

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



НОВЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**V Республиканская научно-техническая
конференция молодых ученых**

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

**Гомель
12-14 ноября 2018**

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

V Республиканская научно-техническая
конференция молодых ученых

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

12–14 ноября 2018 г.

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ



Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования: материалы V Республиканской научно-технической конференции молодых ученых, Гомель, 12–14 ноября 2018 г. — Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2018. — 79 с.

ISBN 978-985-6477-49-5

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

СОДЕРЖАНИЕ

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

Башлакова А.Л. Влияние малых концентраций углеродного наполнителя на свойства композитов на основе фторопласта –4	6
Белов Д.А., Велюго Ю.В., Кузьменков Д.М. Получение поликарбоксилатных пластификаторов на основе метоксиполиэтиленгликолей различной молекулярной массы	7
Демидов Д.В., Коваленко Д.Е. Регулирование вязкости водной дисперсии акрил-стирольного сополимера теплоизоляционного назначения	9
Исаков С.А., Лещик С.Д., Гостик Ю.А. Установка для газодинамического струйного охлаждения зоны термического влияния сварного шва	11
Исаков С.А., Лещик С.Д., Гостик Ю.А. Газодинамическое охлаждение зоны термического влияния сварного шва низкоуглеродистых сталей	13
Карев А.И., Яворская Д.Г., Горностаева Е.А., Безуглая Е.Д. Технологическая схема получения строительных изделий из древесно-полимерных композитов	15
Ковалева Я.А., Семченко А.В. Влияние концентрации Al на морфологию пленочных золь-гель структур ZnO:Al	17
Козерожец И.В., Семенов Е.А., Панасюк Г.П. Получение наноразмерных частиц бемита при разных температурах гидротермальной обработки	19
Козерожец И.В., Семенов Е.А., Панасюк Г.П. Синтез и исследование наноразмерных порошков оксидов и гидроксидов алюминия	19
Комаров А.И., Искандарова Д.О., Орда Д.В. Структура и свойства поршневого сплава АК12М2МГН, сформированные под воздействием комплексной модифицирующей добавки ФСС и меди	20
Кравцевич А.В., Ровба И.А., Панцержинская М.И. Влияние технологического давления на теплофизические свойства полимерных композитов на основе полиамида	23
Латышев И.А., Гапанькова Е.И. Структура модифицированных канифолетерпеномалеиновых аддуктов	25
Радюк А.Н. Получение и свойства композиционных полимерных материалов с волокнистым наполнителем	27
Радюкевич Д.Л., Мельникова Г.Б., Чижик С.А. Получение композитных микрочастиц амоксциллина методом распылительной сушки	28

Тимофеев А.А., Тимошенко В.В. Влияние смесей термопластичных полимерных отходов на физико-механические характеристики полимер-минеральных композиций	30
Тимошенко В.В., Тимофеев А.А. Разработка и исследование композиционных материалов на основе смешанных термопластичных полимерных отходов	31
Цобанова Н.В. Свойства полимерных композиций модифицированных древесным углем	32
Шилько И.С. Анализ влияния углеродных наполнителей различных марок на эксплуатационные характеристики композиционных материалов антифрикционного назначения на основе ПТФЭ	34
 Секция 2. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ	
Борозна В.Д. Влияние многоцикловых нагружений на изменение структуры искусственных кож	37
Бухаров С.Н., Тулейко А.С. Акустические свойства композиционных материалов на основе природных волокон и звукопоглощающих конструкций на их основе	39
Голубева Е.А., Аль-Абси Р.А. Методы исследования напряженно-деформированного состояния конструкций, состоящих из композиционных материалов, с учетом явлений вязкоупругости	41
Довнар А.И., Довнар Р.И., Башлакова А.Л., Шумская В.Ю. Пластика костей свода черепа композиционным материалом «Суперфлувис+»	42
Кантай Н., Касмамытов Н.К., Рахадиллов Б.К., Павлов А.В., Кеңесбеков А. Структурообразование и физические свойства фарфоровой керамики при различных температурах обжига	44
Римский Г.С., Магонов С.Н. Синтез и кристаллическая структура $Mn_{1-x}Fe_xNiGe$ ($0,05 \leq x \leq 0,3$)	45
Толкачев А.И., Капшай В.Н., Шамына А.А. Анализ генерации второй гармоники-суммарной частоты от тонкого сферического слоя для сонаправленных волн	47
Усова В.Н. Влияние температуры, толщины и плотности образцов из хлорбутилкаучука на их воздухопроницаемость	49
Федорова Т. Г. Применение лазерной сканирующей микроскопии для оценки топографии поверхностей трения	50
Хорошко Л.С., Баглов А.В., Гнидько А.А. Моделирование замещенных решеток гранатов	51
Шамына А.А. Модель ГВГ от поверхности частицы в форме вытянутого эллипсоида вращения в приближении GNLRGD в случае нормального падения плоской электромагнитной волны	53
Шамына А.А., Капшай В.Н., Толкачев А.И. Особые направления в задаче о генерации второй гармоники – суммарной частоты от поверхности диэлектрической сферической частицы	55

Шумская В.Ю. Изучение фильтрационных характеристик пористых слоев многослойных пористых систем	57
Юхно Е.К., Алексеенко И.А., Шевцова К.А., Башкиров Л.А. Магнитные свойства фотолюминофоров на основе индата лантана, легированного ионами европия	60
Секция 3. ТРИБОЛОГИЯ, ФИЗИКА, ХИМИЯ И МЕХАНИКА ПОВЕРХНОСТИ	
Астрашаб Е.В., Григорчик А.Н. Структура и износостойкость газотермических покрытий из высокохромистой стали 20X13, напыленных по различным режимам	61
Ахремчук Д.А., Микитевич В.А., Пантелеев К.В. Метод исследования адгезионной прочности полимерного покрытия на металле по параметрам потенциального рельефа	63
Богданов А.Л., Рубанов К.В. Исследование поверхностей трения методом лазерной сканирующей дифференциально фазовой микроскопии	65
Гладких Т.М., Козловский А.Л., Здоровец М.В., Каниюков Е.Ю. Радиационная стойкость нитридных керамик	67
Григорьев Ф.А. Индустриальное базовое масло на основе растительного сырья	68
Меринов В.К. Исследование влияния графитов разных марок на фрикционно-износные и деформационные характеристики фрикционных полимерных композитов	70
Меринов В.К., Ахметов Т.А. Исследование триботехнических характеристик фрикционных полимерных композитов, наполненных осажденными частицами электроплавильных печей	72
Микитевич В.А., Ахремчук Д.А., Самарина А.В. Методика измерения пространственного распределения поверхностной фотоЭДС полимерных материалов сканирующим зондом Кельвина	73
Петровская А.С., Мельникова Г.Б., Кузнецова Т.А., Чижик С.А., Зыкова А.В., Сафонов В.И. Определение коэффициента трения, силы адгезии и шероховатости покрытий тантала и оксида тантала на поверхностях покровных стекол и нержавеющей стали методом атомно-силовой микроскопии	75
Рахадиллов Б.К., Буйткенов Д.Б., Сагдолдина Ж.Б., Оспанова Ж.А. Повышение трибологических свойств углеродистых сталей с помощью электролитно-плазменного упрочнения	77
Рехлицкая Д.В. Модификация оборудования и способов нанесения покрытий методом гиперзвуковой металлизации	79

**ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ УГЛЕРОДНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ
НА СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ФТОРОПЛАСТА -4**

А.Л. Башлакова

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

Актуальность. Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ, фторопласта-4) являются незаменимыми для решения многих технических задач при проектировании высоконагруженных узлов трения, работающих в агрессивных средах, вакууме, в контакте с пищевыми продуктами, при низких температурах. Это обусловлено исключительной инертностью ПТФЭ и его низким коэффициентом трения. Однако при получении подобных композитов возникают проблемы, связанные с его инертностью, а также высокой вязкостью расплава: трудно достичь хорошего контакта полимера с поверхностью наполнителя, обеспечить их адгезионное взаимодействие. Поэтому недостатком фторопластовых композитов до сих пор остается рыхлая, пористая структура материала, особенно при превышении содержания наполнителя 10%, что приводит к низкой прочности, износостойкости, а в ряде случаев и к растрескиванию материала. В данной работе исследовались физические свойства фторопластовых композитов со степенью заполнения измельченными углеродными волокнами до 10%.

Цель работы. Оценить влияние малых (до 10%) концентраций наполнения измельченными углеродными волокнами на основе вискозной технической нити (УВ), модифицированных в низкотемпературной плазме тлеющего разряда в среде фторорганических соединений, на физические свойства фторопласта-4.

Материалы и методы. Образцы для испытаний изготовлены методом прессования и последующего спекания в виде цилиндров высотой 40 мм и диаметром 40 мм.

Сушка фторопластового порошка производилась в течение 8 часов при температуре 100⁰ С. Прессование при давлении 40 МПа.

Изображения поверхности разрыва были получены на растровом электронном микроскопе. Твердость образцов определялась по методу Шора. Динамический модуль упругости и тангенс угла механических потерь определяли с помощью динамического механического термического анализа в режиме одноконсольного изгиба (ДМА).

Результаты и их обсуждение. Результаты растровой электронной микроскопии:

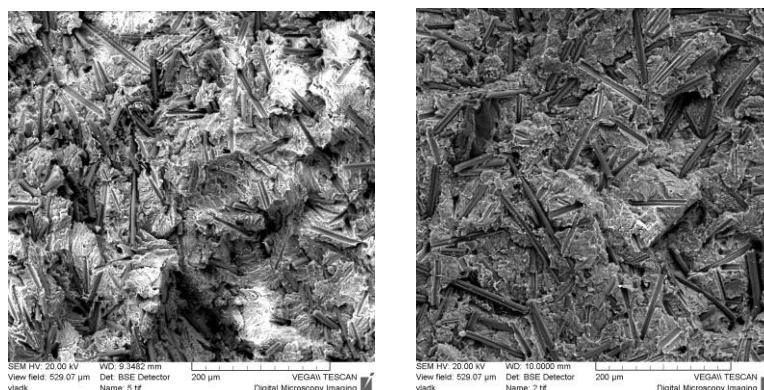


Рис. 1. Электронные снимки поверхностей скола образца, слева — по направлению прессования, справа — перпендикулярно направлению прессования.

На фотографиях отчетливо видно, что волокна наполнителя распределены равномерно по всему объему, отсутствуют агрегаты из УВ. Волокна наполнителя ориентируются преимущественно перпендикулярно оси прессования.

Результаты ДМА:

Для испытаний ДМА были изготовлены образцы в виде прямоугольных брусков размером $2 \times 0,5 \times 20$ мм, температурный диапазон $-60 \dots +170$ °C, частота 1,10 Гц, скорость нагрева $0,01$ °C/мин.

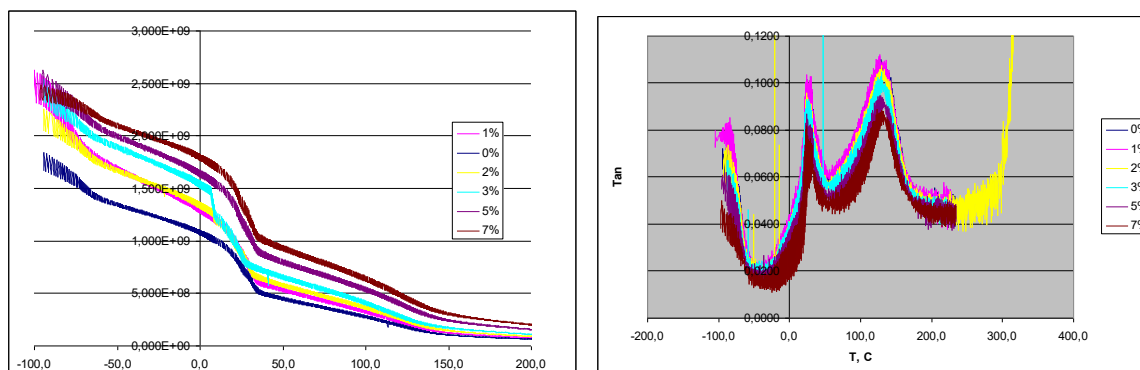


Рис. 2. Зависимость динамического модуля упругости и тангенса угла механических потерь от температуры у фторопластовых композитов с углеродным наполнителем (направление перпендикулярно оси прессования).

