифицированных и исходных УВ, которые составили 300...450 и 300—350 кг/м³ соответственно. Показано, что ПХО приводит к стабилизации значений насыпной плотности УВ, уменьшению влияния на фракционный состав УВ свойств исходных углеродных материалов.

Изучено влияние фракционного состава измельченных модифицированных УВ на физико-механические свойства наполненного ими Ф-4. Показано, что несколько выше физико-механические характеристики для образцов с размером УВ 40...100 мкм в сравнении с образцами на основе УВ размером 2...40 мкм или 100...200 мкм. Значения КТЛР повышаются при увеличении длины УВ, наполняющих Ф-4.

Эффективность ПХО углеродной ткани определяется также ее текстильной структурой. С точки зрения формирования нанопокрытия из фтороплимера на поверхности всех моноволокон комплексной нити предпочтительно использовать углетенты марки ЛО-1 или углеткани типа Т-1 и Т-0,5.

Проведены исследования по оптимизации конечной температуры термообработки ($T_{обр}$) углеткани. Углеродные волокна разного класса (с разной $T_{обр}$) существенно отличаются по свойствам. Карбонизированные волокна класса 12 ($T_{обр} = 1200$ °С) содержат 75% углерода, имеют высокие влажность (до 15%), и электрическое сопротивление. С увеличением $T_{обр}$ более 1500 °С повышаются прочность элементарного волокна на 20—30%, содержание углерода выше 98%, снижаются влажность и электрическое сопротивление. Упруго-прочностные свойства и плотность композитов из УВ разного класса проявляют нелинейную зависимость от $T_{обр}$, а КТЛР отличается для них незначительно.

EFFECT OF MECHANICAL ACTIVATION OF MATRIX POLYTETRAFLUOROETHYLENE ON ITS STRUCTURE AND PROPERTIES

K.V. Berladir¹, A.F. Budnik², P.V. Rudenko², O.A. Budnik³

¹National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine; berladirkristina@yandex.ua

²Sumy State University, Sumy, Ukraine

³Belgorod State Technological University of V. Shukhov, Belgorod, Russia

Purpose

The purpose of the research was to develop scientifically grounded foundations of the influence of mechanical activation PTFE matrix on its supramolecular structure and performance characteristics.

Materials and methods

The object of the research is PTFE of F-4-PN brand (GOST 10007).

Structures of the powdered polytetrafluoroethylene (PTFE) before and after intensive mechanical activation (mechanical alloying) are investigated by the set of physical research methods (electronic microscopy, differential thermal analysis (DTA) and thermography (TG), diffraction, IR spectroscopy).

Results and discussion

Activation of PTFE powder was performed on MRP-1M mill with various rotation speed of working members in the interval of $n = (5-9) \cdot 10^3$ minutes⁻¹ and during experimentally determined time interval of $\tau = (3-8)$ minutes.

Results of thermographic analysis of the samples of materials show that PTFE mechanical activation increases macromolecule rigidity, leading to an increase in the thermal resistance of a modified polymer on 20—80 °C. This is due to the presence of phases with different thermal resistance due to their different molecular weight.

In the structure of PTFE samples after mechanical activation, lentil-like formations are observed in the form of granules with micron scale dimensions in area and thickness (Fig. b), threadlike strands of fibers with length of 10 to 50 microns and diameter from 10 to 100 nm (Fig. c) and other formations («cobweb», «frost flowers», «lace» and «branch» structures, etc.) (Fig. d—f), which are absent in non-activated PTFE structure (Fig. a) [1].

Difference between particle morphology of factions is due to the fact that the products obtained at different thermobaric effects have different ratio of molecular components, and each of them is intended to construction of certain morphological formations.

Study results given in Fig. show that division into nano- and microscale objects in case of fluoropolymers is conditional. Basically, the first ones are parts that form microobjects.

The difference is also found in X-ray diffractograms of non-activated and activated polymer — PTFE F-4 amorphous ring is located at $2\theta = 18.10$ degrees.

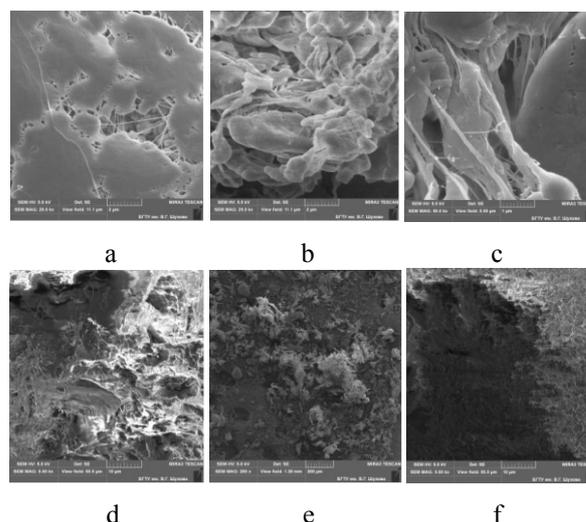


Fig. Structure of PTFE before (a) and after (b-f) mechanical activation

Intensive mechanical activation shifts it to the region of lower Wulff-Bragg angles ($2\theta = 17.82-17.98$ deg.), simultaneously reducing the intensity. At that condition, both the cell parameters and crystallite sizes in the plane (100) undergo changes, which provides optimal-reacting structure of PTFE with maximum in physical and mechanical properties.

Physical and mechanical properties of PTFE show maximal values at that condition and in terms of breaking strength rupture limit (σ_r) are 2.6 times more than in case of non-activated PTFE, in terms of relative elongation at brake (δ) 4.3 times, and the wear rate of the material is 54% less [2].

Therefore, it is logical to conclude that the intense energy impact in the form of mechanical activation has a significant influence on the formation of a special supramolecular structure of PTFE, which from the standpoint of mechanics of polymers has a positive effect on physical and mechanical properties of the polymer.

1. Budnik A.F., Berladir K.V., Sviderskiy V.A., Budnik O.A., Rudenko P.V., and Ilinykh A.A. Fizyko-khimichni aspekty mekhanichnoyi aktyvatsiyi politetrafluoretylenovoyi kompozitsiyi pry otrymanni ta retsyklinhu // Eastern-European Journal Enterprise Technologies. — 2014, no. 2/11 (68), 9—15
2. Budnik O.A., Budnik A.F., Berladir K.V., and Rudenko P.V. Osobennosti fizyko-khymicheskogo vozdeystviya na matrytsu pry mekhanooaktyvatsionnoy tekhnolohyy polucheniya polytetrafluoretylenovykh kompozitov // Yubileynaya Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya 60-letiyu BGTU im. V.G. Shukhova «Naukoyemkiye tekhnologii i innovatsii», 9—10 October 2014. — Belgorod, 2014. — 2014, 50—54

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ФТОРПОЛИМЕРОВ ПОСЛЕ ВЗРЫВНОЙ ОБРАБОТКИ

Н.А. Адаменко, Г.В. Агафонова, А.Э. Герасимук, Н.О. Сизоненко

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия; mvpol@vstu.ru

Эффективным способом модификации структуры фторполимеров является взрывная обработка (ВО). Интенсивность структурных преобразований зависит от схемы нагружения, параметров ВО, конфигурации ударного фронта (УФ), а также пористости исходной порошковой системы.

В данной работе ВО порошков политетрафторэтилена (ПТФЭ), его сополимера Ф-4МБ и поливинилиденфторида (Ф-2М) производилась по схемам нагружения плоской, скользящей УВ и в цилиндрической ампуле, что позволяло варьировать уровень теплового фактора и напряженного состояния полимерных прессовок. Изучены изменения морфологии, кристаллического строения, плотности, термических и прочностных свойств, образцов после ВО и последующего спекания.

Проведенные исследования позволили установить, что перестройка кристаллической структуры, дефектообразование и протекание химических реакций в полимерах усиливаются с повышением интенсивности ударного воздействия. Согласно РСА при давлении в скользящем УФ от 0,2 до 3,0 ГПа степень кристалличности и размеры кристаллитов ПТФЭ не изменяются, но незначительно возрастают при термическом воздействии. С увеличением давления более 3 ГПа повышается дефектность структуры, а после спекания она снижается больше, чем у исходного материала и обработанного при более низком давлении, что связано с отжигом дефектов, уровень которых выше при более интенсивном сжатии.

Плоское ударное нагружение позволяет реализовать самые жесткие условия ударного воздействия, что по данным ТМА привело к снижению температуры плавления ($T_{пл}$) ПТФЭ с минимумом при 280 °С после нагружения $P=2,1$ ГПа. Наблюдаемое резкое отличие термомеханических кривых по сравнению со статически спрессованным (СП) материалом, а также снижение температур течения с 400 °С до 355–360 °С у обработанного взрывом ПТФЭ указывает на структурные изменения в полимере, приводящие к уменьшению его вязкости.

После ВО у Ф-4МБ и Ф-2М снижаются температуры размягчения на 6—10 °С по сравнению со СП. Спекание повышает температуру размягчения полимеров на 10—15 °С сохраняя разницу между полученными ВО и СП.

ВО скользящим УФ привела к увеличению прочности и жесткости Ф-2М и после спекания при $t=190$ °С происходит повышение прочности Ф-2М в 1,5 раза (до 200 МПа) за счет ориентации макромолекул вдоль направления УФ, которая сохраняет-

ся после спекания, что может быть связано с одновременным образованием между ними сшивок, свойственных этому полимеру.

Прошедшая при ВО структурная модификация привела к изменению поведения полимеров при спекании, что обусловлено понижением термической устойчивости кристаллических образований и их большей дефектностью в результате ударного воздействия, способствующих активации процесса последующего спекания прессовок.

ПТФЭ после спекания при $t=330$ °С имеет такие же плотность и твердость, как после 370 °С в результате плавления кристаллитов после ВО при более низкой температуре. Усиление при ВО межмолекулярного взаимодействия реализуется в более высокой прочности образцов, по сравнению со СП, различие которой увеличивается с ростом степени деформации, и при 20% деформации после ВО прочность составляет 40 МПа.

При обработке порошка полимера в цилиндрической ампуле за счет эффекта схождения УВ происходит скачкообразное увеличение давления в центре ампулы выше 1,5 ГПа, что вызывает формирование при 50—60% пористости центральных зон, существенно отличающихся по свойствам и структуре от периферийных. Интенсивная деформация порошка в центре ампулы привела к 5—6 кратному уменьшению размеров кристаллитов, четырехкратному увеличению их дефектности, формированию новой фазы в результате частичной карбонизации ПТФЭ и повышению термостойкости до 510 °С, по сравнению с другими зонами прессовки. В центральной зоне прессовок ПТФЭ и Ф-2М образуются волокнистые структуры, ориентированные по направлению распространения УФ. На изображениях СЭМ видны длинные фибриллы толщиной десятки нм, то есть порошок трансформировался в волокнистую структуру, аналогичную полученной лазерной обработкой ПТФЭ.

Полученные КМ ПТФЭ с термостойкими полиимидами, полиэфирами и фенилоном не зависимо от схемы ВО имеют более высокие температуры размягчения, чем выше в них содержание ПТФЭ. При содержании 50% ПТФЭ температура размягчения его КМ с фенилоном после ВО в ампуле достигает максимального значения (365 °С). Композиции с одинаковым содержанием ПТФЭ, полученные в цилиндрической ампуле обладают более высокой температурой размягчения на 20—40 °С и меньшей деформируемостью на 15—40% по сравнению со спрессованными плоским УФ.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда №14-29-00158.

АНТИФРИКЦИОННЫЙ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНОВЫЙ КОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ МАТРИЦЫ

К.В. Берладир¹, А.Ф. Будник², П.В. Руденко², О.А. Будник³

¹Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев, Украина; berladirkristina@yandex.ua

²Сумский государственный университет, Сумы, Украина

³Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия

Цель

Целью проведенных исследований является разработка основ влияния механохимической активации матрицы политетрафторэтилена (ПТФЭ) на ее надмолекулярное строение, физико-механические и триботехнические свойства композитов на его основе.

Материалы и методы исследований

Объектом исследований является ПТФЭ торговой марки Ф-4-ПН (ГОСТ 10007) и композиты на его основе.

Методика исследования свойств композита включала определение плотности ρ (г/см³), прочности при разрыве σ_p (МПа), относительного удлинения δ (%) и интенсивности изнашивания $I \cdot 10^{-6}$ (мм³/Н·м) в соответствии с нормативными документами.

Механическую активацию ПТФЭ матрицы проводили на экспериментальном смесителе с частотой вращения рабочих органов в пределах от 5000 до 14000 мин⁻¹. Общее время активации составляло 3, 5 и 8 мин. [1].

Изучение строения порошкообразного ПТФЭ и структуры композитов до и после трения проводили физическими методами электронной микроскопии, ДТА, ТГ, рентгеновской дифрактометрии, ИК-спектроскопии.

Результаты и их обсуждение

Найдено, что оптимальные показатели соотношения физико-механических и триботехнических свойств имеет активированный ПТФЭ при режиме $n = 9000$ мин⁻¹ на протяжении 5 минут: прочность при разрыве $\sigma_p = 24,8$ МПа, относительное удлинение $\delta = 415\%$, интенсивность изнашивания $I = 610 \cdot 10^{-6}$ мм³/Н·м. У неактивированного ПТФЭ $\sigma_p = 9,5$ МПа, $\delta = 96\%$, $I = 1133 \cdot 10^{-6}$ мм³/Н·м [2].

Повышение параметров деформационно-прочностных характеристик при сохранении высоких триботехнических показателей модифицированного ПТФЭ связано с образованием новых реакционных центров и увеличением поверхностной энергии отдельных фрагментов макромолекул в результате действия упругих и пластических деформаций при интенсивном механическом воздействии.

Композиты с наполнителем из углеродного волокна (УВ), созданные на основе такой активиро-

ванной матрицы, имеют значительно более высокие триботехнические показатели, чем с неактивированной матрицей (табл.).

Таблица Свойства ПТФЭ композитов

Композит	ρ , (г/см ³)		σ_p , (МПа)		δ , (%)		$I \cdot 10^{-6}$, (мм ³ /Н·м)	
	не-акт.	ак-тив.	не-акт.	ак-тив.	не-акт.	ак-тив.	неакт.	актив.
Ф4УВ10	2,01	2,02	17,5	17,9	90	98	25—60	21—51
Ф4УВ15	1,98	1,99	18,3	19,1	105	115	20—50	17—42
Ф4УВ20	1,96	1,98	20,4	22,1	120	145	19—45	16—38
Ф4УВ25	1,95	1,96	16,9	18,4	115	125	18—40	15—34

Примечание. Цифры после УВ в марке композита указывают на его массовое содержание (10, 15, 20, 25 мас.% соответственно).

Микрофотографии рельефа поверхности трения композитов (рис. 1) подтверждают, что в результате увеличения адгезионной связи «активированная матрица ПТФЭ — УВ наполнитель» процесс изнашивания менее активный, чем у композита с неактивированной матрицей.

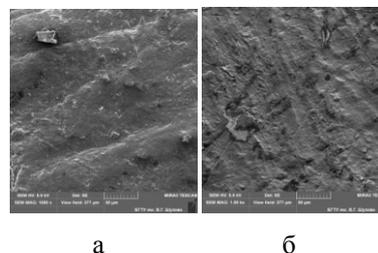


Рис. 1. Микрофотографии поверхности трения ПТФЭ композитов с неактивированной (а) и активированной (б) матрицей.

Использование такого композита в качестве узлов трения компрессоров 4ГМ 2,5 У-2/3-250, 2РВ-3/220, СА-1-174, СА-7-171 (сальниковых уплотнений и поршневых колец) способствовало в целом повышению их работоспособности в 2,3—3,0 раза.

1. Будник О.А., Свидерский В.А., Берладир К.В., Будник А.Ф., Руденко П.В. Влияние механической активации политетрафторэтиленовой матрицы на ее физико-химические и эксплуатационные свойства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2014, № 4, 10—17
2. Будник О.А., Берладир Х.В., Будник А.Ф., Руденко П.В. Підвищення фізико-механічних та експлуатаційних властивостей триботехнічних ПТФЕ композитів методами механічної активації // Проблеми тертя та зношування — 2014 (65), № 4, 130—135

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКА НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

П.Н. Петрова¹, 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

Известно, что совершенствование технологии получения полимерного композиционного материала (ПКМ) в направлении повышения уровня внешнего энергетического воздействия и активации компонентов позволяет достичь значительного повышения механических и триботехнических свойств ПКМ. В данной работе приведены результаты по разработке новых технологий на основе высокоэнергетических воздействий на стадии совмещения компонентов композита, основанные на использовании методов совместной механохимической активации компонентов и ультразвукового воздействия, приводящие к улучшению деформационно-прочностных и трибологических свойств композитов на основе политетрафторэтилена.

Объектами исследования являются политетрафторэтилен (ПТФЭ, фторопласт-4, марка ПН) и композиты на его основе, содержащие в качестве наполнителя ультрадисперсный политетрафторэтилен (УПТФЭ) и активированные природные цеолиты Кемпендйского месторождения Республики Саха (Якутия).

С целью закрепления частиц УПТФЭ на поверхности цеолитов и для повышения их совместимости с гидрофобным ПТФЭ разработана технология совместной механоактивации цеолитов с УПТФЭ в планетарной мельнице «Pulverizette 5» фирмы FRITCH, затем таким образом полученные механокомпозиты использованы в качестве комплексного наполнителя ПТФЭ. Совместной механообработке подвергали порошковые композиции с массовым соотношением цеолит:УПТФЭ 1:1 и 2:1, их концентрация в ПКМ соответствовала 1—5 мас. %.

Для получения гомогенной структуры ПКМ и устранения процессов агломерации компонентов перед процессом прессования подвергали порошковую композицию к электрофизическому воздействию в ультразвуковой ванне с частотой 35 кГц.

Технологии механохимической активации и ультразвуковой обработки являются перспективными методами изменения структурно-чувствительных свойств наполнителей. При использовании этих методов получают частицы с различной степенью

дефективностью структуры и энергетическими уровнями поверхности, что в свою очередь способствует повышению структурной активности наполнителей по отношению к полимерной матрице.

По критерию повышения деформационно-прочностных и триботехнических характеристик ПКМ выявлена оптимальная концентрация механокомпозитов на основе цеолита и УПТФЭ, соответствующая 2—5 мас. %. При этом показано, что оптимальными свойствами обладают ПКМ с содержанием комбинированного наполнителя, полученного совместной активацией компонентов при массовом соотношении цеолит : УПТФЭ = 2:1. 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 10—20%.

При дополнительном воздействии ультразвука на композит с содержанием комплексного наполнителя наблюдается повышение деформационно-прочностных характеристик на 20—50% и износостойкости в 2—3 раза по сравнению с композитами, полученные без воздействия УЗ.

Показано, что воздействие ультразвука на композиты приводит к повышению степени кристалличности и снижению размеров кристаллитов ПКМ. Это связано тем, что ультразвуковое воздействие является своеобразным катализатором изменения структуры аморфно-кристаллического полимера в результате повышения подвижности структуры и связанные с этими процессами увеличение степени кристалличности, залечивание дефектных областей полимера, что положительно отражается на деформационно-прочностных и триботехнических характеристиках ПКМ. Таким образом, показано, что дополнительное воздействие УЗ позволяет реализовать синергетический эффект повышения показателей служебных характеристик ПКМ (прочности, эластичности и износостойкости).

СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция 6

Механика полимерных композитов и моделирование

**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ И ТРИБОЛОГИЯ
(ПОЛИКОМТРИБ-2015)**

23—26 июня 2015 г., Гомель, Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РАСШИРЕНИЯ САМОАРМИРОВАННЫХ ПЛАСТИКОВ НА ОСНОВЕ ФЕНИЛОНА

А.И. Буря, О.А. Набережная

Днепродзержинский государственный технический университет, Днепродзержинск, Украина

Цель

Активное внедрение в различные области техники волокнистых композиционных материалов (ВКМ) на основе высокопрочных волокон и полимерной матрицы требует расширения температурной области их эксплуатации [1]. Полимерные ВКМ, способные длительно и стабильно работать не только в обычных условиях, но и при температурах более 423 К, представляют особый интерес при разработке отдельных узлов и частей различных механизмов [2]. Целью данной работы была разработка и исследование теплового расширения термостойких самоармированных органопластиков (ОП).