С увеличением концентрации УВ-наполнителя снижаются вязкие свойства политетрафторэтилена. Причем наполнение 1% дает увеличение модуля упругости на 16%. При наполнении 2% и 3% разницы в скачке модуля упругости нет, среднее увеличение – 36%. Дальнейшее существенное увеличение модуля упругости происходит при концентрации наполнителя 5% - модуль увеличился на 72%, что мало отличается от концентрации 7% - 85%.

Тангенс угла механических потерь равномерно снижается с ростом концентрации наполнителя.

Результаты определения твердости по Шору:

Процентное соотношение наполнителя, %	0	1	2	3	5	7
Твердость по Шору	46	51	54	56	59	62

Твердость модифицированных образцов возрастает пропорционально концентрации УВ – наполнителя.

Выводы. Введение небольших количеств УВ позволяет существенно изменить вязкостные характеристики ПТФЭ

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИКАРБОКСИЛАТНЫХ ПЛАСТИФИКАТОРОВ НА ОСНОВЕ МЕТОКСИПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЕЙ РАЗЛИЧНОЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ МАССЫ

Д.А. Белов, Ю.В. Велюго, Д.М. Кузьменков

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Введение. На современном этапе в строительной индустрии используется большое количество материалов, предназначенных для пластификации бетонных растворов [1]. Такие продукты представляют собой комплексы из пластифицирующей основы и различных добавок, корректирующих сроки схватывания, скорость набора прочности и способность проведения бетонных работ при минусовых температурах [2].

Наиболее часто используются следующие пластифицирующие основы: полиметиленафталин-сульфонаты, меламиноформальдегидные смолы и лигносульфонаты. Однако, такие материалы работают при довольно высоких дозировках, к тому же их производство не экологично, поэтому представ-

ляет интерес создание новых пластифицирующих основ, способных работать при меньших дозировках и сохранять эксплуатационные характеристики бетонных смесей. К таким относятся поликарбоксилатные пластификаторы – полимерные материалы, полученные на основе производных акриловой и метакриловой кислот. Строение таких макромолекул может быть различным, но наиболее эффективными себя проявили полимеры с гребнеобразной конфигурацией цепи – боковые цепи представляют собой метоксилированные производные полиэтиленгликоля (МПЭГ) [3–5]. Таким образом, целью работы являлось получение поликарбоксилатных пластификаторов и изучение влияния типа боковых цепей макромолекул на пластифицирующую способность в цементно-песчаных смесях.

Материалы и методы. Поликарбоксилаты синтезировались в водном растворе путем радикальной сополимеризации метакрилата натрия и эфиров метакриловой кислоты с МПЭГ (рис. 1). В работе использовался метоксилированный полиэтиленгликоль различной молекулярной массы (350, 750, 1000, 2000 г/моль). Концентрация полученных ПКБ в растворах составляла 30%.

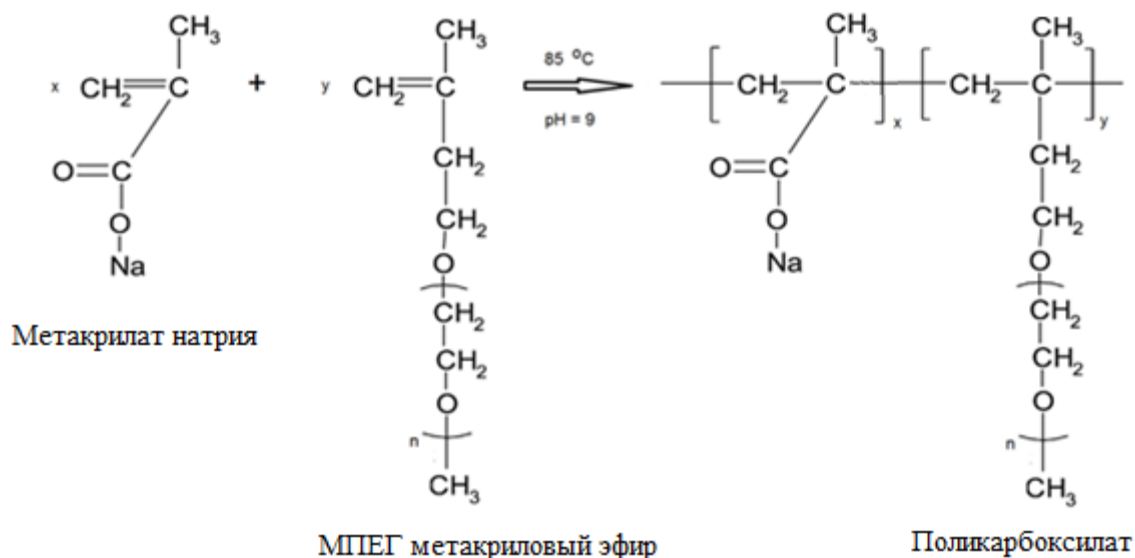


Рис. 1. Схема синтеза поликарбоксилатного пластификатора

Тестирование синтезированных ПКБ велось на цементно-песчаной смеси в соотношении 1:3, водоцементное отношение – 0,48, цемент производства ОАО «Красносельскстройматериалы». Дозировку ПКБ рассчитывали относительно цемента. Эффективность ПКБ оценивалась по распылу конуса при использовании вискозиметра Суттарда.

Результаты и их обсуждение. Известно, что поликарбоксилатные пластификаторы для бетона должны иметь небольшую степень полимеризации [1–3]. Поэтому условия синтеза были подобраны для получения макромолекул, содержащих 10 –50 звеньев в основной цепи. С учетом использования метоксиполитиленгликольных фрагментов в качестве боковых цепей, молекулярная масса составляла от 2000 до 16000 г/моль.

Как следует из рисунка 2, существует экстремальная зависимость эффективности пластифицирования цементно-песчаной смеси от характеристик макромолекулы ПКБ.

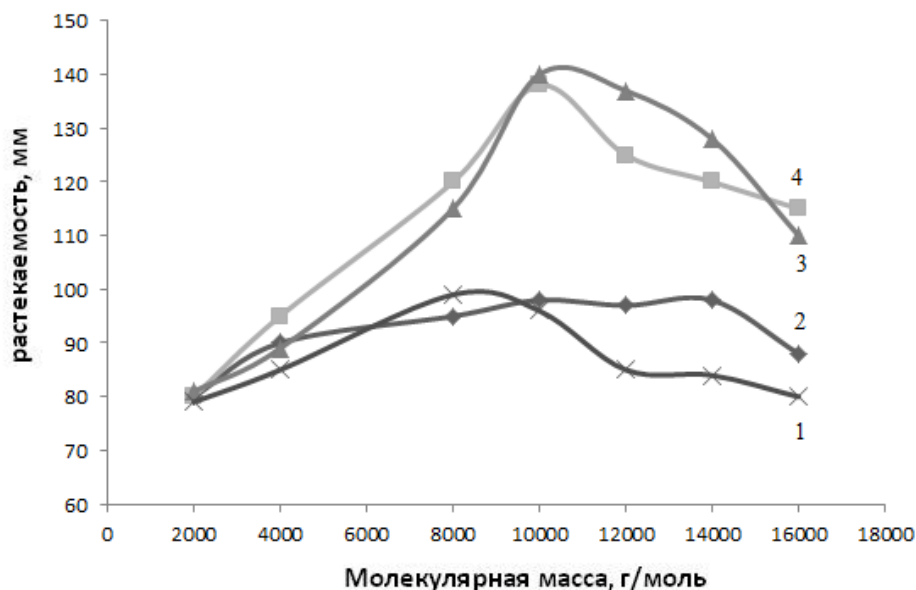


Рис. 2. Зависимость растекаемости цементно-песчаной смеси от молекулярной массы полимера и типа МПЕГ. (1 – МПЕГ 2000, 2 – МПЕГ 350, 3 – МПЕГ 1000, 4 – МПЕГ 750).

Таким образом можно сделать вывод, что оптимальное значение молекулярной массы ПКБ находится в пределах $10 - 12 \cdot 10^3$ г/моль. Причем достигается оно для образцов, синтезированных с использованием МПЕГ, средней молекулярной массы 750 и 1000 г/моль. Использование относительно низкомолекулярных – МПЕГ 350 и обладающих большей длинной цепи – МПЕГ 2000 – снижает эффективность пластификатора. Данный эффект, по-видимому, обуславливается необходимостью обеспечения баланса между содержащимися в макромолекуле полярными группами, способствующими адсорбции на гидратных новообразованиях цементного камня и увеличению электростатического отталкивания, и объемными незаряженными цепями МПЕГ, отвечающими за стерические эффекты боковых цепей макромолекул пластификатора, адсорбированных на неорганической фазе.

Литература:

1. J. Plank, K. Pöllmann, N. Zouaoui [et al.]. *Cement and Concrete Research* (2008) 38 : 1210.
2. H. Tan, C. Qi, B. Ma [et al.]. *Materials Research Innovations* (2015) 19 : 423.
3. Jinzhi Liu; Yong Yang; XinShu [et al.]. *J. Mater. Sci. Eng.* (2015) 184 : 1.
4. M. Palacios, F. Puertas, P. Bowen. *J. Mater. Sci.* (2009) 44 : 2714.
5. Belov D.A.1 Kuzmenkov D.M.2 Velugo Y.V. Polycarboxylate Superplasticizers. *PCE 2017*, P263.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ВЯЗКОСТИ ВОДНОЙ ДИСПЕРСИИ АКРИЛ-СТИРОЛЬНОГО СОПОЛИМЕРА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Д.В. Демидов, Д.Е. Коваленко

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры,
Харьков, Украина; natause@ukr.net*

Проблема энергосбережения и поиска новых материалов, направленных на уменьшение тепловых потерь в последние годы является одной из главных в строительной индустрии. Разработку теплоизоляционных высоконаполненных лакокрасочных материалов (ЛКМ) на водной основе можно рассматривать как один из способов решений данной проблемы.

В настоящее время для получения покрытий теплоизоляционного назначения применяют полые стеклянные или керамические микросферы. Микросферы могут быть вакуумированными или напол-

ненными разреженным воздухом (в зависимости от условий их производства) и, благодаря удачному сочетанию сферической формы, контролируемых размеров, низкой плотности, относительно высокой прочности на всестороннее сжатие; хорошими тепло- и звукоизоляционными, диэлектрическими свойствами, являются одним из перспективных техногенных наполнителей лакокрасочных материалов [1, 2].

Введение высокого содержания наполнителей, как правило, приводит к повышению вязкости композиций и будет решающим технологическим параметром при выборе способа нанесения такого материала на защищаемую поверхность. Для обеспечения хорошей растекаемости ЛКМ необходимо, чтобы его вязкость сохранялась достаточно низкой столь долго, чтобы под действием поверхностного натяжения могла сформироваться пленка с ровной, гладкой поверхностью. Технологические свойства ЛКМ в значительной степени зависят от напряжения сдвига и эффективной динамической вязкости, которые будут определять параметры способа их нанесения и агрегативную устойчивость.

Так, введение в водные дисперсии акрилатов высокодисперсных наполнителей (талька, каолина, аэросила, диоксида титана, ряда органических пигментов) приводит к образованию тиксотропных красок. При установившейся структуре тиксотропные краски не текут, но легко наносятся на поверхность, если эта структура разрушена.

Одним из наиболее доступных наполнителей этого типа является аэросил, который выполняет также роль стабилизатора лакокрасочных дисперсий, предотвращает оседанию пигментов и придает тиксотропные свойства ЛКМ. Это высокодисперсный аморфный диоксид кремния, полученный путем высокотемпературного гидролиза. Наличие силанольных групп на поверхности частиц определяет гидрофильный характер диоксида кремния, полученного таким способом [3, 4].

Изучение реологических свойств исследуемых композиций определяли при помощи ротационного вискозиметра «Реотест-2» (Германия) с рабочим узлом цилиндр-цилиндр, с использованием измерительного цилиндра Н. Кривые течения композиций снимали при изменении числа оборотов от 0,1667 до 72,9 сек⁻¹ при температуре 296 К.

Для установления того факта, что исследуемые композиции обладают тиксотропными свойствами кривые течения были измерены при прямом и обратном ходе, то есть по нарастанию и падению напряжения сдвига (τ) соответственно, независимо от того, происходило ли под действием нагрузки обратимое или необратимое изменение в системе.

На рисунке 1 представлены кривые течения акрил-стирольной водной дисперсии (ВД-ЛКМ), наполненной полыми микросферами (МС) в количестве 40 масс. % и дополнительно «Аэросилом» (А) в количестве 0,5, 1,0 и 1,5 масс. %.

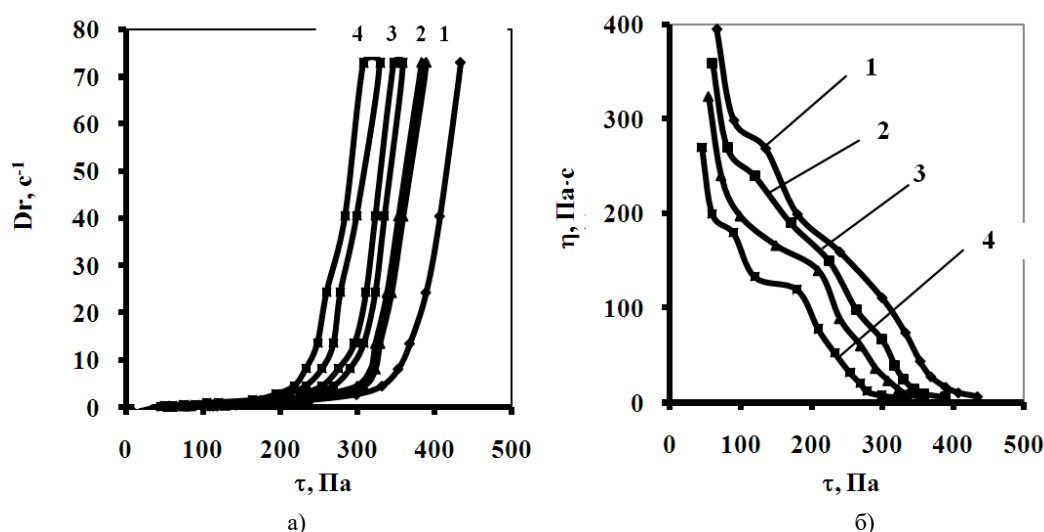


Рис. 1. Реологические зависимости ВД-ЛКМ от содержания МС и А в виде кривых течения (а) и кривых изменения вязкости от напряжения сдвига (б): 1 – МС, 2 – МС+А 0,5 масс. %; 3 – МС+А 1,0 масс. %; 4 – МС+А 1,5 масс. %

Данная система характеризуется нелинейным поведением реологических кривых и появлением петель гистерезиса, свидетельствующая о неполном восстановлении структуры комплексно наполненной ВД-ЛКМ в динамическом режиме при прямом и обратном ходе деформирования под действием сдвиговых напряжений. В результате получены характерные петли гистерезиса. Тот факт, что линия прямого хода не повторяет линию обратного хода, подтверждает образование в ВД-ЛКМ, наполненного «Аэросилом» тиксотропной структуры.

Увеличение степени наполнения полыми микросферами до 40 масс. % значительно повышает вязкость композиции, что приводит к технологическим трудностям при нанесении теплоизолирующих покрытий на защищаемые поверхности. Эти трудности связаны с необходимостью избежать течения пленки в гравитационном поле. Такое «стекание» материала может привести к возникновению неоднородности по толщине ее пленки.

Введение «Аэросила» в высоконаполненную ВД-ЛКМ позволяет регулировать реологические свойства на стадии изготовления красок или перед их применением. Что позволяет сочетать одновременно ряд положительных явлений: снижение вязкости материала при нанесении (без разбавления) за счет применения высоких скоростей сдвига и повышение вязкости (структурирование) после нанесения, а также в период их хранения и транспортировки.

Литература:

1. Вахитова Л.Н., Завертатный А.А. Жидкокерамические теплоизоляционные покрытия — новое слово в энергосбережении // F+ S: технологии безопасности и противопожарной защиты. — 2010 (45), №. 3, 64-66.
2. Иноземцев А.С., Королев Е.В. Полые микросферы — эффективный наполнитель для высокопрочных легких бетонов // Промышленное и гражданское строительство. — 2013, № 10, 80-83.
3. Katnov V., Stepin S., Katnova R., Mingaliyeva R., Grishin P. Coatings based on aqueous polyacrylate dispersions filled with nanosized silicon oxide // Herald of Kazan Technological University. — 2012, (15), №. 7, 95-96.
4. Saienko, R. Bukov, D. Demidov and D. Kovalenko. Influence of aerosil on the rheological properties of acrylic dispersions // International Scientific Conference “Transport technologies and infrastructure”. — 2018, 356-358.

УСТАНОВКА ДЛЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО СТРУЙНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ЗОНЫ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ СВАРНОГО ШВА

С.А. Исаков, С.Д. Лещик, Ю.А. Гостик

Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь

В данной работе представлена спроектированная установка для газодинамического струйного охлаждения зоны термического влияния сварного шва соединений из плоских стальных образцов, полученных электродуговой сваркой плавлением в среде защитного газа (MIG/MAG). Задача установки — обеспечить газодинамическое воздействие неактивным или инертным газом на зону термического влияния сварного шва для устойчивого охлаждения, сокращения зоны термического влияния и, соответственно, улучшения прочностных и механических параметров сварного соединения.

В условиях усталости сварные металлоконструкции являются причиной существенного снижения предела выносливости. Это связано с неблагоприятными остаточными напряжениями, концентраторами напряжений, обусловленными формой шва и технологическими дефектами, а также сильно выраженным градиентным характером изменения структуры и механических характеристик на границах раздела «основной металл — зона термического влияния — шов». На сопротивление усталости сварных соединений оказывает влияние большое число независимых факторов: состав и структура ис-

ходного материала, форма и размеры деталей, состояние поверхности, режимы обработки, активность окружающей среды, параметры термомеханического цикла сварки, схема нагружения и т.д. [1-5].

Защитный газ в основном используют для защиты зоны сварки от вредного воздействия воздуха, но при определенных условиях он может использоваться как инструмент управления процессами в зоне сварки и свойствами сварных соединений. Способ сварки с двухструйной газовой защитой обеспечивает регулируемую газодинамику в зоне сварки, и при этом сила действия струи защитного газа на каплю электродного металла в 12 раз больше, чем при одноструйной газовой защите [6].

Сила действия струи защитного газа F_g зависит от скорости истечения защитного газа из сварочного сопла, направлена вдоль электрода к свариваемому изделию и способствует позиционированию капли вдоль оси электрода [7].

Непосредственное воздействие струи активного защитного газа на жидкий металл ванны вокруг сварочной дуги влечет увеличение жидкой прослойки под дугой, т.к. расплавленному металлу некуда деваться в ограниченном объеме твердого металла, и он начинает подтекать под дугу и поднимать ее (рис. 1). Увеличение жидкой прослойки (b) приводит к уменьшению глубины проплавления (h) [6].

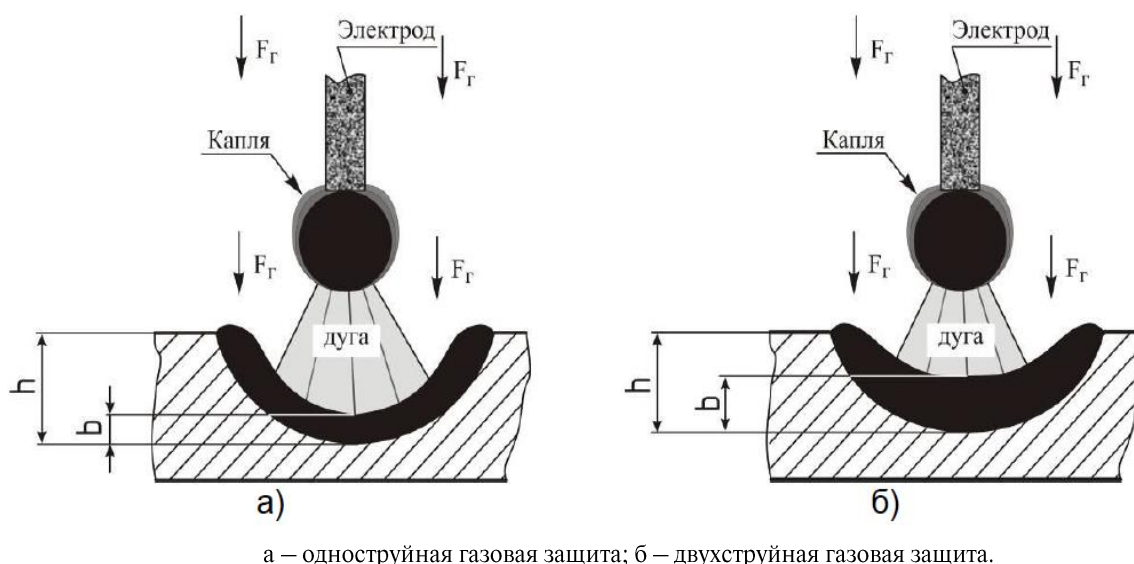
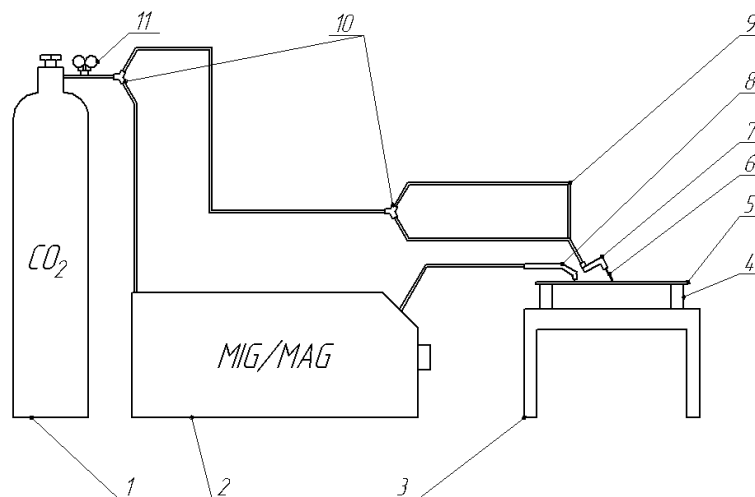


Рис. 1. Схема изменения глубины проплавления и величины жидкой прослойки под дугой в сварочной ванне

В проектируемой установке защитный газ не используется для управления процессом в зоне сварки, а используется для газодинамического охлаждения околошовной зоны термического влияния. Уменьшение зоны термического влияния позволит «сгладить» границу раздела фаз стали и, соответственно, улучшить физико-механические характеристики сварных соединений.