Материалы и методы исследований

В качестве объекта исследования использовали ОП на основе фенилона С-1 (ТУ 6-05-221-101-71), хаотически армированного дискретным волокном фенилон С-1. Композиции из указанных компонентов готовили во вращающемся электромагнитном поле, что обеспечивало идеальное распределение волокна в полимерной матрице. Полученные т.о. смеси, таблетировали и перерабатывали в блочные изделия методом компрессионного прессования при температуре 593—598 К. Для определения термического коэффициента линейного расширения (ТКЛР) полученные образцы испытывали согласно ГОСТ 15173-70 на dilatометре ДКВ-5АМ в интервале температур 300—460 К. Количество образцов для испытания каждой партии материала составляла не меньше десяти. Средний ТКЛР — α (К⁻¹) исследуемого образца рассчитывали по формуле:

$$\alpha = \frac{\Delta l_n}{l_0 \cdot \Delta T} \quad (1)$$

где Δl_n — разница отклонения стрелки потенциометра по оси Y в интервале температур $T_+ - T_-$, мм; Δl_n — отклонение от нуля прибора в интервале температур $T_+ - T_-$, мм; l_0 — длина образца при начальной температуре $T = 293$ К, мм; α^k — ТКЛР кварцевого стекла в интервале температур $T_+ - T_-$, К⁻¹.

Результаты и их обсуждение

Анализ результатов показал, что введение органического волокна в полимерную матрицу приводит к снижению изучаемого показателя, наиболее интенсивное снижение ТКЛР наблюдается при армировании 15% волокна. Объясняется это тем, что надмолекулярная структура исходного фенилона глобулярная, а волокон — фибриллярная, вследствие чего они обладают лучшими теплофизическими свойствами,

за счет чего более низким ТКЛР — и как следствие у ОП он более низкий, чем у фенилона.

Что же касается влияния длины волокна на ТКЛР ОП, то последний по мере увеличения длины волокна (от 1 до 7 мм) снижается, проходя через минимум при длине волокна 3—5 мм, после чего начинает монотонно повышаться (рис. 1).

По-видимому, с увеличением длины волокна увеличивается длина теплопроводящих мостиков, с другой стороны — увеличение длины волокна приводит к ухудшению равномерности их распределения в полимерной матрице, появлению пор, что в свою очередь сопровождается повышением ТКЛР [3]. Очевидно, что при длине волокна более 5 мм последнее превалирует и ТКЛР растет (табл. 1).

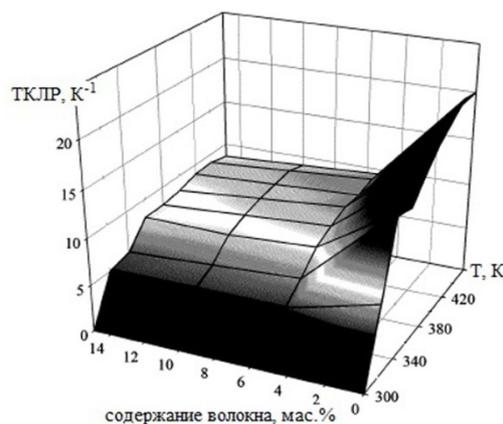


Рис. 1. Влияние температуры и содержания волокна на ТКЛР самоармированных ОП

Таблица 1. Влияние длины и содержания волокна на ТКЛР (К⁻¹) ОП на основе фенилона

Длина волокна, мм	1	3	5	7	
содержание волокна, мас.%	5	12,14	8,49	8,11	10,90
	10	10,32	8,03	7,91	9,07
	15	8,53	7,58	7,74	8,32

*ТКЛР исходного фенилона 16,4, усредненный для температурного интервала 300—460 К.

Таким образом, авторами были получены и исследованы новые полимерные самоармированные материалы на основе фенилона способные работать при повышенных температурах.

1. Буря А.И. Полимерные композиты: получение, свойства, применение. — Днепропетровск: из-во «Федорченко А.А.». — 2010
2. Годовский Ю.К. Теплофизика полимеров. — М.: Химия. — 1982
3. Пивень А.Н., Гречаная Н.А., Чернобыльский И.И. Теплофизические свойства полимерных материалов: Справочник. — К.: Вища школа. — 1976, 14—16

ВЛИЯНИЕ АСИММЕТРИЧНОГО ОРТОТРОПНОГО ТРЕНИЯ НА ДИНАМИКУ И СТАТИКУ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Н.Н. Дмитриев¹, Е.М. Петроковец²

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия; dn7@ Rambler.ru

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

В работах [1, 2] отмечено, что анизотропное трение может быть симметричным и асимметричным. В [3] дано определение асимметричного ортотропного трения, которое отличается от ортотропного трения зависимостью коэффициентов трения от того направлена скорость точки по оси главного направления скольжения или против нее. При этом оси главных направлений взаимно перпендикулярны. В [4] дается обоснование этой зависимости и строится физическая модель асимметричного трения вдоль одной оси. Такие свойства силы трения наблюдаются если хотя бы один элемент пары трения представлен полимерным или композитным материалом.

Асимметричное ортотропное трение изменяет условие начала движения материальной точки по сравнению с симметричным ортотропным трением. В зависимости от соотношений между коэффициентами трения вдоль главных направлений скольжения может изменяться величина и направление начального ускорения точки под действием одной и той же активной силы [3].

Асимметрия трения также изменяет условия равновесия системы материальных точек и твердых тел. Данный факт продемонстрирован на примере двухмассовой системы. Отметим, что в случае небольшой асимметрии возможно изучать задачи о равновесии с помощью введения малого параметра [3].

Движение материальной точки, твердого тела при симметричном ортотропном трении характеризуется стремлением угла между вектором скорости точки или центра масс твердого тела и осью Ox к нулю, в предположении, что коэффициент трения вдоль оси Ox меньше коэффициента вдоль оси Oy .

При этом угол характеризующий направление скорости остается в одном квадранте.

В случае асимметричного ортотропного трения в зависимости от соотношений между коэффициентами трения имеют место следующие характеристики движения:

– угол характеризующий направление скольжения материальной точки может стремиться к нулю, $\frac{\pi}{2}$, π , $\frac{3\pi}{2}$, в зависимости от начальных условий;

– при движении диска или кольца происходит поворот вектора скорости центра масс таким образом, что угол определяющий направление этой скорости к моменту остановки принадлежит квадранту с наименьшими значениями коэффициентов трения;

– при начальном поступательном движении диска и кольца угловое ускорение не появляется, т.е. тело движется до остановки поступательно;

– наличие угловой скорости в начальный момент при нулевой скорости центра масс приводит к появлению ускорения центра масс, направленного в квадрант с наименьшим коэффициентом трения.

1. Zmitrowicz A. A Constitutive Modelling of Centrosymmetric and Non-Centrosymmetric Anisotropic Friction // Int. J. Solids Structures. — 1992 (29), no. 23, 3025—3043
2. Zmitrowicz A. Illustrative Examples of Centrosymmetric and Non-Centrosymmetric Aniso-Tropic Friction // Int. J. Solids Structures. — 1992 (29), no. 23, 3045—3059
3. Дмитриев Н.Н. Движение материальной точки и равновесие двухмассовой системы в условиях асимметричного ортотропного трения // Трение и износ. — 2013 (34), № 6, 565—574
4. Mroz Z. and Stupkiewicz S. An Anisotropic Friction and Wear Model // Int. J. Solids Structures. — 1994 (31), no. 8, 1113—1131

РОЛЬ ТРЕНИЯ ПРИ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ ОБРАЗЦОВ КОМПОЗИТОВ НА РЕЛАКСАЦИЮ

А.Л. Башлакова

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

В последние годы в машиностроении, авиа- и судостроении, строительстве и других отраслях расширяется использование полимерных композитов для изготовления несущих конструкций. К примеру, для упрочнения бетона начинают применять стеклопластиковую арматуру (рис. 1), обладающую рядом преимуществ перед ее стальным аналогом (низкий вес, коррозионная стойкость).



Рис. 1. Стеклопластиковая арматура для упрочнения бетона

Однако вязкоупругие свойства полимерного связующего являются причиной деформаций ползучести и релаксации напряжений при эксплуатации подобных конструктивных элементов [1]. В связи с тем, что упрочнение бетона арматурными стержнями, а также их механические испытания основаны на контактом способе приложения нагрузки, актуальна оценка значимости фактора трения (проскальзывания) при анализе вязкоупругого поведения указанных материалов [2].

Целью работы было изучение роли трения при определении релаксационных характеристик полимерных композитов на примере стеклопластиковой арматуры.

Экспериментальные исследования проводились на машине для механических испытаний INSTRON 5567, оснащенной термокамерой, с возможностью изменения условий контактирования образцов арматуры с опорными плитами и захватами испытательной машины. Рассматривались различные виды нагружения, включая растяжение, изгиб и осевое сжатие в интервале температур, типичных для нормальной эксплуатации строительных конструкций и экстремальных режимов (случай пожара).

В указанных режимах были получены кинетические зависимости, позволяющие разделить компоненты перемещений, обусловленные вязкоупругими свойствами и проскальзыванием в контакте с опорной поверхностью. Так, на рис. 2 приведены результаты испытаний на растяжение образцов арматуры диаметром 8 мм и рабочей длиной 73 мм при комнатной температуре.

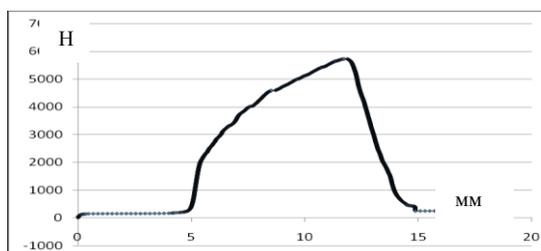


Рис. 2. Зависимость «усилие — перемещение» при растяжении стеклопластиковой арматуры

Результаты испытаний арматуры на трехточечный изгиб в условиях статического нагружения и кратковременной релаксации представлены на рис. 3 и 4 соответственно.

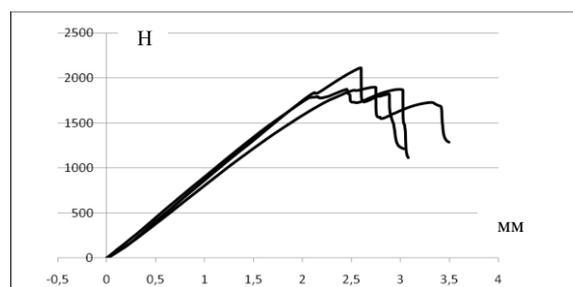


Рис. 3. Зависимость «усилие — перемещение» при статическом испытании на трехточечный изгиб

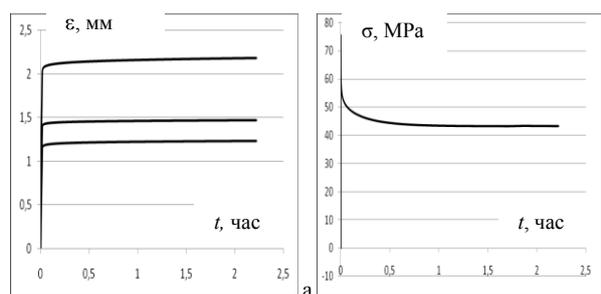


Рис. 4. Временные зависимости «перемещение — время» (а); «напряжение — время» (б) при трехточечном изгибе

Проведенные исследования позволяют дать рекомендации по повышению точности определения механических характеристик армирующих элементов.

1. Колтунов М.А. Ползучесть и релаксация. — М.: Высшая школа. — 1976
2. Шилько С.В. О роли трения в механических испытаниях материалов // Трение и износ. — 2002 (23), № 3, 342—347

PREDICTION OF PLASTIC DEFORMATION PARAMETERS FOR DISPERSION-REINFORCED MATERIALS

S.V. Shil'ko¹, D.A. Chernous¹, Heeman Choe², Hyunjoo Choi², Donghoon Shin²

¹V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of NAS of Belarus, Gomel, Belarus; shilko_mpri@mail.ru

²School of Advanced Materials Engineering, Kookmin University, Seoul, Republic of Korea; heeman@kookmin.ac.kr

Models for averaging the material properties of a composite can be extremely powerful in designing new metal and polymer composite materials without the effort of carrying out numerous experimental trials. The Mori-Tanaka model is a well-known simple prediction model for evaluating the average mechanical properties of a composite. It however cannot provide sufficient accuracy in calculating the yield strength of a composite.

Various calculation techniques are currently used for the determination of effective characteristics of dispersion-reinforced composites. The Mori-Tanaka model [1] is considered in this paper. The composite is a macroscopically isotropic material if it is filled with spherical particles. In accordance with Mori-Tanaka model for the elastic moduli of the composite, one thus obtains:

$$\frac{G_k}{G_m} = \frac{5\varphi(\zeta_f - \zeta_m)\lambda}{5G_m\lambda + (1-\varphi)(G_f - \zeta_m)(K_m + G_m)} \quad (1)$$

$$\frac{K_k}{K_m} = \frac{\varphi(\zeta_f - \zeta_m)\lambda}{\lambda(K_m + \zeta_m(1-\varphi)(K_f - \zeta_m))} \lambda = \zeta_m + \frac{4}{3}G_m$$

Here, φ is the volume fraction of the filler, G_m , G_f and G_k are the shear moduli of the matrix, filler, and composite, respectively. Likewise, K_m , K_f and K_k are the bulk moduli of the matrix, filler, and composite, respectively.

Let us consider the shear deformation of the composite at the given macroscopic shear angle γ_k by taking into account physical nonlinearity of the components. The secant shear modulus $G^c(\gamma)$ is used for the description of plastic deformations of materials. It depends on the shear angle γ . Furthermore, let us replace the values of G_m , G_f and G_k with the corresponding secant moduli in equation (1). This statement allows us to make a step-by-step iteration procedure to calculate the macroscopic shear stress τ_k . At every step corresponding angular increments $\Delta\gamma_m$ and $\Delta\gamma_f$ of the material components are calculated at given increment $\Delta\gamma_k$. Within classical variant of the Mori-Tanaka model we have

$$\Delta\gamma_m = \frac{G_k^c - \zeta_m^c}{\zeta_f^c - \zeta_m^c} \Delta\gamma_k, \quad \Delta\gamma_f = \frac{G_f^c - \zeta_k^c}{\zeta_f^c - \zeta_m^c} \Delta\gamma_k \quad (2)$$

It is known that the classical version of the Mori-Tanaka model cannot provide acceptable accuracy in calculating the yield strength of a composite. Therefore, an alternative approach, which is based on the results of the simplified Takayanaga model, may be applied for the calculation of the strain concentration. According to proposed model we have equations

$$\Delta\gamma_m = \frac{G_k^c - \zeta_m^c}{\zeta_f^c - \zeta_m^c} \Delta\gamma_k, \quad \Delta\gamma_f = \frac{G_f^c - \zeta_k^c}{\zeta_f^c - \zeta_m^c} \Delta\gamma_k \quad (3)$$

where d is the characteristic size of the filler particles. Then, the shear stress $\tau_k(\gamma_k, d)$ depends on the strain γ_k , and parameter d is determined by the above step-by-step procedure. For the calculation of the total macroscopic shear stress, it is necessary to perform an averaging over the parameter d :

$$\tau_k(\gamma_k) = \frac{1}{d_{\max}} \int_0^{d_{\max}} \tau_k^e(\gamma_k, x) dx \quad (4)$$

where $d_{\max} = \gamma_k^{-1}$.

The results for aluminum-nickel composite shown in Figure prove the superior approximation proposed in this study, namely the additional size averaging (4).

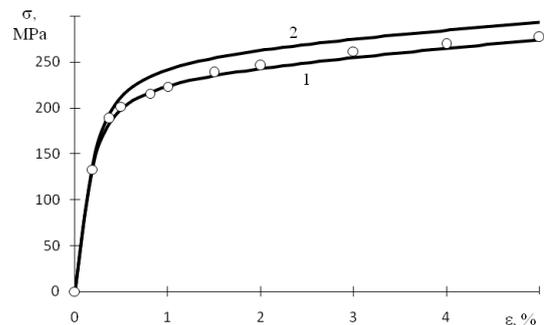


Fig. Stress-strain curves of an aluminum composite filled with nickel particles at volume filler fractions of $\varphi = 0.05$. The experimental data [2] are reproduced by the circles. Calculations on the basis of (4), (2) are denoted by curves 1, 2 respectively.

Thus, a new numerical technique was developed for the description of elastoplastic deformation of dispersion-reinforced composites. It was established that the use of the classical variant of the Mori-Tanaka model allows us to predict effective moduli of elasticity, which on the other hand leads to inflated values of the stresses in the presence of plasticity zones in the composite. It was shown that the newly proposed model to determine the strain concentration provides a greater accuracy for the resulting parameters of composite materials by taking into account the physical nonlinearity.

1. Mori T. and Tanaka K. Average Stress in Matrix and Average Elastic Energy of Materials with Misfitting Inclusions // Acta Metall. — 1973 (21), 571—574
2. Watson I.G., Lee P.D., Dashwood R.J., and Young P. Simulation of the Mechanical Properties of an Aluminum Matrix Composite using X-Ray Microtomography // Metall. and Mater. Trans. A. —2006 (37A), 551—558

ОЦЕНКА ЗНАЧИМОСТИ ОТКЛОНЕНИЙ ПОВЕРХНОСТИ И ГРАДИЕНТА УПРУГИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ТРИБОЭЛЕМЕНТОВ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ УПРУГОГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ СМАЗКИ

С.В. Шилько¹, Т.В. Рябченко¹, М.В. Зернин², А.В. Мишин², Н.Н. Рыбкин²

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

²Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия, zerninmv@mail.ru

Контактные сопряжения, в которых реализуется упругогидродинамический режим смазывания, характеризуются высокой износостойкостью и несущей способностью при весьма низких фрикционных потерях [1]. Помимо подшипников скольжения, широко используемых в приводах машин и механизмов, к таким сопряжениям относятся суставы, выдающиеся антифрикционные характеристики которых во многом обусловлены синергизмом процессов деформирования упругого хрящевого матрикса и течения смазывающей синовиальной жидкости [2, 3]. В этой связи предпринимаются попытки воспроизвести условия контактирования в суставе с целью создания адекватных протезов и повышения эксплуатационных характеристик опор трения.

Постановка задачи и метод решения

Хотя формирование микрорельефа для снижения коэффициента трения, а правило положительного градиента — для повышения износостойкости — широко используются в триботехнике, роль отклонений поверхности и пространственных вариаций упругих свойств материала контактирующих тел при описании упругогидродинамической смазки остается малозученной и является предметом настоящего сообщения.

Так как возможности аналитических решений соответствующих контактных задач ограничены, авторы применяли метод конечных элементов в виде программного продукта ANSYS и оригинальной программы BVFEM, разработанной в БГТУ.

На основе экспериментальных данных [3] и в развитие исследования [4], исследовали влияние на НДС контакта конструктивных и материаловедческих решений, обеспечивающих формирование в подшипнике многозонного гидродинамического контакта, характерного для его биопрототипа (сустава) (рис. 1).

Для конкретизации градиентных зависимостей упругих свойств по глубине были взяты зависимости модуля Юнга хряща $E(z)$ при смазке натуральной синовией и сывороткой крови [2] (рис. 2).

Применительно к анализу работоспособности подшипников скольжения анализировалось влияние контактной податливости на НДС трибоэлементов в упругогидродинамическом контакте с учетом отклонений поверхности и градиента упругих свойств, а также несоосности вала и втулки цилиндрического подшипника.

Результаты и их обсуждение

Установлена значимость отклонений поверхности и градиента упругих свойств материалов трибоэлементов в образовании многозонного гидродинамического контакта и снижению уровня вибрации от динамической составляющей радиальной нагрузки, действующей на подшипник.

На примере суставного хряща показано, что роль градиента модуля Юнга материала приповерхностных слоев по глубине выражается в двукратном изменении максимального контактного давления в зависимости от вида смазки (натуральная синовия или ее заменитель (сыворотка крови)).