Газодинамическое охлаждение зоны термического влияния производится с использованием пневмопистолетов с различным диаметром сопла (1 мм, 2 мм), т.к. прохождение защитного (охлаждающего) газа через отверстия малого диаметра обеспечивают образование турбулентного высокоскоростного потока, эффективность взаимодействия с зоной термического влияния которого намного выше воздействия защитного газа, истекающего из газовой горелки сварочной установки.

Схема установки для газодинамического охлаждения представлена на рисунке 2.



1 – баллон с защитным газом; 2 – сварочный полуавтомат; 3 – рабочий стол; 4 – рабочая подставка;
5 – свариваемый образец; 6 – сопло пневмопистолета; 7 – пневмопистолет; 8 – газовая горелка;
9 – пневматические рукава; 10 – пневматический тройник; 11 – редуктор с манометром.

Рис. 2 Схема установки для газодинамического охлаждения образцов

Литература:

1. Кудрявцев, И.В. Усталость сварных конструкций / И.В. Кудрявцев, Н.Е. Наумченков. – М.: Машиностроение, 1976. – 270 с.
2. Трощенко, В.Т. Деформирование и разрушение металлов при многоцикловом нагружении / В.Т. Трощенко. – Киев: Наукова думка, 1981. – 344 с.
3. Лившиц, Л.С. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений / Л.С. Лившиц, А.Н. Хакимов. – М.: Машиностроение, 1989. – 336 с.
4. Земзин, В.Н. Термическая обработка и свойства сварных соединений / В.Н. Земзин, Р.З. Шрон. – Л.: Машиностроение, 1978. – 367 с.
5. Труфяков, В.И. Усталость сварных конструкций / В.И. Труфяков. – Киев: Наукова думка, 1973. – 216 с.
6. Чинахов, Д.А. Динамическое воздействие струи активного защитного газа на процессы в зоне сварки плавящимся электродом / Д.А. Чинахов // Технический научно-производственный журнал. Технологии и материалы. – Юрга : ООО «НПО Сварочное производство», 2017. – № 1. – С. 8-13.
7. Чиханов, Д.А. Влияние скорости истечения защитного газа на перенос капель электродного металла / Д.А. Чиханов, Е.И. Майорова, Е.Г. Григорьев // Технический научно-производственный журнал. Технологии и материалы. – Юрга : ООО «НПО Сварочное производство», 2016. – № 2. – С. 22-25.

ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ ЗОНЫ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ СВАРНОГО ШВА НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

С.А. Исаков, С.Д. Лещик, Ю.А. Гостик

Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь

Надежность и качество сварных соединений зависят от множества факторов. В процессе остывания стальные детали подвергаются последствиям температурного влияния точки расплава – механическим деформациям, соответствующим текущим структурным изменениям металла. Это влечет за собой формирование неоднородной структуры стали и возникновению остаточных напряжений [1].

Известно много методов управления процессом сварки. Из них наиболее эффективными являются: воздействие продольного магнитного поля; ультразвуковая механическая обработка; использо-

вание внешнего пульсирующего источника тепла; двухструйная газовая защита; микролегирование материала сварной проволоки; импульсно-дуговая сварка [2-7].

В данной статье представлены результаты газодинамического воздействия защитного газа в зоне термического влияния непосредственно после образования сварочного шва. В качестве материала образца были приняты плоские стальные детали из листовой стали марки Ст08кп холодного проката согласно ГОСТ 19904-90 и химическим составом согласно ГОСТ 1050-88.

Параметры сварки образцов представлены в таблице 1. Сварные соединения изготавливались 3 способами: без охлаждения, охлаждение с использованием сопла диаметром 1 мм, охлаждение с использованием сопла диаметром 2 мм.

Таблица 1. Параметры получения сварных образцов

Параметр	Значение
Материал образцов	Листовая сталь Ст08кп
Толщина образцов, мм	3
Напряжение сварочного аппарата, В	220
Защитный газ	Углекислота
Сварочная проволока	СВ08Г2С
Охлаждающий газ	Углекислота
Давление газа в системе, МПа	0,6
Диаметр сопла, мм	1
	2

Газодинамическое охлаждение производилось углекислотой. Направление воздействия газа было строго определено несколькими факторами:

1. Охлаждающий газ не должен воздействовать на защитную оболочку основного защитного газа.
2. Охлаждающий газ не должен быть направлен на сварной шов, чтобы не создать условия с возникновением остаточных напряжений и трещин.
3. Охлаждающий газ должен равномерно охлаждать зону термического влияния, следовательно, движение сопла с охлаждающим газом строго привязано к движению газовой горелки сварочного полуавтомата.
4. Угол и высота наклона сопла с охлаждающим газом должны обеспечивать динамическое воздействие скоростного турбулентного потока охлаждающего газа.
5. Диаметр сопла должен обеспечивать образование турбулентного скоростного потока охлаждающего газа при минимальном давлении.

Результаты представлены на рисунке 1.



Слева-направо: без охлаждения, охлаждение с соплом 1 мм, охлаждение с соплом 2 мм

Рис. 1. Результаты сварки деталей

Из рисунка видно, что динамическое воздействие струи активного газа оказывает влияние на размеры и форму зоны термического влияния сварного шва. При использовании сопла диаметром 1 мм — видимая зона термического влияния сократилась вдвое; при использовании сопла диаметром 2 мм — видимая зона термического влияния сократилась в 3 раза. Это обусловлено тем, что при использовании сопел диаметрами 1 и 2 мм образуется турбулентный поток активного газа, но при использовании сопла 2 мм охлаждающая способность больше, т.к. увеличивается количество охлаждающего газа на поверхности.

Литература:

1. Hadrys, D. Mechanical properties of plug welds after micro-jet cooling / D. Hadrys // Arch. Metal. Mater. — 2016. — Vol. 61, N. 4. P. 1771-1776.
2. Размышляев, А.Д. Повышение качества стыковых соединений при дуговой сварке в продольном магнитном поле / А.Д. Размышляев, М.В. Миронова, А.И. Лещенко // Вестник Приазовского государственного технического университета. Серия: Технические науки. — 2012. — № 1. — С. 190-196.
3. Влияние ультразвуковой ударной обработки на структуру и сопротивление усталости сварных соединений высокопрочной стали ВКС-12 / В.Е. Панин [и др.] // Журнал института физики прочности и материаловедения. Физическая мезомеханика.— Институт физики прочности и материаловедения. Сибирское отделение РАН, 2006. — Т.9. — № 2. — С. 85-96.
4. Морозов, В.П. Влияние внешнего пульсирующего источника тепла на расплавленный металл сварного шва в процессе его кристаллизации с целью эффективного управления структурообразованием / В.П. Морозов // Наука и образование [Электронный ресурс] : электронное научно-техническое издание. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. — № 10. — С. 1-22. Режим доступа: <http://old.technomag.edu.ru/doc/162044.html>. Дата доступа: 22.09.2018.
5. Чинахов, Д.А. Динамическое воздействие струи активного защитного газа на процессы в зоне сварки плавящимся электродом / Д.А. Чинахов // Технический научно-производственный журнал. Технологии и материалы. — Юрга : ООО «НПО Сварочное производство», 2017. — № 1. — С. 8-13.
6. Влияние процесса сварки с импульсной подачи электродной проволоки на химический состав сварного соединения / Н.В. Павлов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — М.: ООО «Горная книга», 2010. — Т.3. — № 12. — С. 312-317.
7. Яковлев, Д.С. Микролегирование сварных соединений порошковой проволокой / Д.С. Яковлев, М.В. Шахматов // Технический научно-производственный журнал. Технологии и материалы. — Юрга : ООО «НПО Сварочное производство», 2015. — № 2. — С. 23-28.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПОЛУЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

А.И. Карев¹, Д.Г. Яворская², Е.А. Горностаева², Е.Д. Безуглая²

¹Харьковский национальный университет строительства и архитектуры,
Харьков, Украина; armkarev@gmail.com

²Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков, Украина

Цель. Разработка новой технологии получения профильно-погонажных изделий для строительства на основе древесно-полимерных композитов (ДПК) из вторичных полиолефинов и отходов шелухи гречихи или овса в качестве наполнителей.

Материалы и методы. ДПК — современный строительный материал, технология создания которого основана на смешении наполнителей, расплавов полимеров и технологических добавок. Наиболее перспективными сферами применения ДПК является строительная отрасль, а именно домостроение, производство всех видов мебели, сайдинг, декинг и т. п. Использование ДПК позволяет заменить традиционные строительные материалы и изделия на их основе на более прочные, долговечные и практичные в эксплуатации. Для получения изделий из ДПК используются традиционные методы пере-

работки термопластичных полимеров. Экструзия является наиболее распространенным технологическим процессом изготовления изделий из ДПК материалов на термопластичной полимерной матрице.

Учитывая особенности свойств используемых наполнителей (отходов агропромышленных комплексов) существующие технологические схемы требуют усовершенствования и более тщательного подхода к выбору оборудования.

Результаты и их обсуждение. В предложенной технологической схеме процесса получения профильно-погонажных изделий из ДПК на основе вторичных полиолефинов, шелухи гречихи или овса осуществляется по двухстадийной схеме по методу прямой экструзии (рис. 1). Для обеспечения необходимой степени чистоты наполнителей технологическая схема оснащена барабанным отделителем крупных примесей и магнитным сепаратором. Использование дополнительного измельчающего оборудования (молотковая дробилка для предварительного измельчения наполнителей и дробилка дисмембраторного типа для получения полифракционного состава наполнителей) позволяет получить более качественные и прочные изделия строительного назначения. Применение молотковой дробилки также позволяет увеличить насыпную плотность используемых наполнителей. Это в свою очередь позволило добавить в технологическую схему сушилку барабанного типа для обеспечения необходимого уровня влажности наполнителей.