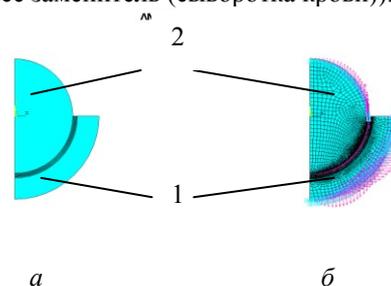


Рис. 1. Расчетная схема (а) и конечноэлементная модель (б) био-сопряжения: 1 — хрящ, 2 — сустав

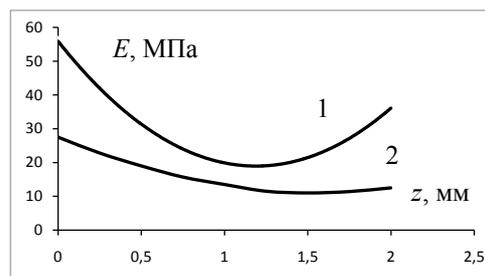


Рис. 2. Распределение модуля упругости хряща по глубине в среде синовии (1) и сыворотки крови 2

1. Seireg A. and Ezzat H. Optimum Design of Hydrodynamic Journal Bearings // ASME J. Lubr. Technol. — 1969 (91), 516—521
2. Jin Zh. and Dowson D. Bio-Friction // Friction. — 2013, no. 1, 100—113
3. Сулов А.А., Ермаков С.Ф., Белецкий А.В., Шилько С.В., Николаев В.И. Роль жидкой фазы и пористой структуры хряща в формировании биомеханических свойств суставов. // Росс. журн. биомех. — 2008 (12), № 4, 33—39
4. Зернин М.В., Мишин А.В., Рыбкин Н.Н., Шилько С.В. Гидродинамический анализ подшипников скольжения. Часть 1. Учет нецилиндричности рабочих поверхностей // Трение и износ. — 2014 (35), № 5, 584—595

АТТЕСТАЦИЯ ВЯЗКОПЛАСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

С.Л. Гавриленко

Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь;
serega48@mail.ru

Аттестация деформационных свойств полимерных композитов исходя из результатов стандартных испытаний является актуальной задачей механики деформируемого твердого тела. В данной работе рассматриваются физически нелинейные материалы с ненулевым пределом текучести. В частности, нелинейная вязкопластическая модель записывается следующим образом [1]:

$$\left\{ \begin{array}{l} S_{ij} = H \xi_{ij} \\ \left(\frac{\dot{\xi}_{ij}}{\tau} \right) > \tau \\ \tau < \tau_0 \\ \operatorname{div} v = 0 \end{array} \right. ,$$

где S_{ij} и ξ_{ij} — девиаторы напряжений и скоростей деформации; τ и H — интенсивности тензора напряжений и скоростей деформации; τ_0 — предел текучести, m — параметр скоростной чувствительности, K — коэффициент вязкости, ε_0 — характерная скорость деформации, div — оператор дивергенции.

Для аттестации рассматриваемой модели можно использовать решения начально-краевых задач механики деформируемого твердого тела, где помимо общей формулировки в аналитическом виде записываются конкретные граничные условия (в стационарном режиме). В динамическом режиме дополнительно задаются начальные условия.

Граничные условия, например, могут иметь вид [2—5]:

$$\sigma_{ij} n_j = \dots$$

здесь σ_{ij} — компоненты тензора напряжений Коши, Γ — подвижная боковая граница образца, n_j — нормаль к границе Γ .

Алгоритм аттестации предполагает наличие следующих сведений о модели:

1. Тип модели (качественная оценка свойств материала, на описание которых модель «претендует», например, модель упругости; модель склерономного неупругого поведения; модель пластичности в рамках теории течения и т.п.);

2. Запись полной системы уравнений модели

материала либо в тензорной форме, либо с указанием, что модель сформулирована только для одноосного случая;

3. Полный набор материальных функций (с указанием их аргументов) и/или констант;

4. Базовый эксперимент (\equiv минимальный набор экспериментов, достаточный для построения всех функций), обеспеченный методиками его проведения (по возможности аттестованными); методикой обработки результатов эксперимента (включая методику определения НДС в образце в случае неоднородного НДС);

5. Область применимости модели (диапазоны изменения деформаций, скоростей деформаций, температуры и т.д.; допустимые классы (виды) путей нагружения); степень соответствия модельных расчетов тем экспериментальным эффектам, для описания которых она предназначена;

6. Соответствие модели основным термодинамическим требованиям;

7. Возможность описания известных экспериментов (не обязательно);

8. Постановки и решения краевой задачи с использованием построенной модели.

В настоящем докладе описывается проведение процедуры аттестации для ряда материалов, включая полипропилен марки 2130; антифрикционные композиты Флувис 20 и Флувис 25 в виде дисперсно-армированного Фторопласта-4; а также консистентную смазку И-40А с поверхностно — активными веществами.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ (проект T14P-209).

1. Огибалов П.М., Мирзаджанзаде А.Х. Нестационарные движения вязкопластичных сред. — М.: МГУ. — 1977
2. Новацкий В. Теория упругости. — М.: Мир. — 1975
3. Гавриленко С.Л., Шилько С.В., Васин Р.А. Определение характеристик вязко-пластического материала в условиях течения Куэтта // Прикл. механика и техн. физика. — 2002, № 3, 502—508
4. Гавриленко С.Л., Шилько С.В. Идентификация модели нелинейного вязкопластического материала при статическом растяжении с учетом изменения площади поперечного сечения образца // Материалы. Технологии. Инструменты. — 2009 (14), № 1, 22—27
5. Гавриленко С.Л. Моделирование текучести нелинейно упруговязкопластических материалов в условиях одноосного сжатия // Теоретическая и прикладная механика. — 2011, № 26, 132—137

БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОККЛЮЗИИ АРТЕРИИ В ПРОЦЕССЕ ОСЦИЛЛОМЕТРИИ

М.В. Борисенко¹, Ю.Г. Кузьминский²

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

²Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь; guk_mpr@mail.ru

Распространенным способом контроля диагностики состояния сердца и сосудов является осциллометрия, основанная на внешнем компрессирующем воздействии эластичной манжеты на бронхиальную артерию через кожный покров и прилегающие мышечные ткани в области плеча. Деформация артерии и условия окклюзии (сплющивания) артерии определяется геометрическими и механическими характеристиками названных биотканей [1]. Подход, основанный на совместном использовании биомеханической модели и приборной базы тонометрии, модифицированной для работы в режиме расширенной осциллометрии, дает возможность уточнения важнейших показателей гемодинамики сердечно-сосудистой системы [3].

Постановка задачи и методика исследования

С использованием миометра MYOTON 3 измерялись биомеханические характеристики скелетных мышц плеча [2]. Были построены конечноэлементные модели (разной степени геометрической адекватности) зоны осциллометрии (программные программы ANSYS 11.0 и SolidWorks) в предположении плоского деформированного состояния мягких биотканей. Относительно простая аппроксимация показана на рис. 1, где введены обозначения: A1 — кость, A2 — мышцы и A3 — стенки артерии.

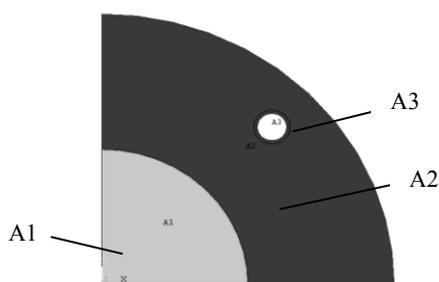


Рис. 1. Геометрия задачи

Под давлением компрессионной манжеты существенно изменяется поперечное сечение артерии, поэтому представляет интерес анализ перемещений ее стенок. Ключевыми параметрами модели являются внешнее давление манжеты p^{ext} и внутреннее давление крови в артерии p^{int} . В частности, на рис. 2 приведены результаты моделирования при следующих исходных данных: $E^k = 12$ ГПа, $\nu^k = 0,2$, $r^k = 0,02$ м, $E^m = 0,09$ МПа, $\nu^m = 0,4$, $r^m = 0,04$ м, $E^a = 0,05$ МПа, $\nu^a = 0,49$, $r^a = 0,002$ м, $h^a = 0,5$ мм, где E^k, E^m, E^a — модуль Юнга, ν^k, ν^m, ν^a — коэффициент

Пуассона и r^k, r^m, r^a — радиус для кости, мышц и артерии плеча соответственно; h^a — толщина стенки артерии.

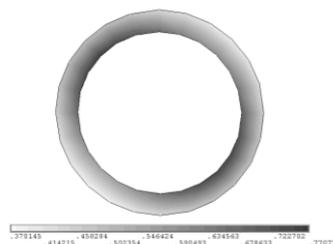


Рис. 2. Упругая деформация по Мизесу в артерии при давлениях $p^{int} = 70$ мм рт. ст. и $p^{ext} = 250$ мм рт.ст.

Результаты и их обсуждение

Установлено, что предложенная модель описывает процесс окклюзии бронхиальной артерии в условиях осциллометрической тонометрии. В частности, уменьшение площади сечения артерии на 70% достигается при следующих параметрах:

1) $p^{int} = 70$ мм рт. ст., $p^{ext} = 300$ мм рт.ст., $E^k = 10$ ГПа, $\nu^k = 0,2$, $r^k = 0,02$ м, $E^m = 0,03$ МПа, $\nu^m = 0,4$, $r^m = 0,04$ м, $E^a = 0,2$ МПа, $\nu^a = 0,49$, $r^a = 0,002$ м, $h^a = 0,5$ мм.

2) $p^{int} = 70$ мм рт. ст., $p^{ext} = 250$ мм рт.ст., $E^k = 12$ ГПа, $\nu^k = 0,2$, $r^k = 0,02$ м, $E^m = 0,09$ МПа, $\nu^m = 0,4$, $r^m = 0,04$ м, $E^a = 0,05$ МПа, $\nu^a = 0,49$, $r^a = 0,002$ м, $h^a = 0,5$ мм.

В плане совершенствования модели целесообразно учитывать особенности геометрии канала, в котором размещается бронхиальная артерия, и нелинейность деформирования стенок артерии и мышечных тканей.

- Li J.K.-J. Dynamics of the Vascular System. Vol. 1 of Bioengineering and Biomedical Engineering. — World Scientific. — 2004
- Шилько С.В., Кузьминский Ю.Г., Борисенко М.В. Программная реализация биомеханической модели гемодинамики // Технологии информатизации и управления: сб. науч. ст., Вып. 2, / Институт технологий информатизации и управления БГУ; редкол.: А. М. Кадан (отв. ред.) и др. — Минск : БГУ. — 2011, 102—108
- Vain A. and Kums T. Criteria for Preventing Overtraining of the Musculoskeletal System of Gymnasts // Biologi of sport. — 2002, no. 4(19), 329—345
- Gray H. Anatomy of the Human Body [Электронный ресурс] /. — Philadelphia: Lea & Febiger. — 1918. — Режим доступа: <http://www.bartleby.com/107/illus.html>. — Дата доступа: 28.05.2015.

ИЗМЕРЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ Ni-P ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ СКЛЕРОМЕТРИИ

Д.М. Гуцев¹, А. Ковалев¹, В.Г. Кудрицкий¹, М. Антонов², И. Хуссаинова²

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

²Department of Materials Engineering, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia

Измерение твердости методом царапания (склерометрии) [1] имеет ряд отличительных преимуществ: меньше влияние шероховатости и поверхностных дефектов, меньше проявляется эффект упругого восстановления ширины царапины по сравнению с периметром отпечатка при индентировании, возможность усреднения данных в рамках обработки одной царапины, возможность изучения анизотропии механических свойств по длине царапины. Области применения Ni-P покрытий постоянно увеличиваются, так как нанесение композитных покрытий позволяет получать материалы с уникальным сочетанием физико-механических, химических и эксплуатационных свойств.

Цель

Определение твердости Ni-P покрытий методом склерометрии, нанесенных на подложки из различных материалов. На основании данных склерометрии оценить микромеханические характеристики покрытий на различных подложках.

Материалы и методы исследований

Образцами служили покрытия Ni-P, Ni-P + SiO₂ и Ni-P + PTFE толщиной, указанной в таблице 1, на подложке из меди и стали. Скретч-тест производился пирамидой Роквелла, с радиусом при вершине 213 мкм. Эксперимент по царапанию проводился на универсальном трибометре УМТ-2 производства США при нормальной нагрузке 1000 мН, скорость царапания — 1 мм/с, длина царапин составляла 10 мм. Для визуализации полученных царапин использовался растровый электронный микроскоп HITACHI TM-1000 (Япония) и VEGA-II LSH (Tescan, Чехия).

Таблица 1. Толщина исследуемых покрытий

Образец	Толщина покрытий, мкм	Образец	Толщина покрытий, мкм
Cu + Ni-P	6,0	Steel + Ni-P	6,0
Cu + Ni-P+SiO ₂	1,7	Steel + Ni-P + SiO ₂	5,0
Cu + Ni-P + PTFE	4,7	Steel + Ni-P + PTFE	4,7

Результаты и их обсуждение

При определении твердости методом царапания алмазной пирамидой измеряемой величиной является ширина остаточной борозды d . Число твердости H (НВ) определялось как отношение вертикальной нагрузки P к площади поверхности контакта образца с наконечником или площади проекции

контакта на горизонтальную плоскость

$$H = \frac{2P}{D\pi \sqrt{D - l}}$$

где P — нагрузка, H , D — диаметр индентора, m , d — диаметр отпечатка, m .

Полученная царапина разбивалась на четыре равных участка. Твердость исследуемого покрытия измерялась в каждой точке.

Таблица 2. Твердость исследуемых покрытий

Образец	Твердость образца, НВ			
	1	2	3	4
Cu + Ni-P	128,20	23,04	12,50	8,56
Cu + Ni-P + SiO ₂	34,19	14,85	12,01	11,81
Cu + Ni-P + PTFE	54,06	25,42	17,18	16,45
Steel + Ni-P	111,59	74,75	42,25	29,98
Steel + Ni-P + SiO ₂	155,49	46,12	29,05	24,19
Steel + Ni-P + PTFE	113,76	58,78	39,76	26,73

Результаты измерения твердости Ni-P композитных покрытий методом склерометрии показали, что при выбранной нагрузке и данным радиусом вершины индентора в начале дорожки измеренная твердость соответствует твердости покрытия, в конце дорожки твердость близка к твердости материала подложки.

Анализ РЭМ изображений царапин показал, что присутствует хрупкое разрушение всех типов покрытий по всей длине царапины [3]. Разрушение покрытий более выражено на мягкой медной подложке. Установлено относительное увеличение твердости при введении в покрытие SiO₂.

Выводы

Рассмотрено влияние на результаты измерений таких параметров как максимальная нормальная нагрузка, толщина покрытий и тип модификатора. Показана возможность применения метода склерометрии для определения твердости Ni-P композитных покрытий.

1. Гоголинский К.В., Львова Н.А., Усеинов А.С. // Заводская лаборатория. — 2007 (73), № 6, 28
2. Мышкин Н.К., Григорьев А.Я., Гуцев Д.М. Перспективные материалы и технологии / под. ред. В.В. Клубовича. — Витебск: изд-во «ВГТУ». — 2013, глава 4, 77—94
3. Gutsev D., Antonov M., Hussainiva I., and Grigoriev A.Ya. Effect of SiO₂ and PTFE Additives on Dry Sliding of NiP Electroless Coating // Tribology International. — 2013 (65), 295—302

ПОВТОРНОЕ НАГРУЖЕНИЕ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ ТРЕХСЛОЙНЫХ СТЕРЖНЕЙ В ТЕПЛОВОМ ПОТОКЕ

Э.И. Старовойтов, Д.М. Савицкий

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь; edstar@mail.by

В рамках теории простых (по Ильюшину) переменных нагружений, рассмотрено циклическое нагружение в температурном поле несимметричного по толщине трехслойного стержня с упругопластическими несущими слоями и физически нелинейноупругим жестким заполнителем. Система координат связывается со срединной плоскостью заполнителя. Для пакета стержня принимается гипотеза «ломаной» линии. Температурное поле T считаем известным.

На внешний слой стержня действует поверхностная силовая нагрузка $p(x), q(x)$, через $u(x), \psi$ обозначены прогиб, сдвиг и продольное перемещение срединной плоскости заполнителя. На торцах предполагается наличие жестких диафрагм, на границах слоев — склейки. С помощью введенных гипотез, продольные перемещения, деформации и напряжения в слоях выражаются через три искомые функции $u(x), \psi(x)$ и $w(x)$.

В слоях используются физические уравнения состояния теории малых упругопластических деформаций Ильюшина [1]:

$$s'_y = \dots \varepsilon_{yy},$$

$$y' = \dots - \alpha_{\dots} (k = \dots = \dots,$$

где f' — функция пластичности Ильюшина при нагружении из естественного состояния.

Система дифференциальных уравнений равновесия получена вариационными методами [1]. Она существенно нелинейна, поэтому для ее решения применяется метод «упругих» решений Ильюшина.

Решение задачи термоупругопластичности для сдвига и прогиба можно записать в следующем рекуррентном виде [2]:

$$\begin{aligned} \psi &= \beta + \dots \beta + \dots \\ + \int \dots & \int \dots \\ w' &= \alpha \int \dots - \dots + \dots \\ + \dots & - \dots + \dots \end{aligned}$$

Пусть, начиная с момента $t = t_1$, осуществляется мгновенная разгрузка и повторное нагружение усилиями обратного знака p'' , q'' , изменяющимися по тому же закону, что и при нагружении из естественного состояния. Эти усилия создадут в k -м слое стержня перемещения u'' , ψ'' , деформации

ε'' , ε'' и напряжения σ'' , σ'' . При этом будем предполагать, что за время разгрузки и последующего переменного нагружения температура во всех точках тела остается неизменной, совпадающей с полем температуры к моменту начала разгрузки, и модули упругости приняли фиксированные в этот момент значения.

Рассмотрим один класс переменных нагружений, который позволяет построить решение при повторном нагружении по известному решению задачи о нагружении из естественного состояния [3]. Введем для всех величин напряженно-деформированного состояния и нагрузки разности, в которых величины с одним штрихом — напряжения, деформации и перемещения в стержне перед разгрузкой, двумя штрихами помечены аналогичные параметры в процессе второго полуцикла:

$$\begin{aligned} \sigma'' &= \sigma'' - \sigma'' , \quad \varepsilon'' = \varepsilon'' - \varepsilon'' , \\ u'' &= \dots , \quad \psi'' = \psi'' - \psi'' = \dots , \\ q'' &= \dots = \dots . \end{aligned}$$

Для величин, отмеченных звездочкой, принимаются физические уравнения состояния

$$s_{об}^{(k)*} = \dots \varepsilon_{об}^{(k)*},$$

$$\sigma'' = \varepsilon'' = \dots$$

В этом случае, краевая задача для величин со звездочками с точностью до обозначений совпадает с краевой задачей о нагружении стержня из естественного состояния и отличается только отсутствием температурных слагаемых. Поэтому ее аналитическое решение будет иметь подобный рекуррентный вид. После этого, зная, например перемещения на первом полуцикле u' , ψ' и величины со звездочками u'' , ψ'' , перемещения в процессе второго полуцикла получим из соотношений

$$\begin{aligned} u'' &= \dots - \dots , \\ \psi'' &= \psi'' - \psi'' = \dots - \dots . \end{aligned}$$

Работа выполнена в рамках программы госпрограммы «Конвергенция».

1. Журавков М.А., Старовойтов Э.И. Математические модели сплошных сред. Теория упругости и пластичности. — Минск: БГУ. — 2010
2. Плещачевский Ю.М., Старовойтов Э.И., Леоненко Д.В. Механика трехслойных стержней и пластин, связанных с упругим основанием. — М.: ФИЗМАТЛИТ. — 2011
3. Starovoitov E.I. and Nagiyev F.B. Foundations of the Theory of Elasticity, Plasticity and Viscoelasticity. — Toronto, New Jersey, Canada, USA: Apple Academic Press. — 2012

ВЗАИМОСВЯЗЬ НОРМАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ С УДЕЛЬНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ ПРОДУВАНИЮ ВОЗДУШНЫМ ПОТОКОМ В ВОЛОКНИСТЫХ И ВОЛОКНИСТО-ПОРИСТЫХ КОМПОЗИТАХ

А.С. Хмара, С.Н. Бухаров, В.П. Сергиенко

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

Цель

Для эффективного снижения шума в транспортной индустрии перспективным является разработка слоистых шумопоглощающих конструкций, в которых каждый слой имеет свое функциональное назначение. Звукопоглощающие слои из композиционных материалов на основе синтетических и природных волокон, относят к наиболее эффективным и перспективным. В частности, они позволяют значительно расширить диапазон свойств волокнистых материалов, получить материалы и конструкции с анизотропией механических, акустических и других свойств, сочетать в одном материале свойства, несовместимые с точки зрения традиционных представлений о материалах [1].

В настоящей работе предложен экспресс-метод оценки звукопоглощения волокнистых и волокнисто-пористых материалов по перепаду давления воздушного потока, проходящего через исследуемый образец, а также установлены регрессионные уравнения, связывающие удельное сопротивление протеканию воздушного потока через образец с нормальным коэффициентом звукопоглощения на разных частотах.

Материалы и методы исследований

Сущность метода измерения удельного сопротивления продуванию потоком воздуха заключается в прохождении регулируемого однонаправленного потока воздуха через образец, и измерении перепада давления между двумя свободными лицевыми поверхностями образца [2].

Для измерения нормального коэффициента звукопоглощения материалов использована система 4206 «Брюль и Кьер» (Дания) представляющая собой современный комплекс средств измерений, аппаратных и программных средств, предназначенный для всестороннего анализа акустических характеристик материалов и компонент композитов.

Для проведения исследований изготовлены образцы звукопоглощающих композиционных материалов на основе льняных и полимерных волокон шести различных составов, приведенных в таблице.

Результаты и их обсуждение

Экспериментально установлено, что образцы на основе волокон льна и полиэфира в целом оказывают большее сопротивление потоку воздуха, чем образцы на основе волокон льна и полипропилена.

Получены регрессионные уравнения, связывающие коэффициент сопротивления продуванию потоком воздуха (R) и коэффициент звукопоглощения (α) для заданной частоты звука. На рис. 1 показана взаимосвязь α с R для частоты звука 1500 Гц.

Таблица. Составы звукопоглощающих композитов

Номер состава	Состав композита		
	Льняные волокна, мас. %	Полипропиленовое волокно, мас. %	Полиэфирное волокно, мас. %
1	70	30	—
2	30	70	—
3	60	40	—
4	70	—	30
5	30	—	70
6	60	—	40

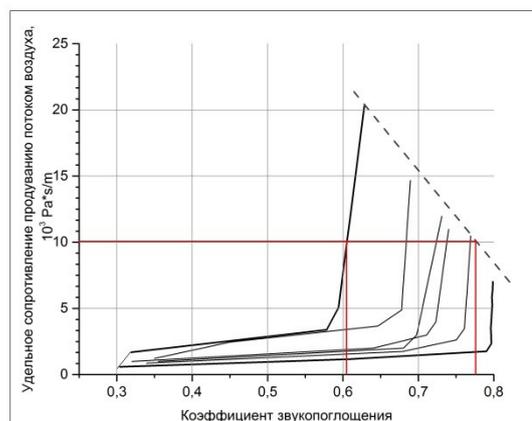


Рис. 1. Оценка коэффициента звукопоглощения для образцов различного состава для частоты 1500 Гц

Таким образом, с учетом полученных регрессионных уравнений известной толщине образца и коэффициенту сопротивления продуванию воздушным потоком, показана возможность оценки коэффициента звукопоглощения волокнистых и волокнисто-пористых материалов неизвестного состава в промышленном диапазоне звуковых частот.

1. Сергиенко В.П., Колесников И.В. и др. Снижение шума и вибрации транспортных средств. — М.: Машиностроение. — 2014
2. ГОСТ Р ЕН 29053-2008. Материалы акустические. Методы определения сопротивления продуванию потоком воздуха. Введ. 01.01.2009 — М.:Стандартинформ. — 2008

АПЛИКАЦИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СВОЙСТВ СВМПЭ

А.Ф. Майер, П.Н. Петрова, О.В. Гоголева

¹Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия; mayerandrei@yandex.ru

²Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия

В данной работе представлено исследование влияния ультразвуковых колебаний на дисперсный порошок СВМПЭ перед процессом горячего прессования на его структуру и физико-механические характеристики.

Материалы и методы исследований

Воздействие ультразвуком происходило в ультразвуковой ванне Laborette 17 с мощностью ультразвука 35 кВт и рабочей емкостью 4 литра, в качестве проводника ультразвуковых колебаний используется вода.

Объектом исследования является, СВМПЭ марки GUR 4120 производства Ticona GmbH представляет собой порошок с молекулярной массой 5 млн. со средним размером частиц 100 мкм. Дисперсный СВМПЭ марки GUR 4120 производства Ticona GmbH сушили в течение 2 ч при 60—80 °С в термошкафу СНОЛ-5325.

Образцы для испытания готовили методом горячего прессования СВМПЭ при 180 °С в течение 20 минут и давлении 10 МПа, время охлаждения пресс-формы около 3 часов.

Исследование физико-механических свойств — предел прочности при растяжении, относительное удлинение при разрыве и модуль упругости определяли на разрывной машине “UTS-2” при скорости движения подвижных захватов 50 мм/мин (ГОСТ 11262–80).

Скорость изнашивания определяли на универсальном трибометре УМТ-2 фирмы CETR (ГОСТ 11629–75) по схеме «палец—диск». Структурные исследования проведены на растровом электронном микроскопе JSM-6480LV фирмы JEOL.

Результаты и их обсуждение

В табл. 1 показаны данные по исследованию физико-механических и триботехнических свойств СВМПЭ подвергнутого воздействию ультразвуковых колебаний (УЗ). Показано повышение всех физико-механических показателей: предела прочности при разрыве до 18%, относительного удлинения до 14% и модуля упругости до 28%, при этом скорость износа уменьшается примерно в 2 раза по сравнению с необработанным ультразвуком СВМПЭ. Установлено, что оптимальное время воздействия УЗ СВМПЭ соответствует 40 мин.

На рис. 1 показано, что структура СВМПЭ изменяется с ламеллярной на сферолитную с видимыми центрами кристаллизации.

Таблица 1. Физико-механические и триботехнические показатели СВМПЭ подвергнутому УЗ

$t_{\text{УЗ}}$, мин	δ_p , МПа	E_p , %	E , МПа	I , мг/ч
—	39	356	765	0,06
10	39	393	886	0,05
20	43	371	924	0,08
30	44	375	984	0,06
40	46	408	983	0,03
50	41	406	878	0,09
60	44	377	969	0,09

δ_p — прочность при разрыве; E_p — относительное удлинение при разрыве; E — модуль упругости; I — скорость массового износа.

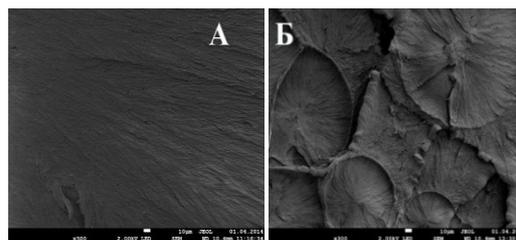


Рис. 1. Надмолекулярная структура исходного СВМПЭ(а) и СВМПЭ подвергнутого УЗ(б), увеличение $\times 300$

Образование центров кристаллизации связано тем, что при воздействии УЗ на порошок СВМПЭ происходит переориентация цепей СВМПЭ в направлении вектора движения ультразвуковых колебаний, что приводит к объединению цепей с разных частиц полимерного порошка в небольшие агрегаты, что при спекании приводит к образованию сферолитных структур.

Полученные результаты позволяют заключить, что использование УЗ в качестве внешнего энергетического воздействия и активации дисперсного порошка СВМПЭ позволяет достичь значительного повышения его механических и триботехнических свойств. При этом исключается процесс подготовки наполнителя, включающий в себя сушку, просеивание, диспергирование, а также процесс смешения наполнителя с полимером. Таким образом, процесс получения полимерного материала из СВМПЭ наоборот упрощается при улучшении его физико-механических свойств.

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПАНЕЛИ С УЧЁТОМ ЧАСТИЧНОГО ОПИСАНИЯ НА УПРУГОЕ ОСНОВАНИЕ

А.А. Поддубный, А.В. Яровая

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь; av.yar@yandex.ru

Слоистые, в том числе трехслойные элементы конструкций широко используются в промышленном и гражданском строительстве, транспортном машиностроении. Достаточно часто встречаются балки и плиты, контактирующие с упругим основанием. В процессе их эксплуатации возможно появления зазора между конструкцией и основанием, из-за чего изменяется расчетная схема балки или плиты. При этом в слоях могут появиться неупругие деформации, а параметры напряженно-деформированного состояния резко измениться, что может привести к преждевременному разрушению.

Постановка задачи и метод решения

Рассматривается несимметричная по толщине трехслойная панель (рисунок 1). Система координат связана со срединной плоскостью заполнителя.

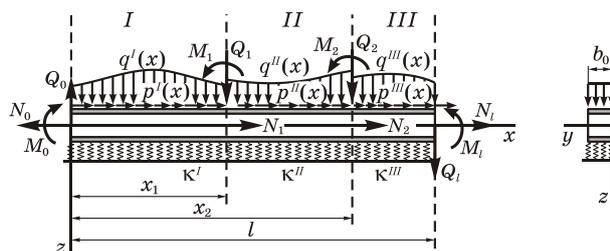


Рис. 1. Расчетная схема трехслойной панели, частично опирающейся на упругое основание

По длине панели выделяются три участка, на каждом из которых нагрузки могут иметь различные величины и закон изменения, а также может присутствовать опирание на упругое основания различной жесткости.

Для описания кинематики трехслойного пакета используется гипотеза «ломаной» линии [1]. Деформации малые. Наружные несущие слои упруго-пластические, а несжимаемый по толщине заполнитель — нелинейно упругий.

Постановка и решение задачи проводятся в перемещениях. В качестве искоемых величин приняты функции $w^n(x)$, $u^n(x)$ — прогиб и продольное перемещение срединной плоскости заполнителя, $\psi^n(x)$ — угол поворота нормали в заполнителе за счет сдвига на n -м участке. В точках сопряжения участков соблюдаются условия непрерывности перемещений.

В слоях используются физические уравнения теории малых упругопластических деформаций Ильюшина. Аналитический вид функций пластич-

ности и нелинейности, механические характеристики материалов несущих слоев и для заполнителя принимались в соответствии с [2].

В работе [3] с помощью принципа Лагранжа были получены дифференциальные уравнения равновесия в усилиях, силовые граничные условия и условия для внутренних усилий в точках сопряжения участков.

Далее компоненты тензора напряжений в слоях были выражены через перемещения, и далее упругие составляющие внутренних усилий через искомые функции. В результате получены системы обыкновенных дифференциальных уравнений, выражающие условия равновесия участков трехслойной панели, связанных и не связанных с упругим основанием.

Для решения этих систем использован метод последовательных приближений, основанный на методе «упругих» решений Ильюшина. В результате рассматриваемая задача на каждом шаге приближения сводится к линейной задаче теории упругости с дополнительными «внешними нагрузками», которые служат поправками на пластичность и физическую нелинейность материалов слоев. На первом шаге они принимаются равными нулю, в дальнейшем вычисляются по результатам предыдущего приближения.

Метод показал достаточно хорошую практическую сходимость: 12-е приближение отличается от предыдущих двух менее чем на 1 % и может быть принято за искомое решение.

Результаты и их обсуждение

Учет нелинейных свойств материалов слоев приводит к увеличению максимальных перемещений на 50%, а напряжений — до 20%. Это необходимо учитывать при проектировании слоистых элементов конструкций, так как во многих случаях они являются элементами сложных и ответственных сооружений.

1. Плескачевский Ю.М., Старовойтов Э.И., Яровая А.В. Деформирование металлополимерных систем. — Минск: Бел. наука. — 2004
2. Старовойтов Э.И. Вязкоупругопластические слоистые пластины и оболочки. — Гомель: БелГУТ. — 2002
3. Яровая А.В., Поддубный А.А. Теоретическое и экспериментальное исследование прогибов трехслойной балки, частично опертой на упругое основание // Теоретическая и прикладная механика. — Минск. — 2014, № 29, 141—147

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕРМОУСАЖИВАЕМЫХ МУФТ

М.М. Ревяко, О.М. Касперович, Е.З. Хрол, А.Ф. Петрушеня

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

Цель

В настоящее время в промышленности выпускается широкий ассортимент муфт на основе термопластичных полимеров, которые применяются для гидроизоляции стыков трубопроводов. В большинстве случаев указанные изделия изготавливаются из полиэтилена, который после процесса формования дополнительно подвергается сшивке и ориентационной вытяжке. При изготовлении муфт производители могут использовать различные марки полиэтилена, сшивать полимер различными методами (под действием химических реагентов, коронного разряда, радиационного излучения и т.д.) и подвергать муфты ориентационной вытяжке в различной степени. Именно по этой причине показатели эксплуатационных свойств подобных изделий, изготовленных разными производителями, могут в значительной степени различаться.

В работе описываются разработанные авторами методы, с помощью которых можно контролировать эксплуатационные характеристики полимерных термоусаживаемых муфт (усилие обжатия труб).

Материалы и методы исследований

Термоусаживаемые полимерные муфты используются для формирования неразъемных соединений трубопроводов, а поэтому усилие, с которым эти изделия обжимают помещенные внутрь них трубы, является очень важной характеристикой указанной продукции. Величина подобного усилия в значительной степени определяется характеристиками полимерного материала, степенью его сшивки и степени ориентационной вытяжки муфты. В работе авторами были предложены методы, с помощью которых можно проводить оценку величины указанного параметра [1—3].

Предложенный метод реализуется на разрывной машине (в частности на машине Instron 2020) (рис. 1). Образец муфты 1 определенной ширины надевается на полукольца 2, которые, в свою очередь, зажимаются в захватах 5 установки. Вся конструкция помещается в термошкаф 6, в котором поддерживается определенная температура. Под действием тепла полимерный материал начинает постепенно усаживаться. С помощью тензометрического датчика измеряется усилие, с которым муфты обжимают кольца.

Результаты и их обсуждение

Таким образом, в предложенном авторами методе имитируются условия эксплуатации полимерных термоусаживаемых муфт, а поэтому результаты, получаемые этим методом, могут использовать-

ся для сравнения эксплуатационных характеристик муфт различных производителей.

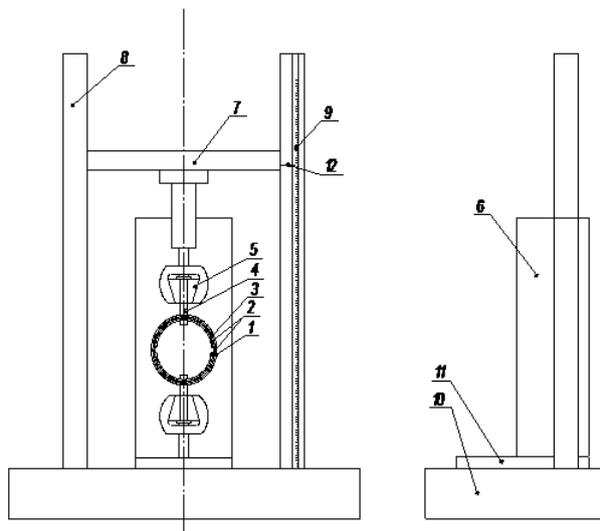


Рис. 1. Схема установки для определения усилия и давления обжатия термоусаживаемой муфтой труб-оболочек: 1 — испытуемый образец; 2 — полукольца; 3 — резиновая прокладка; 4 — крепление полуколец; 5 — захваты; 6 — термошкаф; 7 — верхняя поперечина; 8 — направляющая колонна; 9 — измерительная шкала; 10 — станина установки; 11 — рейки для перемещения термошкафа; 12 — указательная стрелка

С помощью предложенного метода авторы оценили усилие, с которым трубы обжимаются муфтами, изготовленными различными производителями из различных марок полиэтилена (ПЭ 63, ПЭ 80, ПЭ 100).

В результате испытаний авторы выявили оптимальный диапазон характеристик, которыми должны обладать полимерные термоусаживаемые муфты, а также предложили оптимальные режимы их предварительной подготовки.

1. Способ определения давления усадки термоусаживаемой цилиндрической оболочки из полимерного материала, обладающего эффектом памяти формы и устройство для его осуществления: пат. 17268 Респ. Беларусь, МПК7 G 01 L 1/06, G 01 N 3/02. № а 20101331 // Афицыйны бюл. — 2013, № 1
2. Способ определения давления усадки термоусаживаемой цилиндрической оболочки из полимерного материала, обладающего эффектом памяти формы и устройство для его осуществления: пат. 17269 Респ. Беларусь, МПК7 G 01 L 1/06, G 01 N 3/02. № а 20101332 // Афицыйны бюл. — 2013, № 1
3. Способ определения давления усадки термоусаживаемой цилиндрической оболочки из полимерного материала, обладающего эффектом памяти формы и устройство для его осуществления: пат. 17270 Респ. Беларусь, МПК7 G 01 L 1/06, G 01 N 3/02. № а 20101333 // Афицыйны бюл. — 2013, № 1

СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция 7

Медико-биологические аспекты применения полимерных и композиционных материалов

**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ И ТРИБОЛОГИЯ
(ПОЛИКОМТРИБ-2015)**

23—26 июня 2015 г., Гомель, Беларусь

ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАЦИИ ХИТОЗАНА ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЕМ НА АДсорбЦИЮ БЕЛКОВ СЫВОРОТКИ КРОВИ НА МУЛЬТИСЛОЙНЫХ ПЛЕНКАХ ХИТОЗАН / ДЕКСТРАН СУЛЬФАТ

А.А. Шеремет, Т.Г. Шутова

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

Биополимерные покрытия, обладающие высокой резистентностью к адсорбции белков и микроорганизмов, востребованы при создании бионезагрязняемых материалов и оболочек для наночастиц терапевтического и диагностического назначения. Для уменьшения адсорбции белковых молекул поверхность пленок модифицируют слоем ковалентно связанного полиэтиленгликоля (ПЭГ) или электростатически адсорбированного сополимера полиаминокислоты и ПЭГ.

Мультислойные пленки, сформированные методом послойной сборки на основе привитых сополимеров хитозана и полиэтиленгликоля (Хит-г-ПЭГ) и декстран сульфата (ДекС) проявляют высокую резистентность к адсорбции белков эмбриональной телячьей сыворотки (ЭТС) без дополнительной модификации их поверхности. С увеличением числа слоев в пленке адсорбция белков ЭТС на ее поверхности уменьшается. Длина глюкозаминной цепи сополимера практически не влияет на адсорбцию белковых соединений на поверхности пленок (Хит-г-ПЭГ/ДекС)_n [1, 2].

Цель работы изучить влияние длины и степени прививки *g* боковых цепей сополимера Хит-г-ПЭГ на закономерности формирования мультислойных пленок Хит-г-ПЭГ/ДекС и адсорбцию белков ЭТС на их поверхности.

Привитые сополимеры хитозана (450 кДа) и полиэтиленгликоля с *M_w* 0,9 кДа (П1) и 5,0 кДа (П2) получили в фосфатном солевом буфере (рН 7,4), используя 1-этил-3-(3-диметиламинопропил)карбо-димирид и N-гидроксисульфосукцинимид в качестве сшивающих агентов [2]. Степень прививки (*g*), характеризующая отношение числа глюкозаминных звеньев хитозана и боковых цепей ПЭГ, определяли используя краситель метиленовый синий и к-каррагинан [2].