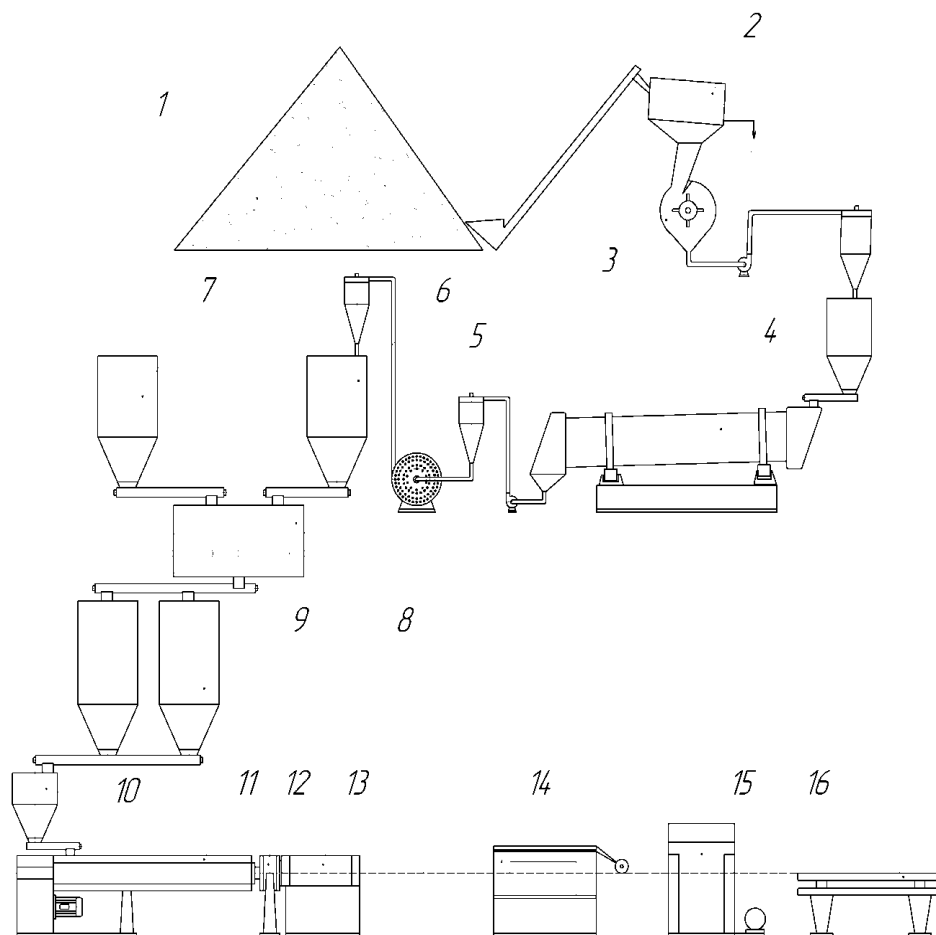


Рис. 1. Технологическая схема линии по получению профильно-погонажных изделий из ДПК на основе вторичных полиолефинов и шелухи гречихи или овса: 1 – склад шелухи, 2 – барабанный отделитель крупных примесей, 3 – молотковая дробилка, 4 – сушилка барабанного типа; 5 – дробилка дисмембраторного типа, 6 – бункер измельченной и высушенной шелухи; 7 – бункер вторичного полимерного сырья; 8 – смеситель; 9 – бункеры готовой смеси, 10 – бункер экструдера, 11 – экструдер, 12 – фильера; 13 – вакуум калибрующе-охлаждающее устройство; 14 – устройство обдува сжатым воздухом; 15 – тянущее устройство; 16 – шлифовальная машина и режущее устройство.

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ Al НА МОРФОЛОГИЮ ПЛЕНОЧНЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ СТРУКТУР ZnO:Al

Я.А. Ковалева, А.В. Семченко

Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины, Гомель, Беларусь; yara.kov@tut.by

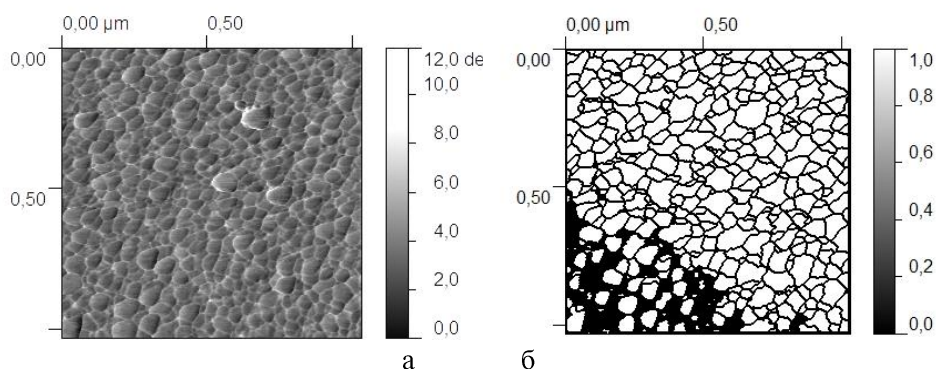
Введение. Золь-гель технология открывает широкие возможности получения пленочных структур с многофункциональными свойствами: специальными теплофизическими, оптическими, магнитными и электрическими свойствами [1]. Привлекательность этого метода достигается за счет простоты и дешевизны исполнения. Монолитность и физико-механические свойства пленочных структур полученных золь-гель методом обеспечиваются за счет прочных межфазных связей и кристаллитных структур, образующихся на поверхности подложки [2]. Для получения упорядоченных структур важной задачей является выбор исходных реагентов и концентрации наполнителя коллоидного раствора [3]. Классическими методами исследований золь-гель пленочных структур является атомная силовая и оптическая микроскопия [1].

Цель работы – исследование зависимости структурных свойств ZnO:Al золь-гель покрытий от концентрации Al.

Материалы и методы исследований. Для получения золь-гель методом слоев на основе ZnO:Al требуемой толщины и хорошей однородности за основу был взят метод центрифугирования (spin-coating). Установлена корреляция между параметрами коллоидного раствора и методом получения слоев на основе ZnO:Al. Для изучения влияния концентрации алюминия на топографию поверхности слоев оксида цинка были использованы образцы с различным значением концентрации примеси алюминия (0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4 масс. %). После нанесения золя на поверхность пластин (монокристаллического кремния), помещали в печь, где были нагреты до температуры 350 °С, пошагово с интервалом в 20 °С в течение 10 мин. Процесс нанесения и сушки повторялся до получения нужной толщины. На последней стадии подложки помещали в печь и нагревали до 550 °С пошагово с интервалом 20 °С в течение 50 мин.

Топографию поверхности слоев ZnO:Al исследовали с помощью атомно-силового микроскопа (ACM) SOLVER Pro 47 («NT-MDT», Россия). Для обработки изображений полученных на атомно-силовом и электронном микроскопах применяли программу Gwyddion (бесплатное программное обеспечение, защищённое в соответствии с Лицензией GNU (GNU GPL) [3].

Результаты и их обсуждение



Продолжение на следующей странице

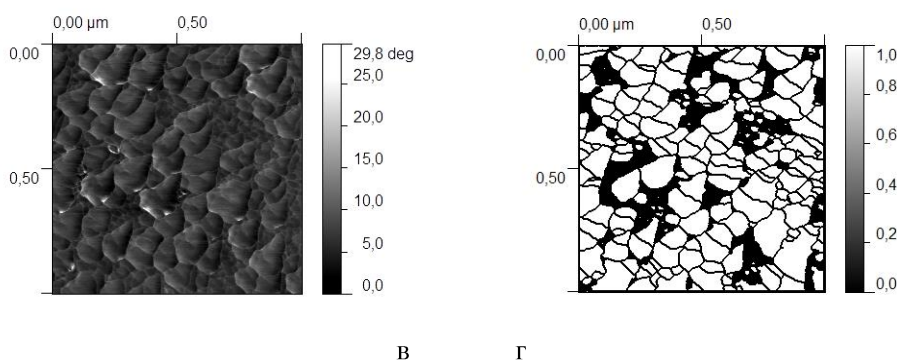


Рис. 1 АСМ – изображения слоёв (1×1 мкм) оксида цинка с примесью алюминия: (а, б) 0,6; (в, г) 1,4 масс. %, полученных золь-гель методом на поверхности монокристаллического кремния

На рисунке 1 (а, в) приведены обработанные АСМ – изображения, а на рисунке 1 (б, г) зависимость распределения частиц по размерам на поверхности ZnO:Al-слоёв для минимальной и максимальной исследованных концентраций алюминия. В таблице 1 представлены данные распределения частиц по размерам и шероховатости ZnO:Al-слоёв, полученных золь-гель методом на поверхности монокристаллического кремния в зависимости от концентрации алюминия.

Таблица 1 Статистика зёрен на поверхности слоев (1×1 мкм) оксида цинка с примесью алюминия

Характеристика	Концентрация Al, масс.%				
	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
Ra (Шероховатость), нм	7,01	4,94	3,37	11,41	5,83
Число зерен	448	273	279	332	231
Средний размер зерна, нм	33,3	36,2	32,4	34,5	43,1

Выводы. Проведенные измерения топографии поверхности с помощью АСМ показали, что все исследованные образцы пленок имеют поликристаллическую структуру с субмикронным размером отдельных зерен (кристаллитов). Отмечено, что морфология слоев существенно изменяется при использовании оксида цинка с примесью алюминия от 0,6 до 1,4 масс. %. Введение Al с концентрацией 0,6 масс. % приводит к увеличению средних размеров наночастиц приблизительно до 33 нм, по сравнению с беспримесными пленками оксида цинка (0 % Al). Увеличение содержания примеси алюминия до 1,4 масс. % приводит к снижению количества зерен на 90% и увеличению размера зерна на 30 % (до 43 нм), по сравнению с концентрацией 0,6 масс.% Al, при этом шероховатость поверхности образца снижается. Таким образом, можно сделать вывод, что введение Al в концентрации 1,4 масс.% приводит к сглаживанию поверхности образца.

Литература:

1. Елисеев А.А., Лукашин А.В. Функциональные наноматериалы. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010
2. Денисов Н.М., Чубенко Е.Б., Бондаренко В.П., Борисенко В.Е. Оптические свойства многослойных золь-гель пленок оксида цинка //Физика и техника полупроводников, 2018 (52), № 6, 575-580
3. Зарецкая Е.П., Гременок В.Ф., Семченко А.В., Сидский В.В., Юшканес Р.Л. Структурные свойства пленок ZnO : Al, полученных золь-гель методом// Физика и техника полупроводников – 2015 (49), № 10, 1297-1303

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ БЕМИТА ПРИ РАЗНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ

Козерожец И.В., Семенов Е.А., Панасюк Г.П.

Лаборатория полупроводниковых и диэлектрических материалов ИОНХ РАН; irina135714@yandex.ru

Интерес к наноразмерным материалам обусловлен перспективой их применения в различных областях техники. Наноразмерный порошок оксигидроксида алюминия (AlOOH — бемит) с размерами частиц 20–40 нм используется для удаления тяжелых металлов из бытовых и промышленных сточных вод; как сорбент для поглощения вирусов и бактерий, как носитель вирусов, в качестве антисептика для заживляющих повязок; в производстве бетона, лакокрасочных и декоративных материалов; как наполнитель в пластмассах, бумаге, композиционных материалах; в качестве катализаторов и носителя для катализаторов. При термической обработке бемита до температуры 1200°C образуются различные фазы оксида алюминия без изменения формы и размера частиц.

Наноразмерный порошок бемита получают при гидротермальной обработке наноразмерного порошка $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ в 1,5 масс. % растворе HCl при разных температурах: 200°C , 170°C и 150°C . Согласно данным РФА, переход наноразмерного порошка $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ в 1,5 масс. % растворе HCl в наноразмерный порошок бемита при 200°C осуществляется за 2,5 ч.; при 170°C — за 12 ч.; при 150°C — за 36 ч. При этом синтезированный наноразмерный порошок бемита, независимо от температуры гидротермальной обработки, имеет идентичные характеристики.

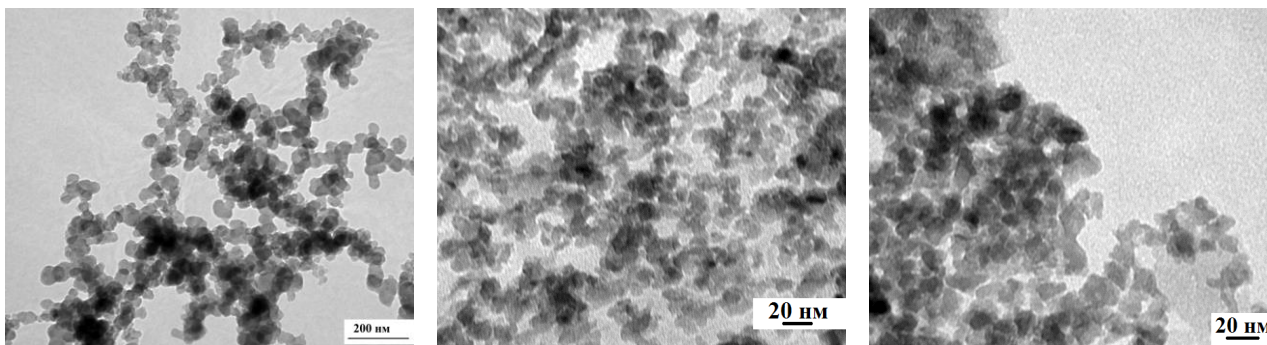


Рис. 1. ПЭМ–изображения бемита, полученного при гидротермальной обработке наноразмерного порошка $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ при 200°C в 1,5% растворе HCl в течение 6 ч. (А); при 170°C в 1,5% растворе HCl в течение 24 ч. (В) и при 150°C в 1,5% растворе HCl в течение 72 ч (С).