Тонкие пленки (Хит-г-ПЭГ/ДекС)_{5,5} формировали чередуя адсорбцию положительно и отрицательно заряженных полиэлектролитов из их водных растворов (1 мг/мл, рН 6,0) на поверхности кварцевого резонатора (5 МГц, QCM200, SRS) в проточной жидкостной ячейке. На полученных пленках адсорбировали ЭТС в течение 1 ч.

Толщина бислоев Хит-г-ПЭГ/ДекС сравнима с толщиной бислоев на основе немодифицированного хитозана (табл. 1). Для сополимера с длиной боковых цепей 0,9 кДа с увеличением значения *g* уменьшается толщина бислоя Хит-г-ПЭГ/ДекС (табл. 1) и тангенс угла наклона зависимости $\Delta F - \Delta R$ (рис. 1),

что может быть связано с формированием слоя из гибких и гидрофильных цепей ПЭГ на поверхности пленки.

Таблица 1. Свойства мультислоев (Хит/ДекС)_{5,5}

Полимер	g	Толщина бислоя, нм	Масса адсорбированного белка, мкг/см ²
Хит	—	2,9±0,4	3,21±0,71
Хит-г-П1	3	3,4±0,3	0,01±0,17
	6	2,6±0,5	0,52±0,14
	13	1,6±0,5	0,99±0,15
Хит-г-П2	5	1,8±0,4	0,65±0,13
	15	1,3±0,2	1,33±0,21
	43	1,8±0,5	0,98±0,13

Примечание. Приведены средние значения, рассчитанные из пяти независимых измерений. Толщина бислоев и масса адсорбированного белка рассчитана по уравнению Сауэрбрея [1]. Плотность пленок принималась равной 1,3 г/см² [1].

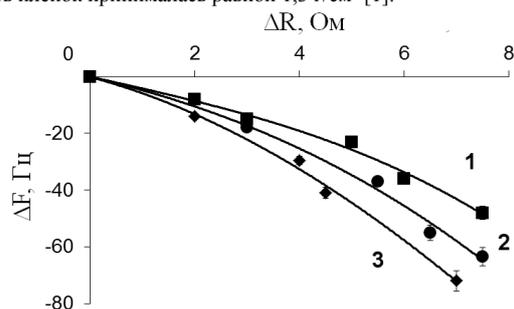


Рис. 1. $\Delta F - \Delta R$ для (Хит-г-П1/ДекС)_{5,5} с различной величиной *g*: 1 — 3; 2 — 6; 3 — 13

Адсорбция белков ЭТС на поверхности пленок (Хит-г-ПЭГ/ДекС)_{5,5}, уменьшается по сравнению с пленками немодифицированного хитозана. Мультислой на основе Хит-г-П1 с высокой концентрацией ПЭГ в макромолекуле сополимера (*g*=3) практически полностью ингибируют адсорбцию белков.

Таким образом, мультислойные пленки (Хит-г-ПЭГ/ДекС)_n, проявляют высокую резистентностью к адсорбции белков ЭТС, причем степень ингибирования адсорбции белковых соединений зависит от степени прививки боковых цепей полиэтиленгликоля.

1. Мастич А.А. Свойства мультислойных пленок привитых сополимеров хитозана и полиэтиленгликоля // Молодежь в науке-2014: прил. к журн. "Весті НАН Беларусі". В 5 ч. Ч. 1. Сер. хим.наук. / Под ред. С.А.Усанова — М. : Бел. навука. — 2015, 36—38
2. Шутова Т.Г., Мастич А.А., Ливонович К.С. Мультислойные пленки модифицированных полиэтиленгликолем полисахаридов // Труды БГУ. — 2014 (9), № 1, в печати

АСМ-ОЦЕНКА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФИБРОБЛАСТОВ И СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК ЧЕЛОВЕКА, ОБРАБОТАННЫХ ГЛУТАРОВЫМ АЛЬДЕГИДОМ

Н.И. Егоренков¹, М.Н. Стародубцева¹, И.Е. Стародубцев¹, Д.Р. Петренев¹,
Г.Б. Мельникова², Н.С. Кужель², Е.Э. Константинова²

¹Гомельский государственный медицинский университет, Гомель, Беларусь; marysta@mail.ru

²Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, Минск, Беларусь

При АСМ-исследованиях биологических клеток в контактном режиме сканирования используется предварительная их фиксация (глутаровым альдегидом, этанолом и др.) [1]. Фиксация, связанная с образованием химических связей между молекулами биополимеров (белков), изменяет свойства поверхностного слоя клеток. Как метод подготовки клеточных образцов химическая фиксация допустима при относительных (сравнительных) исследованиях нормальных и патологически измененных клеток. Ее последствия не должны качественно изменять свойства нативных клеток. Но изучение химических сшивок в поверхностном слое клеток является также самостоятельной проблемой, имеющей большое значение для понимания их функционирования.

Цель

Оценить АСМ-методом изменения физико-механических свойств (модуля упругости, силы неспецифической адгезии и силы трения между острием АСМ-зонда и поверхностью клетки, а также фрактальной размерности карт физико-механических свойств поверхности клетки) фибробластов и стволовых клеток человека, обработанных глутаровым альдегидом.

Материалы и методы исследований

В работе использованы культуры первичных фибробластов кожи человека (hFB, 3 пассажа) и стромальных стволовых клеток из жировой ткани человека (hMSC, 3 пассажа), полученные в НИЛ УО «Гомельский государственный медицинский университет». Суспензию клеток наносили тонким слоем на поверхность чистых предметных стекол инкубировали в течение 18 часов, обрабатывали глутаровым альдегидом (37 °С), промывали и высушивали при комнатной температуре. Атомно-силовая микроскопия клеток проводилась в УО «Гомельский государственный медицинский университет» и ГНУ «Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова» на атомно-силовом микроскопе (АСМ) НТ-206 («МикроТестМашины», Беларусь). Измерения проводили в контактном режиме сканирования на воздухе в интервале температур 25—85 °С при относительной влажности окружающей среды 55±10%. Параметры сил трения (среднее значение и среднеквадратическое отклонение) оценивали, анализируя карты латеральных сил прямого и обратного направлений сканирования. Фрактальную размер-

ность рассчитывали с помощью разработанного нами программного комплекса на основе метода подсчета кубов. Осуществлен также мультифрактальный анализ поверхности клеток. Локальный модуль упругости и силы неспецифической адгезии оценивали методом статической силовой спектроскопии при температуре (22±5) °С.

Результаты и их обсуждение

При изучении микромеханических свойств фибробластов и стволовых клеток, обработанных глутаровым альдегидом, установлено увеличение фрактальной размерности карт латеральных сил, локального модуля упругости, силы неспецифической адгезии (острия АСМ-зонда к поверхности клеток), а также уменьшение сил трения (латеральных сил) при увеличении времени реакции клеток с глутаровым альдегидом (от 5 до 35 минут).

При изучении термомеханических свойств фибробластов и стволовых клеток, обработанных глутаровым альдегидом, установлено уменьшение скорости изменения сил трения при увеличении температуры испытаний с увеличением концентрации глутарового альдегида (0,5—1,5%). При этом имеет место уменьшение фрактальной размерности рельефа и средних значений сил трения (латеральных сил между острием АСМ-зонда и поверхностью клеток) независимо от температуры испытаний (25—85 °С). Предложена модель, объясняющую связь изменений АСМ-параметров поверхностного слоя клеток с изменениями физико-механических свойств поверхностного слоя клеток, вызванных действием глутарового альдегида.

Анализ физико-механических свойств изученных фибробластов и стволовых клеток от времени их реакции с глутаровым альдегидом, его концентрации, а также их термомеханических зависимостей свидетельствуют об увеличении жесткости поверхностного слоя клеток, что обусловлено ростом числа межмолекулярных сшивок в нем.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (код проекта Б14-042).

1. Стародубцева, М.Н., Кузнецова Т.Г., Егоренков Н.И. Способы подготовки эритроцитов для исследования методами атомно-силовой микроскопии // Вестник Фонда фундаментальных исследований. — 2008, № 3, 42—51

ВЛИЯНИЕ ХОНДРОИТИН СУЛЬФАТА НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУСТАВНОГО ХРЯЩА

В.И. Николаев¹, С.Ф. Ермаков², Д.А. Зиновкин³

¹ Гомельский государственный медицинский университет, Гомель, Беларусь; nikolaev.v.i@mail.ru

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

³ Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека, Гомель, Беларусь

Цель

Изучить влияние жидкой лекарственной формы хондроитин сульфата (ХС) на смазочную способность сыворотки крови (СК) и суставной хрящ.

Материалы и методы исследования

В экспериментальных исследованиях в качестве смазочного материала использовали сыворотку крови человека, жидкую лекарственную форму ХС, лабораторные животные (крысы).

Проведены измерения коэффициента трения естественной пары хрящ—хрящ, в зависимости от числа колебаний маятникового трибометра.

Внутриуставное введение ХС лабораторным животным проводилось 3-ы с интервалом в 7 дней.

Морфометрические параметры гистологических препаратов проведены по общепринятой методике.

Результаты и их обсуждение

Из экспериментальных данных следует, что смазочный биоконкомпозит СК + ХС, по трибологическим параметрам приближается к натуральной синовиальной жидкости (рис. 1).

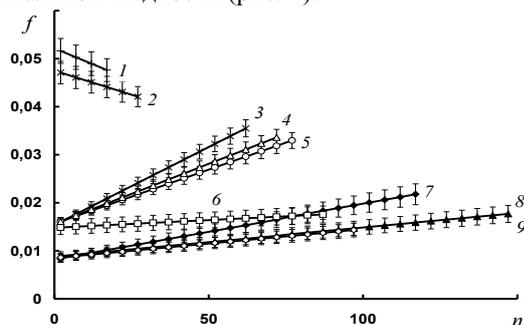


Рис. 1. Зависимости значений коэффициента трения f от числа колебаний маятникового трибометра n , полученные при трении естественной пары хрящ-хрящ в присутствии: 1 — дистиллированной воды; 2 — физиологического раствора; 3 — сыворотки крови; 4 — сыворотки крови + 50% ЛП₁; 5, 6 — ЛП, содержащих ГУК, соответственно; 5 — ЛП₁ «Стекловидное тело»; 6 — ЛП₂ «Остенил»; 7 — ЛП₃, содержащего хондроитин сульфат; 8 — сыворотки крови + 50% ЛП₃; 9 — синовиальной жидкости

Данные морфометрии гистологических препаратов показали, что средняя толщина суставного хряща в экспериментальной группе была $225,4 \pm 14,4$ мкм, в контрольной группе данный показатель составлял $194,2 \pm 18$ мкм. При анализе данного показателя в обеих группах выявлялась ста-

тистическая разница ($p = 0,0019$). Увеличение толщины суставного хряща происходило преимущественно за счет пролиферации глубоких слоев хондроцитов [1, 2].

Исследованная средняя толщина губчатого вещества кости у животных экспериментальной группы составляла $825,2 \pm 127,2$ мкм, в контрольной группе — $827,8 \pm 42,5$ мкм. При сравнения данного показателя в экспериментальной и контрольной группе животных не было выявлено статистической значимости ($p = 0,909$). Микроскопически губчатое вещество кости было представлено костными балками с располагающимся между ними нормоклеточным костным мозгом, при этом в экспериментальной группе отмечалась его очаговая гиперплазия.

В экспериментальной группе, при морфометрии, средняя толщина зоны хряща роста эпифиза составляла $186,5 \pm 6,7$ мкм, в контрольной — $166,3 \pm 6,6$ мкм. При анализе толщины зоны роста метафизов костей была установлена статистически значимая разница ($p = 0,002$). Следует отметить, что утолщение зоны роста метафиза происходило за счет хрящевой метаплазии костных балок губчатого вещества кости.

Хрящевая метаплазия является проявлением регенераторного процесса суставных хрящей. Данные изменения были выраженными в экспериментальной группе в 50% случаев, в контрольной в 20%. При анализе данного показателя в экспериментальной и контрольной группе была выявлена статистическая разница ($p = 0,0001$)

Таким образом, внутриуставное введение препарата на основе хондроитин сульфата приводит к статистически значимому ($p < 0,05$) увеличению как суставного хряща, так и хряща зоны роста метафиза, что является морфологическим проявлением активации регенераторных процессов в них. Данные трибологических исследований являются основой для разработки новых более эффективных методов и средств коррекции синовиальной среды суставов при их дегенеративных поражениях.

1. Павлова В.Н., Копьева Т.Н., Слуцкий Л.И., Павлов Г.Г. Хрящ. — М.: Медицина. — 1988
2. Verbruggen G. Chondroprotective Drugs in Degenerative Joint Diseases // Rheumatology. — 2005 (45), 129—138

**КОМПОЗИЦИОННОЕ НАНОРАЗМЕРНОЕ АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЕ ПОКРЫТИЕ
ДЛЯ ЗАЩИТЫ ИМПЛАНТАТОВ ОТ МИКРОБНОЙ КОЛОНИЗАЦИИ**

Д.В. Тапальский¹, В.А. Осипов¹, А.А. Рогачев², М.А. Ярмоленко²,
А.В. Рогачев², А.А. Ситник³, Г.В. Бутовская⁴, Л.П. Круль⁴

¹Гомельский государственный медицинский университет, Гомель, Беларусь; tapalskiy@gmail.com

²Гомельский государственный университет им. Ф.Скорины, г. Гомель, Беларусь

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

⁴Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Цель

Разработать композиционное покрытие, обеспечивающее длительное поддержание бактерицидных концентраций антимикробных факторов в зоне имплантации.

Материалы и методы исследований

В качестве исходных полимеров использовали порошок полиуретана марки Desmoran 385 и порошок поли-L-лактида марки 4042D, полученный путем измельчения гранул методом криогенного диспергирования. Покрытия на титановых пластинах (титан BT1-0) формировали в вакууме из активной газовой фазы, образованной продуктами электронно-лучевого диспергирования смеси порошков полимеров, хлорида серебра и ципрофлоксацина. Сформированные слои представляли собой полимерную матрицу с распределенными внутри нее частицами серебра размером 20—50 нм. Толщина покрытия 150—300 нм.

Оценка поверхностной бактерицидной активности в отношении *E.coli* ATCC 25922 проведена в соответствии с Японским промышленным стандартом JIS Z 2801:2000. Устойчивость покрытий к механическим воздействиям оценивали путем сравнения величин бактерицидной активности, определенных до и после абразивной обработки, проведенной в жидкой среде. Продолжительность абразивной обработки варьировалась от 1 до 14 суток. Диффузию серебра из антибактериальных покрытий в модельную среду исследовали с использованием метода плазменной масс-спектрографии на приборе ELAN 9000 (Perkin Elmer, США). Процесс формирования бактериальных пленок изучали на титановых пластинах размером 12,5×40×1 мм. В качестве тест-культур использовали антибиотикочувствительные изоляты *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 и *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, полиантибиотикорезистентный клинический изолят *P. aeruginosa* 50127 MBL. Для выбора оптимального метода стерилизации проведено изучение влияния типа и режима паровой, воздушной и радиационной стерилизации на структуру поли-L-лактида и на выраженность антибактериальной активности композиционных покрытий, нанесенных на поверхность титановых имплантатов. Биосовместимость покрытий оценивали по изменению метаболической активности клеточных культур HEp-2, HaCaT и фибробластов, культивируемых на полистироловых по-

верхностях и на поверхностях с нанесенным покрытием. Проведено изучение биосовместимости путем подкожной имплантации титановых стержней с антибактериальным покрытием в область средней линии спины нелинейным лабораторным крысам.

Результаты и их обсуждение

Выявлен выраженный пролонгированный бактерицидный эффект серебросодержащих покрытий и показана его универсальность в отношении микроорганизмов различных таксономических групп. С помощью масс-спектрометрического определения концентраций серебра в модельной среде показано, что скорость высвобождения наночастиц металла из полимерной матрицы увеличивается при использовании биодеструктурируемых полимерных материалов. Выявлена способность полного предотвращения формирования микробных биопленок композиционными покрытиями, содержащими ципрофлоксацин и наночастицы серебра. Показано, что оптимальным методом для предотвращения выраженной деструкции поли-L-лактида и сохранения поверхностной бактерицидной активности покрытия является паровая стерилизация 127 °С — 1,5 атм. — 30 мин.

С использованием клеточных культур сделано заключение о биосовместимости антибактериального покрытия и отсутствии у него цитотоксичности. Исследования местного действия после имплантации крысам показало, что титановые имплантаты с композиционным антибактериальным покрытием обладают большей биосовместимостью и лучшей биоинтеграцией в окружающую соединительную ткань по сравнению с имплантатами без покрытий.

На основании проведенных экспериментов разработаны ТУ ВУ 100070211.044 «Винты, пластина и фиксатор интрамедуллярный с антибактериальным покрытием». Выполнены технические и санитарно-гигиенические испытания имплантатов, проведены клинические испытания, поручено регистрационное удостоверение, разрешающее производство и медицинское применение на территории Республики Беларусь.

Работа выполнена по заданию 03.03 «Разработать и внедрить технологию создания биосовместимых тонкопленочных антибактериальных покрытий с программируемым высвобождением наночастиц» Государственной научно-технической программы «Новые технологии диагностики, лечения и профилактики».

ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ОПЫТА ЖИВОЙ ПРИРОДЫ

Н.А. Татусь, А.Н. Полилов

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия; nikalet@mail.ru

Однонаправленные волокнистые композиты (стекло-, угле-, органо-пластики) обладают наилучшими продольными упруго-прочностными свойствами, но проблемы их крепления или изменения формы сечения не могут быть эффективно реализованы с применением традиционных «металлических» подходов, и именно места крепления зачастую сводят на нет все преимущества полимерных композитов. Опыт живой Природы — например, конструкция дерева, структура около сучка и т.п. — подсказывает пути создания рациональных форм деталей из квазиоднонаправленных композитов и мест их крепления, исключая отрицательные «эффекты перерезанных нитей». В качестве иллюстраций приведены решения нескольких задач.

Рессора из композита наиболее полно удовлетворяет эксплуатационным требованиям, если в ней реализована однонаправленная укладка волокон, при которой волокна располагаются вдоль линий наибольших напряжений. Профилирование (рис. 1) рессоры позволяет снизить вес и уменьшить число листов, если при этом удовлетворить условию постоянства площади поперечного сечения, то получится рессора без перерезанных волокон, что очень важно для сохранения прочности.



Рис. 1. Профилированная балка-рессора

Интересный результат получается, если сравнивать массы профилированной и прямоугольной балок при одновременном выполнении условий по жесткости и по прочности: любая равнопрочная балка в три раза легче прямоугольной.

Учет влияния разориентации проведен в балочном приближении, он сводится к усреднению модуля упругости по каждому сечению с последующим численным решением задачи о прогибе балки с переменным модулем.

Решена задача о распределении напряжений около отверстия с огибающими его волокнами (рис. 2). В предположении о расположении волокон вдоль траекторий главных растягивающих напряжений получено распределение свойств в «новом» модельном материале. В каждом конечном элементе приходится моделировать не только свои упругие

свойства, но и направление оси упругой симметрии. Далее удалось сравнить новое распределение напряжений для модельного материала с локальной прочностью, которая также меняется от точки к точке.

В качестве критерия разрушения на первом этапе рассматривалось просто достижение растягивающими напряжениями вдоль волокон их предела прочности на растяжение. С ростом локального объема содержания волокон растет локальный модуль упругости и значит — возрастают напряжения. Но и локальная прочность, естественно, растет с ростом объемной доли волокон в данной точке. Важно было выяснить: дает перераспределение волокон положительный эффект на несущую способность.

Сравнение напряжений вдоль волокон с их прочностью показывает, что в оптимально уложенной структуре прочность соединения снижается всего на 20%, а не в 3—5 раз как в однородной анизотропной пластине с отверстием, то есть — в принципе — можно создать практически «равнопрочное» соединение за счет криволинейной укладки волокон.

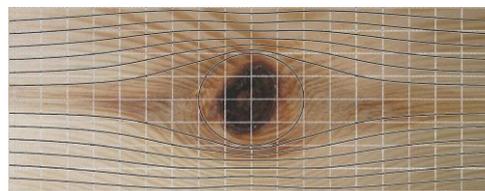


Рис. 2. Линии наибольших главных напряжений, совпадающие с траекториями древесных волокон около сучка

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 15-08-01472 «Технологическая структурная биомеханика композитных материалов с криволинейными траекториями волокон».