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПОРОШКОВ ОКСИДОВ И ГИДРОКСИДОВ АЛЮМИНИЯ

Козерожец И.В., Семенов Е.А., Панасюк Г.П.

Лаборатория полупроводниковых и диэлектрических материалов ИОНХ РАН; irina135714@yandex.ru

В настоящее время предложены разнообразные методы, позволяющие получать наноразмерные порошки оксидов металлов. Существуют два основных подхода к синтезу наночастиц оксидов металлов 1) “снизу вверх” — из отдельных атомов и молекул с использованием преимущественно химических реакций; 2) “сверху вниз” — механическим или иным дроблением более крупных частиц. Подход, использующий химические реакции, является более предпочтительным, так как позволяет контролировать форму и размеры частиц, фазовый и примесный составы.

Разработан новый метод получения наноразмерного порошка $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, заключающийся в последовательной термической обработке насыщенного раствора оксихлорида алюминия и сахарозы до

температуры 350°C с образованием переходной формы и затем до температуры 800°C с образованием наноразмерного порошка γ - Al_2O_3 .

Характеристика переходной формы и наноразмерного порошка γ - Al_2O_3 представлена в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика переходной формы и наноразмерного порошка γ - Al_2O_3 .

Характеристика	Переходная форма	Наноразмерный порошок γ - Al_2O_3
Средний размер частиц	10 – 40 нм	10 – 40 нм
Коэффициент теплопроводности	0.04 Вт/(м·К)	0.02 Вт/(м·К)
Площадь удельной поверхности	<1 м ² /г	200 м ² /г
Удельный объем пор	-	0.089 см ³ /г
Насыпная плотность	0.03 г/см ³	0.015 г/см ³
Размер пор	-	1.87 нм

Для получения наноразмерного порошка бемита синтезированный наноразмерный порошок γ – Al_2O_3 подвергали гидротермальной обработке в 1,5 масс. % растворе HCl при разных температурах: 200°C, 170°C и 150°C. Согласно данным РФА, переход наноразмерного порошка γ – Al_2O_3 в 1,5 масс. % растворе HCl в наноразмерный порошок бемита при 200°C осуществляется за 2,5 ч.; при 170°C – за 12 ч.; при 150°C – за 36 ч. При этом синтезированный наноразмерный порошок бемита, независимо от температуры гидротермальной обработки, имеет идентичные характеристики (табл. 2.)

Таблица 2. Свойства наноразмерного порошка бемита (AlOOH).

	Бемит, полученный при гидротермальной обработке γ – Al_2O_3 в 1,5 масс. % растворе HCl при		
	200°C	170°C	150°C
Средний размер частиц	10-40 нм	10-40 нм	10-40 нм
Теплопроводность	0.02 Вт/(м·К)	0.02 Вт/(м·К)	0.02 Вт/(м·К)
Площадь удельной поверхности	65,32 м ² /г	67, 45 м ² /г	66,34 м ² /г
Размер пор	1,89 нм	1,89 нм	1,89 нм
Удельный объем пор	0,031 см ³ /г	0,033 см ³ /г	0,030 см ³ /г
Время полного превращения	2,5 ч.	12 ч.	36 ч.

Таким образом, в работе предложен новый метод синтеза наноразмерных порошков оксидов и гидроксида алюминия. Данный метод позволяет получать порошки γ – Al_2O_3 и AlOOH , обладающие заданными свойствами.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОРШНЕВОГО СПЛАВА АК12М2МГН, СФОРМИРОВАННЫЕ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КОМПЛЕКСНОЙ МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ ФСС И МЕДИ

Комаров А.И., Искандарова Д.О., Орда Д.В.

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

Цель данной работы: исследование структурно-фазового состояния и трибомеханических свойства поршневого сплава АК12М2МгН, сформированных после его модифицирования фуллеренсодержащей сажей (ФСС), вводимой в расплав совместно с порошком меди.

Материалы и методика исследования. В качестве материала основы при получении композиционных материалов использовали поршневой сплав АК12М2МгН, следующего химического состава (мас. %) Si-11-13; Cu-1.5-3; Mg-0.8-1.3; Mn-0.3-0.6; Fe-0.4; Zn-0.2; Ti-0.05-0.2; Al-ост.

Модифицирование осуществлялось путем введения прессовки, содержащей ФСС и медный порошок, в расплав матричного сплава АК12М2МгН при температуре 740 °С методом «колокольчика». Затем в металлический кокиль, нагретый до 400 °С, отливались цилиндрические заготовки, из которых вырезались образцы для исследования структуры и свойств сплава.

Структура полученных модифицированных отливок исследовалась методами металлографического анализа, с использованием микроскопов ХМ300 и МИМ-8, оснащенных цифровой регистрацией изображений, и сканирующей электронной микроскопией (СЭМ).

Триботехнические испытания проводились на устройстве MFT-5000 (Rtec Instruments) по схеме возвратно-поступательного перемещения образца относительно неподвижного стального контртела (цилиндр, $d=3$ мм). Испытание проводилось при различных давлениях (p): 10, 20 и 30 МПа. По результатам испытаний определялись коэффициенты трения (f), массовый износ Δm и интенсивность изнашивания I_q ($I_q = \Delta m / L$, где L — путь трения). Длина пути на каждом давлении составляло 750 – 900 мм. Микротвердость отливок определялась на приборе ПМТ-3 при нагрузке на индентор 0,198 Н.

Результаты эксперимента и их обсуждение. Согласно проведенным металлографическим исследованиям модифицированных образцов из сплава АК12М2МгН (рис.1), введение углеродной нанодобавки (ФСС) в количестве 0,1 мас.%, совместно с порошком меди (0,5%) приводит к улучшению структуры сплава: уменьшению размеров зерен α -фазы (на 40 – 45 мкм) и формированию дисперсной эвтектики. Однако в структуре сплава присутствуют иглообразные интерметаллидные частицы с размером до 50 мкм, которые находятся в теле зерен α -фазы (рис. 1б).

Увеличение доли ФСС до 0,4 мас.% (2%Cu) приводит к диспергированию дендритной структуры, в которой присутствуют овальные и равноосные зерна α -фазы, между которыми находится мелкозернистая эвтектика с частицами эвтектического кремния иглообразной формы (6 – 8 мкм) по границе раздела фаз. Размер зерен α -фазы варьируется в диапазоне 40 – 50 мкм (рис.1в), а размер интерметаллидов не превышает 40 мкм.

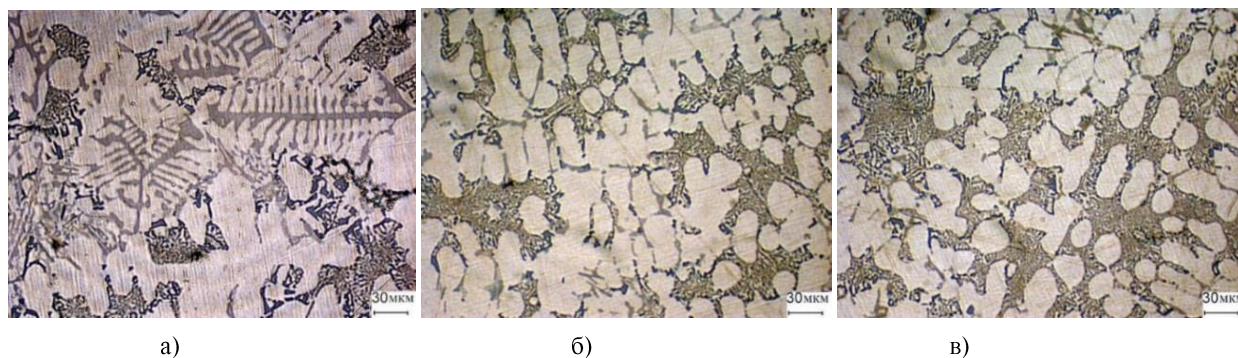
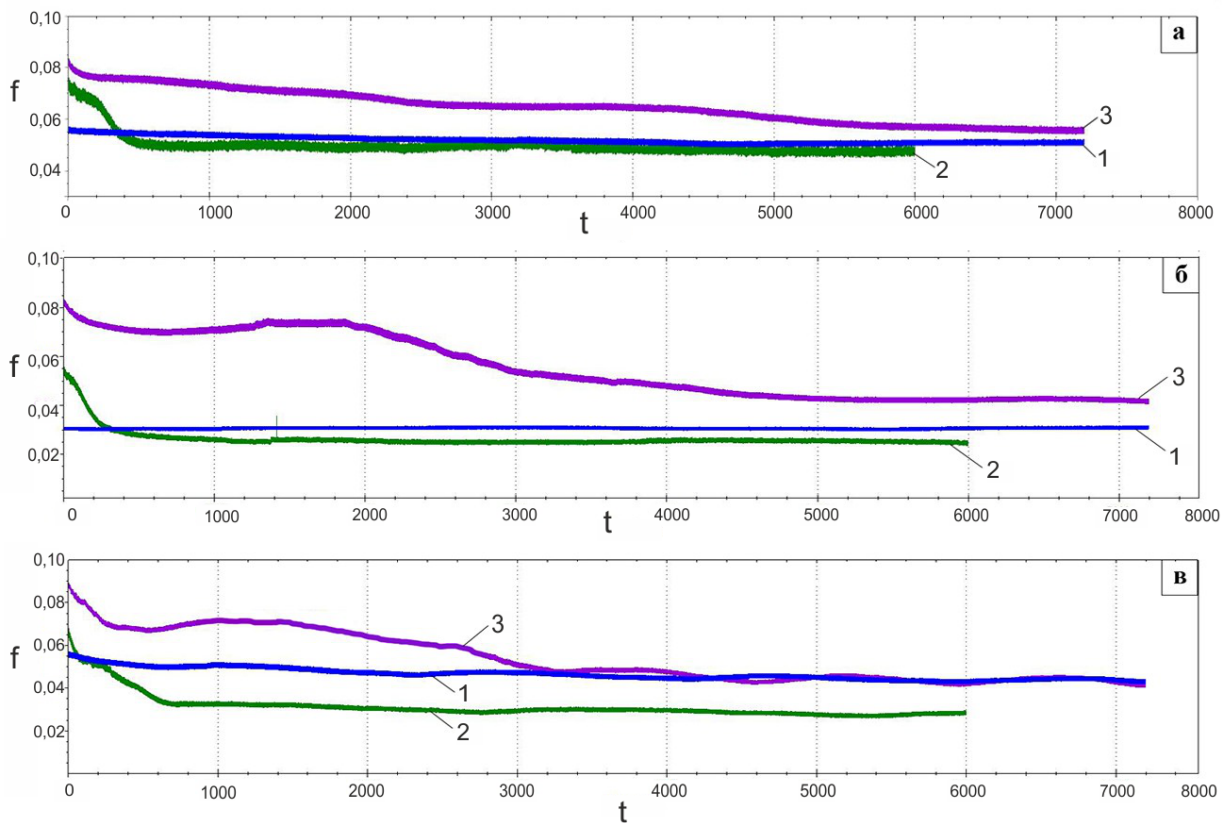


Рис. 1. Микроструктура образцов до (а) и после модифицирования добавкой: 0,1%ФСС + 0,5%Cu (б); 0,4% ФСС+2% Cu (в)

Результаты триботехнических испытаний образцов, до и после модифицирования ФСС, при различных давлениях представлены на рисунке 2. Согласно полученным данным, введение 0,4%ФСС приводит к некоторому снижению f при низких давлениях (до 20 МПа), тогда как образец с 0,1%ФСС обладает пониженным коэффициентом трения во всем диапазоне испытаний и составляет 0,035.



кривая 1- АК12М2МгН; кривая 2- 0,1 % ФСС+0,5% Си; кривая 3- 0,4 % ФСС+2 % Си

Рис. 2. Изменение коэффициента трения образцов от времени испытания при различных давлениях: а- 10МПа; б – 20МПа; в – 30Мпа

Закключение: Анализ результатов исследования показывает, что введение ФСС с порошком меди обеспечивает снижения размера α -фазы до 2 раз, а также формированию дисперсной эвтектики с размером частиц кремния до 6-8 мкм. Такое воздействие приводит к повышению микротвердости эвтектики на 40-140 МПа, а также повышению твердости сплава на 50-170HV. Формирование такой структуры обеспечивает снижения коэффициента трения, а также многократное повышение износостойкости.

Литература:

1. Витязь П.А., Комаров А.И., Комарова В.И., Шипко А.А., Овчинников В.В., Ковалева С.А. Влияние фазового состава наноструктурированного тугоплавкого модификатора на структуру и триботенические свойства сплава АК12М2МгН // Трение и износ, 2013. – Том 34, №5. – с. 435-445.
2. Комаров А.И., Комарова В.И., Орда Д.В. Синтез карбидо-корундового наполнителя и его воздействие на структуру и свойства поршневого сплава Ак12М2МгН // Механика машин, механизмов и материалов, 2016. - №1 (34). – с. 81-86.
3. Комаров А.И., Комарова В.И., Шипко А.А., Орда Д.В. Воздействие синтезируемой нанокompозиции SiC-Al₂O₃ на структурообразование и триботехнические свойства композита на основе поршневого сплава АК12М2МгН // Механика машин, механизмов и материалов, 2017. - №1 (38). – с. 71-78.
4. Комаров А.И., Комарова В.И., Орда Д.В., Искандарова Д.О. Влияние комплексного модифицирования углеродными нанотрубками и медью на структуру и свойства силумина АК12М2МгН// Актуальные вопросы машиностроения, 2017. – Выпуск 6 – с. 369-371

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДА

А.В. Кравцевич, И.А. Ровба, М.И. Панцержинская

*Гродненский филиал «Научно-исследовательский центр проблем ресурсосбережения»
ГНУ «Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси», Гродно, Беларусь*

Введение. Все более востребованными становятся композиционные материалы на основе полимеров, характеризующиеся специфическими функциональными свойствами (тепло-, электропроводность, радиопрозрачность) [1-3]. Модифицирование термопластичных полимеров различными нано- и субмикроразмерными частицами, в том числе и гибридными, является актуальным направлением современных исследований. Однако ввиду ряда причин (склонность наночастиц к агрегации, низкой адгезии к связующему) получение оптимальной структуры композита традиционными методами переработки полимеров труднодостижимо.

Цель работы – исследование влияния избыточного технологического давления на теплофизические характеристики полиамида 6 (ПА6), наполненного углеродным наноматериалом (УНМ) и частицами диоксида кремния.

Материалы и методы. В качестве полимерного связующего использован ПА6 марки 210/310 производства ОАО «Гродно Азот». В качестве дисперсной фазы – смесь УНМ и частиц диоксида кремния. УНМ – продукт пиролиза углеродсодержащих газов в каталитическом кипящем слое, получаемый в лаборатории «Дисперсных систем» ИТМО им. А.В.Лыкова НАН Беларуси. УНМ представляет сильно переплетенные между собой многослойные углеродные нанотрубки диаметром 20 – 50 нм (95 %) и примеси металлического катализатора (до 5 %), удельная поверхность по методу ВЕТ – 113,5 м²/г. Частицы диоксида кремния марки «Таркосил» Т80 получены испарением чистого кварцевого песка с последующей конденсацией высокотемпературного (около 3000 °С) пара в виде наночастиц производства ИТПМ им. С.С.Христиановича СО РАН. Диаметр первичных частиц Т80 составляет 35 нм, удельная поверхность по методу ВЕТ 70-90 м²/г.

Композиционные материалы готовили методом смешения в растворе с наложением ультразвукового поля. Изготовление образцов для теплофизических испытаний производилось методом прямого прессования и охлаждения под давлением расплава композитов с помощью разработанного в НИЦПР ИТМО комплекта экспериментального лабораторного оборудования для экспресс-формования полимерных композитов. Образцы формовали при технологическом давлении 10 МПа и 300 МПа. Составы экспериментальных образцов и значения технологического давления приведены в таблице 1.

Таблица 1. Состав опытных образцов композитов

№ образца	Наименование и содержание компонентов, мас. %			Технологическое давление при формовании образца, МПа
	ПА6	УНМ	Диоксид кремния Таркосил Т80	
1	92,5	5	2,5	10
2	92,5	5	2,5	300
3	85	10	5	10
4	85	10	5	300
5	80	20	-	10
6	80	20	-	300

Теплофизические исследования полученных образцов проводились методом лазерной вспышки в лаборатории теплофизических измерений ИТМО им. А.В. Лыкова НАН Беларуси. С помощью прибора LFA457 MicroFlash (NETZSCH) определяли коэффициент температуропроводности и удельную теплоемкость с последующим расчетом коэффициента теплопроводности по формуле (1):

$$\lambda = a \cdot \rho \cdot C \quad (1)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, α – коэффициент температуропроводности, ρ – плотность, C – удельная теплоемкость.

Результаты и обсуждение. Результаты измерения плотности исследуемых материалов приведены в таблице 2.

Таблица 2. Плотность композитов при 25 °С

Номер образца	1	2	3	4	5	6
Плотность, кг/м ³	1135	1188	1148	1221	1252	1253

Из данных таблицы 2 следует, что плотность образцов № 2 и 4 повысилась по сравнению с образцами № 1 и 3 соответственно на 5,64 % и 6,36%. В случае образцов с более высокой степенью наполнения (образцы 5,6) изменения плотности не наблюдалось.

Результаты исследования теплофизических свойств полимерных композитов на основе полиамида приведены на рисунке 1.

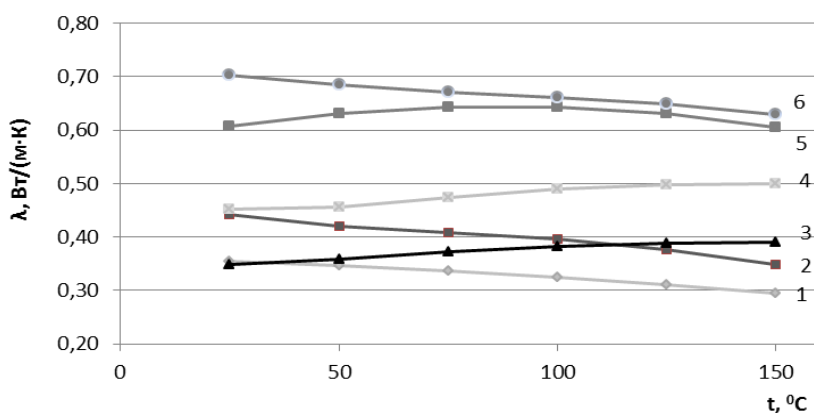


Рисунок 1. Температурные зависимости коэффициента теплопроводности композиционных материалов на основе ПАб (номера образцов в таблице 1).

Из данных рисунка следует, что повышение концентрации теплопроводящего наполнителя (УНМ) приводит к росту теплопроводности композита во всем диапазоне рассмотренных температур. При этом коэффициенты теплопроводности образцов, полученных при более высоком технологическом давлении, выше, чем образцов с таким же наполнением, но сформованных при более низком давлении.

Работа выполнена в рамках задания № 17-148 Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований.

Литература:

1. Акатенков, Р.В. Влияние структурной организации углеродных нанотрубок на радиоэкранирующие и электропроводящие свойства нанокомпозитов / Акатенков Р.В. и др., // Авиационные материалы и технологии. 2011. №1. С. 35–42.
2. Пихуров, Д.В. Трибологические свойства полимерных нанокомпозитов, модифицированных фуллероидными материалами / Д.В. Пихуров, В.В. Зуев // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2012, № 4 (80). – С. 97-100.
3. Влияние гибридного микро- и нанонаполнителя на механические, электро- и теплофизические свойства композита на основе полиэтилена / А. В. Кравцевич, И. А. Ровба, Л. И. Шашура, А.И. Свириденко // Тепло- и массообмен – 2015: сб. науч. тр. – Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2016. – С. 261–268.

СТРУКТУРА МОДИФИЦИРОВАННЫХ КАНИФОЛЕТЕРПЕНОМАЛЕИНОВЫХ АДДУКТОВ

И.А. Латышевич, Е.И. Гапанькова

Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь; irinalatyshevitch@gmail.com

Одними из перспективных отвердителей эпоксидных смол на основе лесохимического сырья являются терпеноидномалеиновые аддукты — техническая смесь смоляных кислот и терпеновых углеводов, химически модифицированная малеиновым ангидридом, обладающая разнообразными пленкообразующими свойствами. Химический состав канифолетерпеномалеиновых аддуктов (КТМА), зависящий от соотношения исходных компонентов: канифоли и скипидара, — был изучен в работе [1].

Применяя в качестве отвердителя КТМА, был сделан вывод о том, что физико-механические свойства получаемых лаковых покрытий уступают существующим лакам, одним из компонентов которых являются известные отвердители [2].

Проведя литературный и патентный поиск для решения возникших проблем было принято решение провести модификацию КТМА ацетатом цинка. Использование модифицированных КТМА в качестве отвердителя эпоксидных матриц приводит к повышению эксплуатационных характеристик термоотверждаемых лаковых покрытий, при этом время отверждения уменьшается.

Так как ранее структура составных частей модифицированных аддуктов не была изучена, целью данной научно-исследовательской работы является установление структуры компонентов целевого продукта. Объектами исследования стали модифицированные аддукт α -терпинена и малеопимаровая кислота, ввиду их наибольшего содержания в КТМА.

Для достижения поставленной цели использовали метод ЯМР-спектроскопии. Запись спектров ^1H и ^{13}C ЯМР проводилась на спектрометре AVANCE-500 (Германия) (500 МГц для ядер ^1H и 126 МГц — для ^{13}C).

Для уточнения наиболее вероятного места локализации атома цинка было проведено компьютерное моделирование структуры методом квантовой химии. Для проведения расчетов использовались пакет квантово-химических программ GAMESS [3] и неэмпирический метод ССП МО ЛКАО, в качестве атомных волновых функций использовался полноэлектронный валентно-двух-экспонентный базисный набор 6-31G.

Целевой продукт получали сплавлением исходных компонентов в запаянной ампуле при $215 \pm 5^\circ\text{C}$ в течение 5 ч. Проанализировав данные, полученные ЯМР-спектроскопией, было установлено, что малеопимаровая кислота вступает в реакцию с ацетатом цинка с образованием соли.

Также была построена компьютерная модель наиболее вероятной структуры синтезированного соединения и проведена полная градиентная оптимизация координат всех атомов системы до достижения минимума на поверхности потенциальной энергии. В результате расчетов наиболее энергетически выгодной оказалась структура, представленная на рисунке 1. Из расчетов следует, что атом цинка локализуется в некотором «серединном» состоянии между четырьмя атомами кислорода при атомах C-18 и C-18', при этом расстояния Zn-O согласуются со значением суммы ионных радиусов цинка и кислорода — $2,06 \text{ \AA}$. При этом рассчитанные значения величин порядков связи, характеризующие силу каждой связи, указывают на то, что атом цинка одинаково связан со всеми кислородами в указанной структуре.