1. Полилов А.Н. Механизмы уменьшения концентрации напряжений в волокнистых композитах // Прикладная механика и техническая физика. — 2014 (55), № 1, 187—197
2. Полилов А.Н., Малахов А.В. Построение траекторий волокон, огибающих отверстие, и их сравнение со структурой древесины в зоне сучка // Проблемы машиностроения и надежности машин. — М. — 2013, № 4, 57—62
3. Полилов А.Н., Татусь Н.А., Плитов И.С. Оценка влияния разориентации волокон на жесткость и прочность профилированных композитных элементов // Проблемы машиностроения и надежности машин. — М. — 2013, № 5, 58—67
4. Polilov A.N., Tatus'N.A., and Plitov I.S. Estimating the Effect of Misorientation of Fibers on Stiffness and Strength of Profiled Composite Elements // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. — 2013 (42), no. 5, 390—397

ЭНАНТИОМОРФНЫЕ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ДНК-ПОДОБНЫХ СТРУКТУР

А.С. Азаренок¹, В.А. Банний¹, В.А. Ломач²

¹Гомельский государственный медицинский университет, Гомель, Беларусь; banniy@tut.by

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

Введение

В конце XX века значительно возрос интерес к исследованию и созданию композиционных искусственных сред, обладающих пространственной дисперсией в СВЧ-диапазоне. Правовинтовая спираль молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) может служить идеальным прообразом энантиоморфной структуры композиционного радиопоглощающего материала (РПМ).

Цель работы состояла в теоретическом обосновании возможности применения ДНК-подобных структур в качестве компонента композиционных РПМ и изучении механизма взаимодействия электромагнитного излучения (ЭМИ) СВЧ-диапазона с данными композитами.

Результаты и их обсуждение

В последнее десятилетие появились возможности проведения экспериментов с одиночными молекулами, в том числе, с молекулой ДНК [1]. ДНК представляет собой линейный полимер, построенный из четырех различных мономеров — нуклеотидов. Согласно модели, предложенной Уотсоном и Криком и нашедшей в дальнейшем подтверждение в экспериментальных работах [2, 3], ДНК построена из двух полинуклеотидных цепей, основания которых попарно связаны между собой водородными связями. Спиралевидная цепочка атомов является моделью киральной молекулы, а набор зеркально асимметричных молекул образует киральную (энантиоморфную) среду.

Согласно [3] в СВЧ-диапазоне киральной может быть только искусственная среда, киральные молекулы которой — электропроводящие одно-, двух- или трехмерные микроэлементы зеркально асимметричной формы, размеры которых значительно меньше длины λ электромагнитной волны.

Подобно генетической инженерии, позволяющей «вырезать» из ДНК определенный ген, внести в него желаемые изменения и вернуть его в соответствующий геном, то аналогично этой процедуре, для создания электропроводности спирали ДНК, необходимо ввести в ее состав электропроводящий агент. Следует отметить, что диаметр спирали ДНК значительно меньше λ и составляет 1,5 нм, а период спирали — 3 нм. Исследования [1] свидетельствуют, что механические свойства молекулы ДНК (продольная и изгибная жесткости) влияют на поведение молекулы внутри наноструктур и наноматериалов. Растяжение одиночной молекулы ДНК с помощью атомно-силовой микроскопии позволяет варьировать период спирали ДНК, а соответственно и ее

взаимодействие с внешним ЭМИ. Предполагается, что растянутое состояние ДНК представляет собой двуспиральную молекулу, в которой присутствуют сильно и слабо растянутые звенья. Таким образом, с помощью современных технологий можно создать искусственные материалы с особыми регулируемые электромагнитными свойствами.

Материальные уравнения для киральных веществ имеют вид:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} - \int \epsilon_0 \alpha \frac{\partial \vec{I}}{\partial t}, \quad (1)$$

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \int \epsilon_0 \alpha \frac{\partial \vec{I}}{\partial t}, \quad (2)$$

где α — параметр киральности вещества.

Уравнения (1, 2) показывают, что в киральных средах возможны магнитоэлектрические явления, т.е. переменное магнитное поле может индуцировать в молекулах вещества электрические дипольные моменты. В свою очередь переменное электрическое поле способно создавать в молекулах вещества магнитные моменты. В киральных молекулах электрические дипольные моменты неразрывно связаны с магнитными моментами [4, 5].

Особенности строения молекулы ДНК — зеркальная асимметрия, двойная спираль, наноразмеры — позволяют рассматривать ее как энантиоморфный компонент композиционного РПМ. Достижения современной науки дают возможность выделить отдельную молекулу ДНК, модифицировать форму и размеры спирали, придать новые свойства и создать на ее основе уникальные наноструктуры и наноматериалы, в том числе, РПМ.

1. Кикоть И.П., Савин А.В. Моделирование растяжения молекулы ДНК в рамках крупнозернистой модели // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. — 2011, № 4 (2), 454—456
2. Кнорре Д.Г. Физико-химическая биология: достигнутые рубежи и новые горизонты // Acta Nature. — 2012 (4), № 2 (13), 36—43
3. Savin A.V. and Manevich L.I. Topological Solitons in Spiral Polymeric Macromolecules: A Chain Surrounded by Immovable Neighbors // Physical Review B. — 2001 (63), 224303-1—224303-13
4. Третьяков С. А. Электродинамика сплошных сред: киральные, биизотропные и некоторые бианизотропные материалы // Радиотехника и электроника. — 1994 (39), № 10, 1457—1470
5. Semchenko I.V., Tretyakov S.A., and Serdyukov A.N. Research on Chiral and Bianisotropic Media in Byelorussia and Russia in the Last Ten Years // PIER. — 1996 (12), 335—370

ГИДРОГЕЛЕВЫЕ ЧАСТИЦЫ ПЕКТИН-СЕРЕБРО КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НОСИТЕЛИ ИМАТИНИБА МЕТАНСУЛЬФОНАТА

К.С. Гилевская, А.Н. Красковский, Ж.В. Игнатович, К.А. Al-Muhanna

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

Разработка универсальных биополимерных микро- и наноконтейнеров — это актуальная задача при создании новых лекарственных форм целевой доставки и/или пролонгированного действия.

Цель данной работы — получение гидрогелевых гибридных частиц пектин-Ag, в том числе содержащих иматиниба метансульфонат, методом иотропного гелеобразования.

Гидрозо́ль пектин-Ag получали методом химического восстановления нитрата серебра пектином в щелочной среде. Исходные гидрогелевые частицы на основе синтезированного композита пектин-Ag получали методом иотропного желирования [1]. Частицы имеют отрицательный заряд (~ 10 мВ), а после включения иматиниба приобретают положительный заряд (~ 10 мВ). Эффективность включения иматиниба в частицы составляет 90%, а его массовая доля — 0,5%. Потери иматиниба при двукратной промывке осадков дистиллированной водой не более 5%.

В кислой среде (pH 1,0) 50% от включенного вещества (V_{50}) высвобождается в течение первых двух часов (рис. 1 кривая 1). Затем скорость релиза замедляется и кривая запределивается через 15 часов. Высвобождение иматиниба достигает 80%. В среде с pH 5,5 (0,9% NaCl) значение V_{50} достигается через пять часов. Кинетическая кривая (рис. 1 кривая 2) имеет линейный участок при $t = 7 \div 27$ часов и затем запределивается. Высвобождение иматиниба достигает более 85%. В щелочной среде (PBS pH 7,4) половина от включенного иматиниба высвобождается в 8,5 раз медленнее, чем в кислой, — в течение первых семнадцати часов. Затем кинетическая кривая практически сразу достигает предельных значений (рис. 1 кривая 3). В течение 45 часов в щелочной среде общее количество высвобожденного иматиниба в среде не превышает 55% от включенного.

В физиологическом растворе (рис. 2 кривая 2) релиз иматиниба из частиц пектин-Ag на раннем этапе ($t = 0 \div 7$ ч) обусловлен диффузией, а в дальнейшем ($t = 7 \div 27$ ч) — еще и деструкцией геля [2]. В средах с pH 1,5 и 7,4 высвобождение иматиниба из частиц происходит за счет диффузии. Практически полное высвобождение вещества при pH 1,0 и 5,5 связано с низкой степенью ионизации карбоксильных групп пектина в кислых средах и, кроме того, с экранированием зарядов ионами низкомолекулярного электролита (NaCl). Это приводит к ослаблению кулоновских взаимодействий между молекулами полисахарида и иматиниба. Высвобождение вещества при pH 1 кроме диффузионных процессов обусловлено гидролитической деструкцией пектинатных частиц. В тоже время при pH 7,4 полностью ионизированные карбоксиг-

руппы пектина прочнее удерживают положительно заряженный иматиниб, что обуславливает неполное (менее 60%) и пролонгированное высвобождение этого вещества из частиц в растворе PBS. Деструкции частиц пектин-Ag в растворе PBS не наблюдается в течение 30 часов. Согласно данным ПЭМ (рис. 2), размер частиц пектин-Ag, содержащих иматиниб, после выдерживания в щелочной среде увеличивается в 1,5—3,0 раза по сравнению с исходными и составляет 200—600 нм.

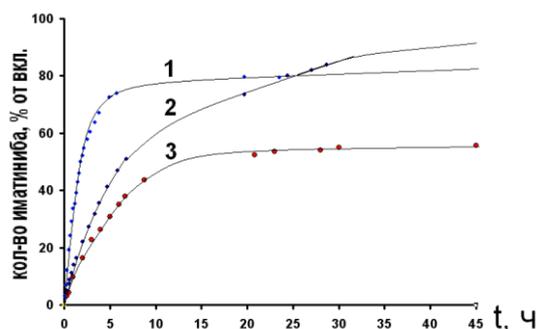


Рис. 1. Кинетическая кривая высвобождения иматиниба из частиц пектин-Ag в средах с различным pH и ионной силой при 37°C: 1) HCl+ NaCl, 2) 0,9% NaCl, 3) PBS 7.4

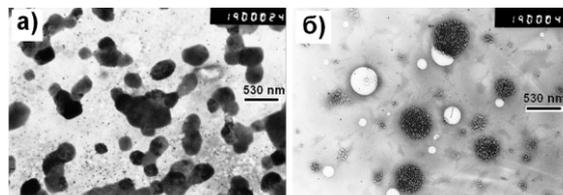


Рис. 2. ПЭМ-изображение гидрогелевых частиц пектин-Ag, содержащих иматиниб, после выдерживания в дистиллированной воде (а) и растворе PBS (б)

Таким образом, показано эффективное использование пектинатных частиц для включения противоопухолевого препарата иматиниба метансульфоната и изучены кинетические закономерности его высвобождения в средах с различной ионной силой и pH.

Работа выполнена в рамках международного договора № KACST-ICHNM/11.

1. Красковский А.Н., Гилевская К.С., Куликовская В.И., Агабеков В.Е. Получение и свойства наночастиц пектината кальция // Известия НАН Беларуси. Сер. хим. наук. — 2014, № 1, 51—56
2. Григорьева М.В. Полимерные системы с контролируемым высвобождением биологически активных соединений // Биотехнология. — 2011, № 4, 9—23

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПЕРОКСИНИТРИТ-ОБРАБОТАННЫХ ТИМОЦИТОВ ЖИВОТНЫХ РАЗНОГО ВОЗРАСТА

И.А. Никитина, М.Н. Стародубцева, А.И. Грицук

Гомельский государственный медицинский университет, Гомель, Беларусь; nikkitina@gmail.com

Введение

В развитии возрастной иммунодепрессии, ассоциируемой с дегенеративными процессами, протекающими в тимусе, важную роль играют механизмы образования активных форм кислорода (АФК) и азота (АФА). Действие последних приводит к накоплению в тканях окислительно-модифицированных белков, липидов, ДНК и других важных биомолекул [1, 2].

С возрастом организма механические свойства поверхностного слоя клеток иммунной системы претерпевают существенные изменения. Это обусловлено комплексом физико-химических и биохимических процессов, в том числе связанных с усиления окислительного стресса [3].

Введение в среду инкубации клеток пероксинитрита (сильного окислителя, способного нитрировать кольца ароматических аминокислот, окислять $-NH_2$ и $-SH$ группы белков и индуцировать процессы ПОЛ [4]) может привести к разному по степени выраженности изменению механических свойств поверхностного слоя клеток (состоящего из гликокаликса, клеточной мембраны, цитоскелета) в зависимости от возраста организма.

Цель

Изучить влияние пероксинитрита на параметры механических (фрикционных) свойств (параметра шероховатости — R_a , фрактальной размерности — D_F , числа пиков на 1 мкм^2 поверхности — N_p и размаха высот — h_{95}) тимоцитов животных разного возраста.

Материалы и методы исследований

Исследования проводились на атомно-силовом микроскопе «НТ-206» («МикроТестМашины», Беларусь) в режиме записи «карт латеральных сил» — сил трения, возникающих между острием АСМ-зонда и поверхностью клетки. Область сканирования $1,5 \times 1,5 \text{ мкм}^2$. Тимоциты выделяли из тимуса белых крыс 3-х и 8-ми месячного возраста. В исследованиях пероксинитрит синтезировали в реакции подкисленной H_2O_2 с нитритом натрия. Концентрация пероксинитрита — 30 мкМ.

Результаты и их обсуждение

Анализ полученных АСМ-изображений не выявил каких-либо значимых возрастных различий в распределении названных параметров механических свойств нативных тимоцитов животных изучаемых

возрастных групп (табл. 1).

Механические свойства поверхностного слоя тимоцитов оказались чувствительными к действию пероксинитрита (табл. 2). Так, в тимоцитах 3-х месячных крыс возрастает N_p и уменьшается R_a (шероховатость), а у 8-ми месячных — увеличивается R_a , N_p и H_{95} на фоне уменьшения D_F .

Таблица 1. АСМ-параметры поверхности тимоцитов крыс 3-х и 8-ми месячного возраста; $n = 16—24$

Параметры	3-х месячные	8-ми месячные
R_a , усл. ед.	$\frac{0,74}{0,63—0,86}$	$\frac{0,63}{0,44—0,87}$
h_{95} , мкм	$\frac{3,39}{2,90—4,20}$	$\frac{3,24}{2,05—4,53}$
N_p , шт.	$\frac{1241,53^*}{1024,34—1485,04}$	$\frac{1676,13^*}{1547,1—2114,8}$
D_F	$\frac{2,52}{2,50—2,63}$	$\frac{2,55}{2,48—2,65}$

Примечание. Данные приведены в формате: над чертой — медиана, под чертой — нижний и верхний квартиль; * — различия достоверны до и после обработки пероксинитритом в одной возрастной группе ($p < 0,05$; критерий Вилкоксона); × — различия достоверны между группами разного возраста ($p < 0,05$; критерий Манна-Уитни)

Таблица 2. АСМ-параметры участков поверхности тимоцитов крыс 3-х и 8-ми месячного возраста, обработанных 30 мкМ пероксинитрита; $n = 16—24$

Параметры	3-х месячные	8-ми месячные
R_a , усл. ед.	$\frac{0,47^{*×}}{0,38—0,66}$	$\frac{1,01^{*×}}{0,82—1,28}$
h_{95} , мкм	$\frac{2,22^*}{1,38—3,40}$	$\frac{4,63^{*×}}{3,82—6,59}$
N_p , шт.	$\frac{1605,04^{*×}}{1468,51—1841,48}$	$\frac{2204,99^{*×}}{17,83—2517,71}$
D_F	$\frac{2,54^*}{2,51—2,60}$	$\frac{2,25^{*×}}{2,24—2,26}$

Заключение

Пероксинитрит в концентрации 30 мкМ оказывает существенное влияние на механические (фрикционные) свойства поверхностного слоя тимоцитов животных разного возраста.

1. Анисимов В.Н. Молекулярные и физиологические механизмы старения. — СПб.: Наука — 2003
2. Friguet B. Oxidized protein degradation and repair in ageing and oxidative stress // FEBS Letters. — 2006 (580), 2910—2916
3. Арутюнян А.В. Механизмы свободнорадикального окисления и его роль в старении // Успехи геронтологии. — 2009 (22), № 1, 104—116
4. Зенков, Н.К. Ланкин В.З., Меньщикова Е.Б. Окислительный стресс. Биохимические и патофизиологические аспекты. — М.: МАИК «НАУКА». — 2001

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИСКУССТВЕННЫХ КОЖ

В.Д. Борозна, А.Н. Буркин

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

В настоящее время в Республике Беларусь все чаще для деталей заготовок верха обуви стали использовать современные искусственные кожи (ИК), которые по своим характеристикам близки к натуральным и восполняют их дефицит. Кожа искусственная представляет собой волокнистую или тканевую основу, проклеенную или пропитанную латексами, растворами полимеров или смолами и относится к слоистым композиционным материалам, которые состоят из листовых или расположенных послойно волокнистых компонентов, скрепленных между собой с помощью связующего [1]. Однако широкое применение ИК сдерживается нехваткой сведений об их физико-механических свойствах, а информация о структуре и сырьевом составе ИК иногда просто отсутствует. Существующий технический нормативный правовой акт (ТНПА) [2] не достаточно информативен и не позволяет адекватно оценить качество и технологическую пригодность ИК, т.к. в нем предлагается определять всего два показателя: разрывную нагрузку и удлинение при разрыве.

В этой связи в данной работе был проведен комплекс исследований по совершенствованию входного контроля ИК с целью определения необходимого и достаточного перечня показателей для оценки их свойств и прежде всего — технологических. При этом необходимо было учитывать тот факт, что предлагаемые методики должны быть легко воспроизводимыми и позволяли бы использовать имеющееся испытательное оборудование лабораторий обувных предприятий.

Суть наших разработок заложена в двух взаимодополняющих направлениях: первое из которых заключается в определении дополнительных двух показателей: коэффициента поперечного сокращения материалов и допустимого относительного удлинения ИК при формовании заготовок верха обуви; второе связано с применением, разработанных нами методик проведения испытаний материалов на двухосное растяжение [3] и определение также двух показателей: соотношения упругой и пластической деформации и допустимой относительной деформации материалов при формовании. Оба направления позволяют использовать разрывные машины любого типа, которые имеются на большинстве обувных предприятий концерна «Беллегпром». Второе направление потребует изготовление специальных устройств к разрывным машинам, которые можно изготовить даже на базе ремонтного цеха обувного предприятия. Однако второе направление существенно повышает эффектив-

ность входного контроля ИК за счет более достоверной оценки ее технологической пригодности. Утверждение данных методик осуществляется руководством предприятия, а поверка средств измерений (СИ) метрологическими службами.

Проведение подобного рода работ особенно актуально в связи с расширением товарооборота в рамках Таможенного Союза и предстоящим вступлением Республики Беларусь в ВТО. Кроме того, данные методы и устройства могут быть использованы для испытания любых листовых материалов, в том числе и композиционных, применяемых в различных отраслях промышленности.

Разработанные методы испытаний и СИ используются обувными предприятиями концерна «Беллегпром» для оценки пригодности материалов к использованию в обуви различных способов формования верха. Они отличаются универсальностью и простой технической исполнением, которое позволяет проводить исследования материалов двухосным растяжением по ГОСТ 938.16–70, ГОСТ 29078–91, ISO 3379-76, ISO 17695-2004 с использованием только одного любого из разработанных нами СИ [4]. Следует также отметить, что предлагаемых разработки исключают необходимость приобретения дорогостоящих СИ иностранного производства. Теоретическая часть работы, связанная с расчетом деформации материалов на пуансонах выполненных в виде тел вращения может быть использована в проектировании различного оборудования для формовании листовых материалов, в том числе и для производства обуви, одежды, галантереи и т.д. Основные теоретические и практические результаты работы использованы в преподавании отдельных курсов материаловедения, товароведения и технологии изделий легкой промышленности в Витебском государственном технологическом университете. В целом внедрение работы на отдельных предприятиях позволило снизить выпуск некачественной продукции в 1,5—2 раза.

1. Струк В.А. и др. *Материаловедение*. — Минск: ИВЦ Минфина. — 2008
2. ГОСТ 17316-71 Кожа искусственная мягкая. Метод определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве; введ. 1973-01-01. — М.: Государственный комитет СССР по стандартам. — 1998
3. Буркин А.Н., Вожгуров Г.С., Комлева Н.В., Семашко М.В. Приборы для исследования свойств материалов при продавливании сферической поверхностью // *Метрология и приборостроение*. — Минск. — 2007, № 2 (37), 27—30
4. Буркин А.Н., Петрова-Буркина О.А., Борозна В.Д. Методы оценки деформационных свойств материалов при двухосном растяжении // *Сб. науч. ст. и воспоминаний «Памяти В.А. Фукина посвящается»*. Ч. 3. — М.: МГУДТ. — 2014, 51—60

СЕТЧАТЫЕ ПОЛИУРЕТАНОВЫЕ ПОКРЫТИЯ И ИХ БИОСТОЙКОСТЬ

Н.Н. Ласковенко¹, Ж.П. Коптева², И.А. Козлова², Е.В. Лебедев¹

¹Институт химии высокомолекулярных соединений НАН Украины, Киев, Украина;
nilla.laskovenko@gmail.com

²Институт микробиологии и вирусологии им. Д. К. Заболотного НАН Украины, Киев, Украина

Эффективность антикоррозионной защиты наземных, подземных и подводных сооружений зависит от качества пассивной защиты и, в первую очередь, от биостойкости покрытий. Одной из причин нарушения однородности и снижения защитных свойств материалов является жизнедеятельность микроорганизмов. Надежным способом защиты материалов от микробных повреждений является введение в их состав биоцидов. Эти вещества вызывают коагуляцию белков, окисляют сульфгидрильные группы в структуре белков.

Цель

Изучение биостойкости сетчатых полиуретановых покрытий к воздействию коррозионно активных бактерий.

Материалы и методы исследований

В качестве изучаемых материалов представлены не модифицированные полиуретановые системы со сложноэфирной гидроксилсоставляющей — образец 1 и модифицированные полиуретаны (образцы 2, 3, 4 (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика полиуретанов

1	ПУ — полиуретан, в качестве гидроксилсоставляющей — сложный полиэфир
2	ПУ + антисептик — В-[О- Ti — (O-C ₄ H ₉) ₃] ₃
3	ПУ + Zn (цинковый порошок)
4	ПУ+НОНО — наноструктурированный органо-неорганический олигомер [1]

Для исследования использованы ИК-спектральный, трансмиссионно — оптико-микроскопический анализы, гостовские методы определения твердости, прочности на разрыв и растяжение полимерных пленок. В качестве показателей роста бактерий были: наличие биопленки бактерий на исследованных образцах покрытий, рН (кислотность среды) и Eh (окислительно-восстановительный потенциал среды), содержание сероводорода (H₂S) и сульфатов (SO₄⁻²) в культуральных жидкостях бактерий.

Результаты и их обсуждение

Как показали исследования, среда с испытуемыми образцами № 1—4 была прозрачной, пленка бактерий на поверхности среды отсутствовала. В биопленке, снятой с поверхности образцов полиуретанового покрытия (№ 1—4), бактерии не выявлены, т.е. по микробиологическим показателям эти образцы покрытий были биостойкими. ИК-спектроскопические исследования на примере образцов № 1, № 3,

№ 4 показали, что основной состав материалов после экспозиции в культурах бактерий не изменяется, что является дополнительной характеристикой биостойкости материалов.

Кроме того, образцы полиуретанового покрытия по физико-механическим показателям также можно отнести к биостойким материалам — эластичность и прочность пленок после выдержки в культурах с коррозионноактивными бактериями практически оставались на уровне исходных (табл. 2).

Трансмиссионно — оптико-микроскопические исследования (рис. 1) показывают стабильность структуры пленок после выдержки их в культурах с коррозионноактивными бактериями.

Таблица 2. Физико-механические свойства полиуретановых покрытий до и после микробиологических испытаний после микробиологических испытаний (м)

№	σ, мПа	E, %	№	σ, мПа	E, %
1.	27,0	38,0	1м.	27,4	37,8
2.	30,0	26,0	2м.	31,0	26,5
3.	15,0	39,0	3м.	15,5	38,4
4.	14,0	39,0	4м.	14,5	38,5

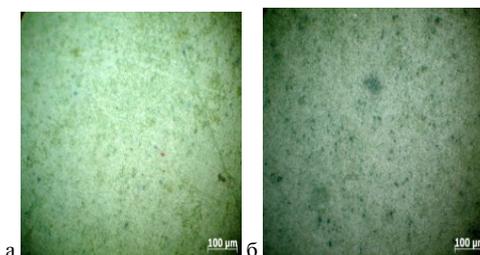


Рис. 1. Трансмиссионно- оптико-микроскопические фотографии ПУ-пленок: а — исходная, б — после микробиологических испытаний

Заключение

Проведенные исследования показали, что материалы на основе полиуретанов со сложноэфирной гидроксилсоставляющей либо полиуретаны модифицированные, цинковым порошком, либо наноструктурированным органо-неорганическим олигомером являются биостойкими к действию бактерий — деструкторов и могут быть рекомендованы для создания защитных антиобрастающих покрытий для объектов на ГЭС, АЭС, Киевводоканал и др.

1. Ласковенко Н.Н., Мышак В.Д., Семиог В.В, Лебедев Е.В. Наноструктурированные линейные, сетчатые полимеры и способы их получения // Материалы конференции «Наноструктурные материалы-2010». — Киев. — 2010, 812

БИОСОВМЕСТИМЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРНОГО НИТИНОЛА

Е.О. Насакина¹, А.С. Баикин¹, М.А. Каплан¹, Г.Н. Бикбова¹, М.А. Севостьянов¹,
А.Ю. Федотов¹, А.Г. Колмаков¹, П.А. Витязь², М.Л. Хейфец³

¹Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия; nasakina@mail.ru

²Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь

³Государственное научно-производственное объединение «Центр» НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Цель

В случае широкого ряда социально значимых заболеваний врачи сталкиваются с необходимостью восстановления просвета полых участков сердечно-сосудистой, дыхательной, пищеварительной и выделительной систем для возобновления нормальной циркуляции физиологических потоков. При этом все большее распространение приобретает процедура вмешательства без проведения полостной хирургической операции: путем установки в необходимом участке тела медицинских изделий типа «стент», доставляемых простым катетером [1].

Целью данной работы было создание биосовместимого композита на основе нитинола, обладающего эффектом памяти формы (необходимым для создания самораскрывающихся стентов) и физико-механическими свойствами, подобными поведению живых тканей организма (сверхэластичность, соблюдение закона запаздывания), но содержащего токсичный никель [2], и биодеградируемого полимера хитозана, известного своей нетоксичностью, неиммунногенностью, антимикробными свойствами и т.д. и пригодного для закрепления и постепенного выделения лекарственных средств непосредственно в месте лечения [3—4].

Материалы и методы исследований

Использовалась проволока диаметром 280—300 мкм из наноструктурного нитинола (поперечный диаметр зерна 30—70 нм). Наноструктурирование нитинола позволяет эффективно регулировать свойства сплава (изменение гистерезиса, металлоемкости материала и т.д.), приводит к более низкому по сравнению с микроструктурным нитинолом удельному весу и достаточно высоким параметрам формоизменения при наличии ЭПФ и сверхэластичности, лучшему совпадению изделия по геометрическим параметрам с изогнутыми участками протезируемого органа, уменьшению сечения в транспортном положении. Проволока подвергалась механической (последовательная полировка шкурками различной зернистости) и термической (отжиг при температуре от 400 до 500 °С в течение 15 минут) обра-

ботке. В качестве наполнителя полимерного слоя использовались антибиотики.

Методом дифференциальной спектроскопии была изучена кинетика выхода лекарственных средств из материала в растворы моделирующие внеклеточные жидкости организма. Исследования микроструктуры материала проводили на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) TESCAN VEGA II SBU, снабженном приставкой для энергодисперсионного анализа INCA Energy.

Результаты и их обсуждение

Растворы хитозана готовили на основе уксусной, соляной, фосфорной и глутаминовой кислот концентрации от 1 до 4%, способствующей гомогенности полимерного слоя толщиной от 4 до 70 мкм. Оптимальной выбрана концентрация кислоты 3%, способствующая формированию толщины 15—30 мкм с наилучшими механическими характеристиками и биодеградацией. Скорость биодеградации покрытия при pH среды от 5,8 до 9,2 в зависимости от хитозана (высокомолекулярный или среднемолекулярный) и типа антибиотика (линкомицин, цефотоксим, гентамицин) составляла от 4 до 358 дней. В зависимости от вводимого антибиотика и его концентрации от 0,9 до 7% наблюдалось изменение скорости выхода от 100% в течение первых суток до начала выхода только на 10 сутки. При разном составе и толщине покрытия можно получить различную биодеградацию покрытий в зависимости от необходимого применения.

1. A Survey of Stent Designs- D. Stoeckel', C. Bonsignore' and S. Duda' — Min Invas Ther & Allied Technol- 11(4)- pp. 137-147- 2002Гуль В. Е. Структура и прочность полимеров. — М.: Химия. — 1971
2. Stoeckel D, Pelton A, and Duerig T. Self-Expanding Nitinol Stents: Material and Design Considerations // Eur Radiol. — 2004 (14) no. 2, 292—301
3. Hu B, Wang SS, Li J, Zeng XX, Huang QR. Assembly of bioactive peptide-chitosan nanocomplexes // J Phys Chem B 2011;115:7515—23
4. Singla AK, Chawla M. Chitosan: some pharmaceutical and biological aspects—an update. J Pharm Pharmacol 2001;53:1047—67

БИОЦИДНАЯ КОМПОЗИЦИЯ НА ОСНОВЕ ПВХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОПРОПАНСОДЕРЖАЩИХ ТИОЭФИРОВ

Р.З. Шахназарли

Институт полимерных материалов НАН Азербайджана, Сумгайыт, Азербайджан; abasgulu@yandex.ru

Из большого числа известных биоцидов в практике используются считанные. Это связано, прежде всего, с серьезными требованиями, предъявляемыми к ним. Известны соединения, содержащие в своем составе различные гетероатомы и функциональные группы, проявляющие высокую активность по отношению ко многим микроорганизмам, обеспечивающих их эффективность при малых дозах [1—3].

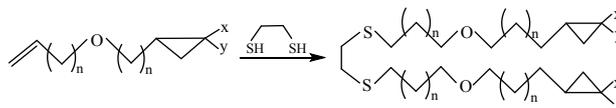
Для расширения ассортимента полимерных материалов и придания им новых специфических свойств приходится дополнительно применять различные вспомогательные вещества. С этой целью в состав полимерной композиции помимо основных ингредиентов вводят добавки, улучшающие стабильность, перерабатываемость, совместимость отдельных компонентов, биостойкость и т.д.

Наиболее эффективным и простым приемом решения проблемы модификации структуры и

свойств полимерных материалов является создание композиционных материалов. При этом всегда стремятся разработать такие композиционные материалы, которые обладали бы одновременно несколькими специфическими свойствами. Эта проблема решается выбором в качестве добавок специальных соединений, содержащих гетероатом, циклические фрагменты и функциональные группы.

С этой целью нами реакцией этандитиола с винил(аллил)циклопропиловыми эфирами синтезированы циклопропансодержащие тиоэфиры, которые были использованы в составе ПВХ.

Полученные в результате этих реакций замещенные циклопропиловые эфиры, благодаря своим особенностям химической структуры, были использованы в качестве активных добавок к синтетическим полимерам, улучшающих их эксплуатационные свойства.



$n=0$, $x=y=Cl$ (I); $x=y=CO_2Et$ (II); $x=CO_2Et$, $y=H$ (III)

$n=1$, $x=y=Cl$ (IV); $x=y=CO_2Et$ (V); $x=CO_2Et$, $y=H$ (VI)

В случае использования этих добавок к ПВХ было установлено, что полученные аддукты оказывают несколько действий, улучшающих свойства полученных композиций.

Выявлено, что изготовленные на основе ПВХ композиции с использованием синтезированных аддуктов проявляют улучшенные показатели по термостабильности, прочностным показателям и реологическим свойствам, низкие температуры замерзания и повышенную эластичность, что указывает на стабилизирующее и пластифицирующее действие этих соединений. Кроме этого, композиции приобретают биологическую устойчивость.

Таким образом, наличие циклопропансодержащих тиоэфиров со сложнотирными группами или хлорными атомами, так называемые «стабиопла-

сты», в составе ПВХ придает изготовленным композициям по крайней мере три специфических свойства — стабилизирующее, пластифицирующее и биоцидное.

1. Шахназарли Р.З., Рамазанов Г.А., Гулиев А.М. Биологическая защита полимерных композиций с применением серосодержащих аддуктов / «Пластмассы со специальными свойствами». Сб. науч. тр. Разд. 3. Санкт-Петербург. — 2011, 259—261
2. Шахназарли Р.З. Бактерицидные пластификаторы для поливинилхлорида на основе аллилциклопропилметиловых эфиров. Матер. VIII Межд. науч.-практич. конфер. «Прикл. Науч. Разработки». Прага. — 2012, 53—58
3. Шахназарли Р.З. Биоцидные добавки для поливинилхлорида на основе винилциклопропиловых эфиров // European Science Review. — 2014, № 2, 35—39

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ МИКРОУДОБРЕНИЯ (Cu, Zn, Mn) ДЛЯ ВНЕКОРНЕВОЙ ПОДКОРМКИ ВЕГЕТИРУЮЩИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

О.В. Шахно^{1,2}, Л.Ю. Бражникова¹, Ю.И. Матусевич¹

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

²Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

В последнее время одной из наиболее популярных инноваций в растениеводстве является применение микроэлементов в форме микроудобрений [1] для внекорневой подкормки сельскохозяйственных культур. Для удобства (не требуется дополнительный процесс растворения) микроудобрения используют в виде готовых жидких растворов [2] или суспензий [3].

Обычно в состав микроудобрений входит смесь микроэлементов (Cu, Zn, Mn, Fe, Co, Mo и др.). Наиболее эффективными являются микроудобрения, содержащие микроэлементы в хелатной форме, которая по сравнению с солевыми формами значительно лучше усваивается растениями.

Микроудобрения, в состав которых входит стандартный набор микроэлементов, не всегда оказываются эффективными для определенных почвенно-климатических условий и конкретной культуры. При появлении симптомов болезней, связанных с недостатком какого-либо микроэлемента [1, 4], как правило, используются моноудобрения.

Цель

Разработка составов и исследование моноудобрений для внекорневой подкормки сельскохозяйственных культур в период вегетации, включающих хелатные комплексы металлов (Cu, Mn, Zn) и полимерное связующее, совместимых с необходимыми добавками и устойчивых при длительном хранении.

Материалы и методы исследований

Источником микроэлементов (Cu, Zn, Mn) служили соответствующие сульфаты, а комплексообразователем — ЭДТА. В качестве полимерного прилипателя использовался промышленно производимый препарат ВРП-3.

Опыты по урожайности проводились на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (P₂O₅ — 210 мг/кг, K₂O — 340 мг/кг, рН = 5,8—5,9, гумус — 1,9%). Площадь опытной делянки 15 м² повторность четырехкратная. Обработка проводилась в фазу трубкования (ДК 34) и в фазу колоса (ДК 51). Фоном служил раствор триады в концентрации 0,6 л/га. Препараты микроэлементов вносились в концентрации 1,0 л/га.

Результаты и их обсуждение

Получены различные композиты микроудобрений для внекорневой подкормки сельскохозяйственных культур в период вегетации, содержащие микроэлементы в комплексной форме с ЭДТА (медь — 60, цинк — 61 и марганец — 53 г/л) и полимерный прилипатель ВРП-3 для пролонгации действия и равномерного распределения компонентов по поверхности растений и их фиксации. Препараты совместимы с добавками, не расслаиваются и не теряют своих свойств в широком температурном интервале от –30 до +45 °С.

Данные композиты являются однородными растворами, что позволяет наносить их на поверхность вегетирующих растений путем распыления. При этом минимизируются потери питательных веществ и необходимых компонентов при внекорневой обработке растений, а также увеличивается активность фунгицидов (развитие септориоза и мучнистой росы в среднем на 2% ниже в присутствии препаратов микроэлементов) и увеличивается урожайность (таблица). Это позволяет снизить нормы расхода и получить экономический и экологический эффекты.

Таблица. Влияние препаратов на урожайность озимой пшеницы при обработке по вегетации относительно фона

Препарат содержащий микроэлемент	Фаза развития, ДК	
	34	51
	Прибавка в, ц/га	Прибавка в, ц/га
Cu	1,7	1,4
Zn	1,9	2,9
Mn	2,8	1,2

1. Обзор рынка микроудобрений. — Режим доступа: — http://www.agromage.com/stat_id.php?id=314.
2. Лапа В.В., Рак М.В. Применение макро- и микроудобрений в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур // Белорусское сельское хозяйство. — 2009, № 4 (84), 40—43
3. Стратегические вопросы ресурсосбережения в использовании удобрений. — Режим доступа: — <http://agrosbornik.ru/sovremennye-resursosberegayushhie-technologii>.
4. Обзор рынка хелатных микроудобрений. — Режим доступа: <http://xelat.com.ua/ru/resources/articles/41-obzor-rynka-xelatnyx-mikroudobrenij>

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Al-Muhanna K.A.	270	Адериха В.Н.	123, 189
Barkanov E.	80	Адудин И.А.	223
Belyaev O.	239	Ажаронок В.В.	180
Berladir K.V.	245	Азаренок А.С.	269
Bochkov I.	200	Азизов А.Г.	35
Budnik A.F.	245	Акименко С.С.	235
Budnik O.A.	245	Акулич Я.В.	154
Bukharov S.N.	80	Александров В.М.	201
Chernous D.A.	253	Алексеев А.Г.	8
Choe Heeman	253	Алиева А.М.	160
Choi Hyunjoo	253	Аллаяров С.Р.	241
Frank R.	178	Анисимов В.Н.	18
Gohs U.	6, 178	Анисович А.Г.	180
Grytsenko K.	29, 239	Антипов В.И.	214
Heinrich G.	6, 178	Антонов М.	93, 257
Ivanov L.	29	Ануфриенко М.С.	210, 218
Izuwah Johns Eyioama	198	Арастович Т.В.	135
Khan M.S.	178	Аргунова А.Г.	233, 234
Kolomzarov Yu.	29, 239	Арзуманова Н.Б.	19
Kozhushko V.V.	80	Афанасьев Е.П.	111
Kreivaitis R.	199	Афоничева О.В.	189
Ksianzou V.	239	Ахмедов Э.Н.	41, 155
Kupčinskas A.	199	Багирова Ш.Р.	35
Lehmann D.	178	Баикин А.С.	274
Mäder E.	26, 27	Байрамов А.А.	136
Meri R.M.	200	Банний В.А.	269
Padgurskas J.	199, 200	Баранов Е.Е.	214
Reškevičius G.	200	Бардушкин В.В.	181
Rudenko P.V.	245	Барташевский С.Е.	97
Scheffler C.	6	Басинюк В.Л.	83, 202
Schrader S.	29, 239	Бахшалиев В.И.	94
Sergienko V.P.	80	Башлакова А.Л.	252
Shil'ko S.V.	253	Безгин В.С.	42
Shin Donghoon	253	Безрученко В.С.	24, 125
Slominskii Yu.	29	Бейтюк А.Л.	40
Tolmachev O.	29	Белоногий Д.Ю.	109
Tolstopyatov E.	239	Белоцерковский М.А.	75
Zhandarov S.F.	26, 27	Березина Е.В.	69, 190
Zicans J.	200	Береснев В.М.	221
Zschech C.	6	Берладир К.В.	247
Žunda A.	200	Бикбова Г.Н.	274
Абдуллин И.Ш.	44	Бильдюкевич А.В.	59
Абдурахманов Х.З.	226	Биран В.В.	214
Абрамова Т.М.	30, 149	Бисеров В.Т.	115
Агабеков В.Е.	124, 154, 191, 195	Бисерова Н.В.	71, 115
Агафонова Г.В.	246	Близнец Д.А.	158
Адаменко Н.А.	153, 246	Блинов О.В.	68

Бобров А.В.	54, 156	Выдумчик С.В.	133
Бобрович О.Г.	218	Выбра Е.А.	159
Бобрышева С.Н.	157	Вялый И.Е.	240
Бобылев А.А.	97	Гавриленко О.О.	133
Богданов А.Л.	127, 193	Гавриленко С.Л.	255
Богданова В.В.	25	Гаврильева А.А.	8
Богданович П.Н.	158	Гайдай О.А.	187
Богданович С.П.	5, 123	Галямова К.Н.	44
Богорош А.Т.	12	Гараева А.А.	46
Боженко Т.Г.	197	Гарифуллин А.Р.	44
Бойко А.А.	128, 148	Гвоздев А.А.	85
Бойко М.В.	23, 185, 197	Гельман А.В.	116
Болотов А.Н.	107	Герасименко С.А.	134
Борисенко М.В.	256	Герасимов А.И.	90
Борисова Р.В.	58, 222	Герасимук А.Э.	246
Бородуля В.А.	33	Гилевич А.Г.	21
Борозна В.Д.	272	Гилевская К.С.	270
Бочкарев Д.И.	213	Глазунова А.А.	45, 84
Брагина В.П.	226	Гнеденков С.В.	230, 240
Бражникова Л.Ю.	276	Гоголева О.В.	126, 182, 260
Браунович М.	77	Годлевский В.А.	68, 69
Будник А.Ф.	247	Голиков А.Н.	222
Будник О.А.	247	Гологан В.Ф.	180
Бузник В.М.	230	Голосов Д.А.	217
Булгаревич С.Б.	23, 185	Гольдаде В.А.	135, 136
Буркин А.Н.	272	Гончар А.Н.	113
Бурлов А.С.	197	Горбачев А.А.	122, 236
Бурмистр М.В.	18	Горбунов В.А.	235
Бурченков К.С.	190	Горячева И.Г.	106, 205
Буря А.И.	138, 186, 250	Гракович П.Н.	237, 238
Бутовская Г.В.	14, 43, 267	Грачева Е.А.	125
Бухаров С.Н.	259	Грачек В.И.	60
Бухилова М.А.	207	Григорчик А.Н.	75
Буяновский И.А.	177, 184	Григорьев А.Я.	83, 205, 206
Валенков А.М.	48, 129, 130	Григорьев С.Н.	73, 188, 194
Валенчиц Т.П.	149	Гриншпан Д.Д.	113, 114
Валько Н.Г.	21, 131	Гринюк Е.В.	62, 161
Васильев А.В.	149	Грицук А.И.	271
Васильев А.П.	8	Гулиев А.М.	41, 64, 155, 160, 174
Васильев С.В.	90	Гулиев К.Г.	46, 160
Васильева В.С.	38	Гумен В.Р.	71
Васильева Ф.Д.	231	Гусейнов И.А.	55
Винидиктова Н.С.	132	Гусейнова Т.Н.	46
Виноградов Л.В.	214	Гусейнова Ф.И.	46
Виноградов Л.М.	33	Гуцев Д.М.	257
Витязь П.А.	274	Давыдов А.А.	31, 145
Вишневецкий К.В.	50	Давыдова М.Д.	63
Волкотруб Р.Е.	84, 203	Данилова С.Н.	8
Волнянко Е.Н.	191, 204	Данилович Т.Г.	37, 161
Волосова М.А.	73, 194	Данильченко С.А.	138
Воробьева Е.В.	166	Данильчик А.В.	236
Воронин С.В.	215	Данишевский В.Н.	127

Дворак А.М.	74	Иванов В.В.	165
Деменков Э.А.	107	Иванова Л.Р.	7
Демин М.В.	73	Иванова Н.А.	154
Деркун А.В.	197	Иваночкин П.Г.	138
Джавадов М.Я.	47	Ивахник А.В.	86, 207
Джавадов Н.Г.	47	Ивахник В.П.	207
Джанахмедов А.Х.	47	Игнатович Ж.В.	270
Джафаров Р.В.	160	Ильин С.О.	67
Джилавдари И.З.	82	Ильющенко А.Ф.	208
Дмитриев Н.Н.	251	Имшинецкий И.М.	230
Дмитриченко Е.Э.	205	Исакова Т.А.	248
Дмитрович А.А.	208	Искендерова Р.М.	160
Долгачева М.Н.	159	Исмаил И.А.	94
Долинская Р.М.	162	Исмаилов И.А.	64
Доценко А.И.	177	Исмаилова Р.И.	55
Дробышевская Н.Е.	128, 148	Ищенко Н.Я.	173
Дроздов А.В.	201	Казак А.В.	67, 85
Дубина А.В.	137	Казанкин В.А.	99
Дубкова В.И.	32, 33	Казанкина Е.Н.	99
Дубодел В.П.	48, 163	Казаченко В.П.	74
Дубровский В.В.	28	Казуров А.В.	153
Евдокименко Н.М.	18	Калинин Л.А.	152, 241
Евельсон Л.И.	95	Калиниченко А.С.	83
Евсеева Л.Е.	33	Калмыкова А.Г.	197
Евсикова Н.Ю.	49	Калугин И.А.	184
Егоренков Н.И.	265	Камалова Н.С.	49
Егоркин В.С.	240	Каплан М.А.	274
Емельянов Г.А.	242	Карапетян А.Н.	96
Ердаков И.Н.	216	Карпинчик Е.В.	86
Ерёмина Е.А.	186	Карпович О.И.	137
Ермаков С.Ф.	127, 193, 266	Касперович А.В.	57, 218
Ермоленко М.В.	217	Касперович О.М.	262
Ермолович О.А.	132, 135	Катинас Е.	93
Жарин А.Л.	102, 103	Кахраманов Н.Т.	19, 35
Жарская Т.А.	164	Каюшников С.Н.	50
Железнов А.Г.	69	Кириллина Ю.В.	231
Житницкий А.Л.	76	Кириллов Д.А.	181
Жогло Г.А.	227	Кирюхин Д.П.	230
Жорник В.И.	86, 207	Климовцова И.А.	43
Жук И.Г.	238	Князкина И.В.	71
Журавлева М.В.	164	Кобычно И.А.	170
Заболотских С.Ю.	237	Ковалев А.	257
Завадский С.М.	217	Ковалева И.Н.	10, 83, 205, 206
Загорский Д.Л.	66	Ковалева С.А.	86, 202, 203
Зернин М.В.	254	Ковалевский А.А.	119, 120, 121, 139
Зиновкин Д.А.	266	Коваль В.Н.	123, 149
Злотников И.И.	81, 130	Коваль И.В.	244
Зотов С.В.	136, 140	Коврига В.В.	9, 71, 116
Зубарева А.В.	140	Ковязин М.В.	115
Зубко В.И.	34	Коднянко М.Ю.	158
Зубко Д.В.	34	Козинец М.В.	85
Ибатуллин И.Д.	70	Козлова И.А.	273

Козырев А.В.	32	Лабунов В.А.	139
Колбая В.Г.	116	Лавыш Д.В.	21
Коленов С.А.	91	Лазарев Э.М.	214
Колесников В.И.	138, 179, 181, 196, 197	Лазарева Н.Н.	231
Колмаков А.Г.	274	Лапшина Е.М.	39
Колмаков Ф.Г.	214	Ларикова С.Н.	125
Комар О.М.	119, 120	Ласковенко Н.Н.	273
Комаров А.И.	192	Лачинов А.Н.	118
Комарова В.И.	192	Лашхи В.Л.	177
Константинов В.Г.	127	Лебедев В.Я.	211
Константинова Е.Э.	265	Лебедев Е.В.	273
Кончиц В.В.	77	Леванцевич М.А.	88, 202, 228
Коптева Ж.П.	273	Левченко В.А.	184
Коптовец А.Н.	97	Леонов А.Ю.	98
Корзун К.А.	121, 139	Лешкевич А.В.	51
Корнев Ю.В.	205	Лешок А.В.	208
Корниенко Л.А.	7	Лин Д.Г.	166
Коровина Ю.В.	162	Лисицын В.И.	49
Короткевич С.В.	109	Лисицын Р.Ю.	190
Космачева Т.Г.	154	Лобачев В.А.	201
Костюник Р.Е.	76	Лобкова М.П.	84, 203
Кошко Т.И.	14	Ломач В.А.	269
Кравцевич А.В.	36	Лукашевич М.Г.	167
Кравцов А.Г.	140	Лукичева Н.С.	168
Кравченко В.В.	109	Лукьянов А.С.	25
Красковский А.Н.	209, 270	Луценко Е.В.	236
Красневский Л.Г.	78	Луцко В.Ф.	112
Краснов А.П.	4, 189	Лысенко А.А.	170
Крейвайтис Р.	206	Маевская О.И.	32, 33
Кривогуз Ю.М.	141, 142	Майер А.Ф.	260
Кроитору Д.М.	180	Макаревич С.Е.	113
Кропотин О.В.	235	Макаренко А.В.	212
Круль Л.П.	14, 37, 267	Макаренко В.М.	237
Крутько Э.Т.	164	Макаренко О.А.	142
Ксенофонтов М.А.	38, 133	Макаров М.М.	231
Кудина Е.Ф.	22, 132, 143	Максимченко Н.Н.	88
Кудло В.В.	238	Маленко П.И.	98
Кудрицкий В.Г.	92, 257	Малый А.Б.	13
Кудян С.Г.	150	Мамедли У.М.	19
Кужель Н.С.	265	Мамедова А.А.	55
Кузей А.М.	87	Мануленко А.Ф.	52
Кузин В.В.	188, 194	Мардосевич Е.И.	83, 202
Кузнецов А.Ю.	168	Мартыненко С.М.	210
Кузнецова Ю.С.	30	Марфин Ю.С.	54, 156
Кузьменков Д.С.	100	Марченко Э.В.	165
Кузьменкова Н.В.	136	Марченко Ю.В.	165
Кузьминский Ю.Г.	256	Маскалюнайте О.Е.	237
Кукареко В.А.	75, 86, 237	Матвеенко В.Н.	184
Куликовская В.И.	124, 209	Матвейчикова П.В.	175
Купреев А.В.	210, 218	Матлин М.М.	99
Курбанов М.А.	136	Матусевич Ю.И.	53, 276
Кущев А.В.	76	Машков Ю.К.	235

Машталяр Д.В.	230	Оганесян К.В.	96
Мединцев С.В.	108	Ольховик В.К.	20
Мезрин А.М.	66, 219	Опимах Е.В.	176
Мекид С.	82	Опра Д.П.	240
Мельников С.Ф.	157	Орда Д.В.	192
Мельникова Г.Б.	265	Осипов В.А.	267
Меркушев Д.А.	54	Островская Л.Е.	38
Метёлкин В.А.	115	Охлопкова А.А.	8, 58, 89, 222, 231
Мешков В.В.	108	Охлопкова Т.А.	222
Мигаль Ю.Ф.	179, 196	Павлов А.В.	223
Микитевич В.А.	102, 103	Павлюкевич Т.Г.	133
Микулич В.С.	24, 125	Падгурскас Ю.	206
Мионов С.В.	190	Памфилов Е.А.	101
Михайлов М.И.	169	Панин С.В.	7
Михаловский И.С.	191	Пантелеев К.В.	102, 103
Михневич А.С.	146, 212	Пантюхов О.Е.	48, 159
Мишин А.В.	254	Папина С.С.	83, 202
Можаровский В.В.	100	Паровой Е.Ф.	70
Мозгалёв В.В.	17, 144	Перминов Я.О.	170
Мозырев А.Г.	57	Песецкий С.С.	5, 30, 123, 149, 189
Морозов А.В.	219	Петренев Д.Р.	265
Муравский Ал.А.	24	Петрова Н.Н.	171
Муравьева Т.И.	66	Петрова П.Н.	89, 90, 248, 260
Мустафаев А.М.	55	Петроковец Е.М.	251
Мышак В.Д.	56	Петрусевич В.В.	213
Мышкин Н.К.	10, 77	Петрушеня А.Ф.	262
Мяделец В.В.	57	Петухова Е.С.	15, 16
Мясникова Н.А.	138	Петушков Д.В.	32
Набережная О.А.	250	Пилипчук Е.В.	228
Надараи К.В.	230	Пильгун Ю.В.	91
Назарова Н.А.	55	Пилюшина Г.А.	101
Назарович А.Н.	25	Пилявский В.С.	187
Наркевич А.Л.	137	Пименов Д.Ю.	224
Насакина Е.О.	274	Пинчук Т.И.	33
Наумкин А.В.	189	Пискунов С.В.	130
Наумов А.Г.	220	Плескачевский Ю.М.	7, 146
Нгуен Суан Т.	7	Плиско Т.В.	59
Невар Т.Н.	114	Подденежный Е.Н.	128, 148
Некрасова В.В.	237	Поддубко С.Н.	78
Немченко У.С.	221	Поддубный А.А.	261
Никитина И.А.	271	Подобед Д.Л.	157
Никифоров Л.А.	58	Пожарицкий А.В.	237
Николаев В.И.	266	Поздняков Е.П.	92
Николаев И.В.	104	Поликарпов А.П.	60, 62
Новиков А.К.	145	Полилов А.Н.	268
Новиков В.В.	72, 190	Полонянкин Д.А.	104
Новиков В.Ю.	221	Полтаранин М.А.	7
Новиков Е.С.	179	Полункин Е.В.	187
Новокрещенов В.В.	216	Полховский В.М.	237
Носов К.С.	39	Полховский М.В.	244
Нуралиев А.Ф.	136	Пономарёва Г.З.	46
Овчинников К.В.	128, 136, 140	Пономаренко А.Г.	197, 225

Попов А.Н.	74	Сергиенко В.П.	259
Попов С.И.	165	Сизоненко Н.О.	246
Попова М.А.	74	Сиканевич А.В.	145
Попова О.С.	112	Синебрюхов С.Л.	230, 240
Портной М.Р.	188	Синёв И.В.	172
Портной Н.Р.	194	Ситник А.А.	267
Портнягина В.В.	171	Сицко Г.Н.	34
Приходченко Л.К.	122, 236	Скаковский Е.Д.	14, 43
Прожега М.В.	183	Скидченко Е.А.	44
Прокопович В.П.	43	Скорикова Н.С.	22
Прокопчук Н.Р.	17, 50, 52, 162	Слепцова С.А.	231
Пурцеладзе В.И.	242	Смирнов А.В.	172
Пучков В.Н.	225	Смирнов Е.Н.	91
Радзиевский В.А.	76, 105	Смирнов Н.И.	183
Разумов А.А.	220	Смирнов Н.Н.	183
Рамазанов Г.А.	41, 155, 174	Смирнова А.И.	67, 85
Рамазанов Э.А.	55	Смирнова М.В.	67
Расулов С.А.	226	Смуругов В.А.	214
Рачишкин А.А.	107	Снежков В.В.	152
Рева О.В.	25, 40	Соколова М.Д.	63
Ревяко М.М.	262	Соловей Н.Ф.	145
Резников И.В.	114	Солодовникова Д.Н.	196
Релмасира К.Д.	98	Соломянский А.Е.	195, 209
Ризноокая Н.Н.	82	Солопова А.Н.	57
Ровба И.А.	227	Сорокин А.И.	181
Рогачев А.А.	14, 267	Сосновский С.В.	212
Рогачев А.В.	267	Станкевич В.М.	146
Рожкова Н.Н.	85	Старовойтов Э.И.	258
Романов Р.И.	73	Стародубцев И.Е.	265
Рубаник В.В.	112	Стародубцева М.Н.	265, 271
Руденко П.В.	247	Стельмах А.В.	76
Румянцев Е.В.	54, 156	Стельмах А.У.	91, 105, 187
Рыбаков А.А.	127	Степанкин Н.Н.	92
Рыбкин Н.Н.	254	Степанов Ф.И.	106
Рябченко Т.В.	254	Стищенко П.В.	235
Савенкова М.А.	196	Столярова О.О.	66
Савина Е.В.	242	Стручкова Т.С.	8
Савицкая Т.А.	113, 114	Стулов С.А.	68
Савицкий Д.М.	258	Судник Л.М.	32
Савицкий Н.Е.	140	Суриков Вад.И.	104
Сакович О.К.	161	Суриков Вал.И.	104
Салазкин С.Н.	118	Суторьма И.И.	146
Сальников Л.И.	37	Сутягин О.В.	107, 108
Самусенко В.Д.	177	Сушко Н.И.	13
Санин А.Ф.	117	Сычев А.П.	181
Сароян В.В.	96	Сычев М.М.	175
Саушкин В.В.	49	Тапальский Д.В.	267
Сачек Б.Я.	66	Тарасевич В.А.	191
Свириденко А.И.	10	Татусь Н.А.	183, 268
Севостьянов М.А.	274	Ташлыков И.С.	218
Селькин В.П.	212	Тимошенко В.В.	81, 147
Семиног В.В.	56	Тихонов М.М.	40

Тихонов Р.С.	90	Чапланова Ж.Д.	125
Ткачев В.И.	150	Чернец М.В.	79
Ткачѳв В.М.	216	Чернец Ю.М.	79
Толстопятов Е.М.	232	Четверикова В.А.	197
Торская Е.В.	106, 205	Чмыхова Т.Г.	204
Третинников О.Н.	13, 122, 236	Шанбанович Г.Н.	62
Тулъев В.В.	218	Шаповалов А.В.	147, 159
Тураходжаев Н.Д.	226	Шаповалов В.М.	128, 150, 166
Тураходжаева Ш.Н.	226	Шапошникова В.В.	118
Турбин П.В.	221	Шахназарли Р.З.	64, 174, 275
Турсунов Т.Х.	226	Шахно О.В.	14, 276
Тычинская Л.Ю.	14, 43	Шашок Ж.С.	51, 57
Урецкая О.В.	148	Шашура Л.И.	227
Усольцева Н.В.	67, 85	Шевченко В.В.	151
Фалалеев С.В.	70	Шелег В.К.	228
Федоров А.Л.	89, 90	Шелестова В.А.	243, 244
Федоров В.Д.	149	Шеремет А.А.	264
Федоров М.Ю.	188	Шилагарди Г.	12
Федоров С.Ю.	188, 194	Шилина Е.В.	117
Федорович Е.А.	131	Шилова О.А.	175
Федотов А.Ю.	274	Шилько С.В.	7, 254
Феколин П.В.	216	Шимчук С.П.	105
Фефелов В.Ф.	235	Шипко А.А.	192
Филатов С.А.	12	Ширяева Т.А.	197
Филиппович С.Д.	60	Ширяева Т.И.	82
Фомина Е.К.	61, 62	Шкрабатовская Л.В.	122, 236
Фоминский В.Ю.	73	Шпара И.А.	116
Фофанов А.Д.	22	Шпилевский Э.М.	12
Халдеева А.Р.	63	Шрубиков С.Н.	112
Хамова Т.В.	175	Шумская В.Ю.	152
Хандмаа Ц.	12	Шункевич А.А.	60
Хейфец М.Л.	274	Шурмелевич Д.Д.	112
Хило П.А.	81	Шутова Е.А.	48
Хмара А.С.	259	Шутова Т.Г.	264
Холодилов О.В.	109	Южик Л.И.	86
Хрол Е.З.	262	Яворская В.В.	97
Хуссаинова И.	257	Якименко О.В.	62
Цветкова Е.А.	135	Якимцова Л.Б.	161
Целуев М.Ю.	243, 244	Якубов Л.Э.	226
Целых Е.П.	104	Янкаускас В.	93
Цыганкова Н.Г.	113, 114	Ярмоленко М.А.	267
Цыдик И.С.	238	Яровая А.В.	261
Чалабиева А.З.	173	Яценко В.С.	20

Электронное
научное издание

**Международная научно-техническая конференция
«ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ И ТРИБОЛОГИЯ»
(ПОЛИКОМТРИБ–2015)**

Тезисы докладов

Ответственные за выпуск:
И.Н. Ковалёва, С.М. Мартыненко, В.В. Терехов