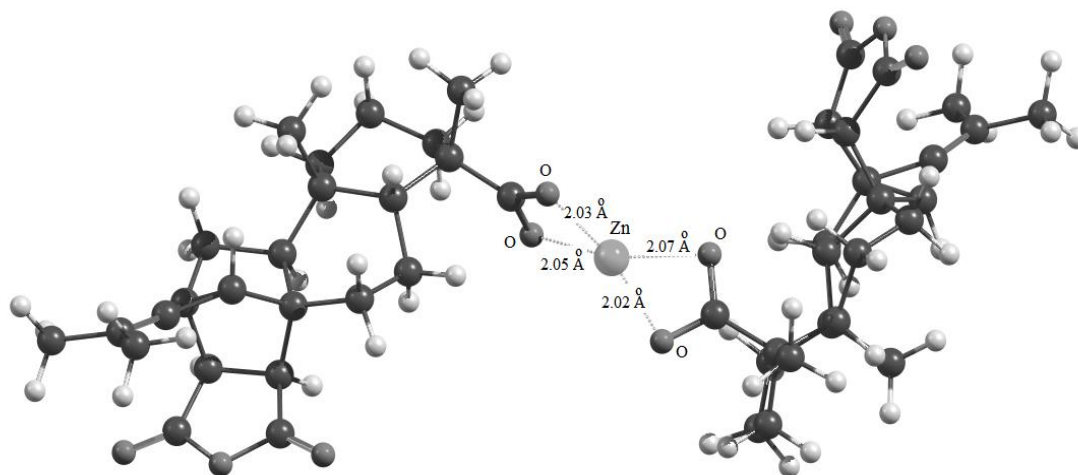


Рис. 1. Энергетически выгодная структура продукта взаимодействия

На рисунке 2 представлена схема модифицирования малеопимаровой кислоты.

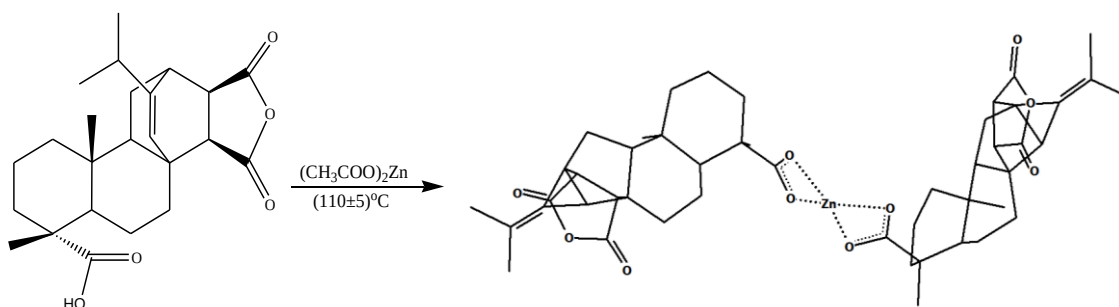


Рис. 2. Схема взаимодействия малеопимаровой кислоты с ацетатом цинка

При этом доказано, что аддукт α -терпинена при данных условиях в реакцию не вступает.

Таким образом, реакция малеопимаровой кислоты с ацетатом металла протекала селективно с образованием индивидуального симметричного соединения, при этом металл присоединялся по карбоксильным группам у атома углерода C¹⁸.

Выражаем благодарность А.Ю. Ключеву, Н.Г. Козлову, Н.Р. Прокопчуку, Т.В. Безъязычной.

Литература:

1. Латышевич И.А., Ключев А.Ю., Козлов Н.Г., Прокопчук Н.Р., Огородникова М.М. Получение, исследование состава и применение терпеноидномалеиновых аддуктов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2017, Вып. 221, 294–308.
2. Материалы лакокрасочные. Метод определения времени и степени высыхания. ГОСТ 19007-73. – Введ. 01.07.74. – М.: Издательство стандартов, 2003. – 6 с.
3. Schmidt M.W., Baldrige K.K., Boatz J.A., Elbert S.T., Gordon M.S., Jensen J.H., Koseki Sh., Matsunaga N., Nguyen K.A., SU Sh., Windus T.L., Dupuis M., Montgomery J.A. General atomic method of system simulations // J. Comput. Chem. - \1993, Vol. 14, 1347–1363.

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ВОЛОКНИСТЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

А.Н. Радюк

Витебский государственный технологический университет, Витебск, Беларусь, ana.r.13@mail.ru

Одним из наиболее распространенных способов физического модифицирования полимеров с целью создания новых материалов с заданным комплексом свойств является наполнение. Сочетание полимеров с наполнителями позволяет получать материалы с совершенно новыми технологическими или эксплуатационными свойствами [1]. Наполнение также дает возможность для реализации комплекса новых ценных свойств полимерных материалов и расширения областей их применения.

Помимо этого, наполнители могут применяться для уменьшения расхода основного полимера, не требуя в отдельных случаях дополнительного введения стабилизаторов и пластификаторов. Однако, введение наполнителя нарушает регулярность расположения макромолекул, и, как правило, приводит к понижению механических свойств и ухудшению текучести и перерабатываемости пластикатов. Обычно содержание наполнителей не должно превышать 20 мас.ч на 100 мас.ч полимера [2].

В качестве наполнителей для полимеров используется целый ряд веществ. Среди современных композиционных полимерных материалов (КПМ) важное значение имеют волокнистые полимерные композиты, применение которых дает существенные преимущества по технологичности, снижению стоимости изделий и материалоемкости, улучшению прочностных характеристик, повышению надежности [3].

При создании КПМ основными задачами введения в полимерный материал волокнистого наполнителя является повышение механических или других функциональных свойств, к важнейшим из которых относятся [4]: увеличение прочностных характеристик; регулирование деформационных свойств; придание композиту специфических свойств (пористость или плотность); регулирование технологических свойств; придание декоративности изделию; снижение стоимости материала использованием дешевых разновидностей наполнителей.

В качестве наполнителя предлагается использовать отходы, получаемые в результате стрижки ковров — кноп стригальный, представляющие собой не утилизируемые в настоящее время короткомерные обрезки волокон и пряжи различного химического состава и происхождения (натуральные и химические волокна) в зависимости от ассортимента продукции предприятия. В работе использовали кноп стригальный полипропиленовый с длиной волокон 2–4 мм. В качестве вторичного полимерного сырья используют отходы полиуретана производства обувных предприятий.

С целью повышения технологичности переработки материала применяли дополнительные ингредиенты: масло индустриальное и стеарат кальция (твердый пластификатор композиции).

Технология получения полиуретановых композиций для низа обуви с волокнистым наполнителем включает в себя следующие этапы:

- измельчение — осуществляется на измельчителе универсальном роторном ИУР 200В (отходы ППУ дробили до размеров (5–7) мм);
- смешивание — обеспечивает безотходную переработку материала, осуществляется в лопастной мешалке;
- гранулирование — осуществляется на шнековом экструдере ЭШ-80Н4 при температурах от 145°C до 165°C с получением гранул размером (2–4) мм;
- литье — осуществляется на машине Main Group SP345/3.

Для оценки качества полученных материалов и подошв определяли физико-механические и эксплуатационные показатели в соответствии с ГОСТ на методы испытания. Были определены твердость (ГОСТ 263-75 «Резина. Метод определения твердости по Шору А»), плотность (ГОСТ 267-73 «Резина. Методы определения плотности»), средняя толщина пластины (измерялась толщиномером по ГОСТ 11358-89 «Толщиномеры и стенкоммеры индикаторные с ценой деления 0,01 и 0,1 мм. Технические условия»), относительное удлинение (ГОСТ 270-75 «Резина. Метод определения упругопроч-

ностных свойств при растяжении»), сопротивление истиранию (ГОСТ 426-77 «Резина. Метод определения сопротивления истиранию при скольжении»).

Твердость исследуемого материала без использования наполнителя составила 80 у.е., плотность 1,03 г/см³ при средней толщине 6,2 мм. Условная прочность составила 1,67 МПа, относительное удлинение 88 %, а сопротивление истиранию 6,43 Дж/мм³.

Было исследовано влияние наполнителя на физико-механические и эксплуатационные свойства материала путем варьирования количественного содержания кнопа в композиции.

Анализ результатов исследования показал, что незначительное введение в композицию кнопа приводит к увеличению значений исследуемых показателей по сравнению с образцом без использования наполнителя. Дальнейшее увеличение содержания кнопа приводит к незначительному снижению плотности и твердости, но при этом возрастает прочность и относительное удлинение. Однако, при дальнейшем увеличении содержания кнопа наблюдается снижение значений почти всех исследуемых показателей (кроме твердости) по сравнению с предыдущим образцом.

В результате исследования установлено, что для получения подошвенного материала с наилучшими показателями содержание кнопа должно составлять 1 мас.ч. по отношению к отходам пенополиуретанов (ППУ). Твердость материала из отходов ППУ с волокнистым наполнителем составила 78 у.е., плотность 1,02 г/см³ при средней толщине 6,4 мм. Условная прочность составила 2,83 МПа, относительное удлинение 204 %, а сопротивление истиранию 6,37 Дж/мм³.

Таким образом, установлено, что содержание наполнителя в КПМ должно быть оптимальным с точки зрения его влияния на физико-механические и эксплуатационные свойства. При содержании наполнителя выше оптимального – 1 мас.ч. кнопа по отношению к отходам ППУ – многие свойства КПМ ухудшаются. Благодаря использованию в качестве наполнителя вторичных материальных ресурсов, а именно волокнистых отходов текстильной промышленности – кноп стригальный полипропиленовый, значительно повышаются физико-механические и эксплуатационные свойства материала, расширяется ассортимент материалов для деталей низа обуви, снижается себестоимость данного вида продукции вследствие замены дорогостоящих полиуретанов дешевыми текстильными отходами и отходами ППУ.

Литература:

1. Бобович Б.Б. Полимерные композиционные материалы, учебное пос. – М.: Изд-во МГИУ, 2009. – 388 с.
2. Прохоров В.Т., Грецкая Л.Г., Тартанов А.А., Тихонова Н.В., Козаченко П.Н. О преимуществах нанотехнологий при формировании экологически безопасных композиций для литья низа обуви (сообщение 1) // Вестник Казанского технологического университета. 2014. №13.
3. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология / под ред. А.А. Берлина. – СПб.: Профессия, 2014. – 592 с.
4. Технические свойства полимерных материалов: учеб.-справ. пособие./ В.К. Крыжановский, В.В. Бурлов, А.Д. Паниматченко, Ю.В. Крыжановская. – СПб: Профессия, 2007. – 240 с.

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МИКРОЧАСТИЦ АМОКСИЦИЛЛИНА МЕТОДОМ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СУШКИ

Д.Л. Радюкевич, Г.Б. Мельникова, С.А. Чижик

*Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси,
Минск, Беларусь; cheshiredr.email@gmail.com*

Введение. Получение сферических композитных микрочастиц лекарственных веществ играет важную роль в фармацевтической и химической промышленности. Технология распылительной сушки позволяет получать такие микрочастицы размером от 0,1 до 100 мкм. Процесс распылительной

сушки состоит из распыления раствора и его осушение газом при высоких температурах и позволяет получать микрочастицы с заданным размером и морфологией, а также улучшенной растворимости и биодоступностью. Эффективность микрочастиц лекарственных веществ обусловлена максимальной концентрацией компонента, распределенного по всему объему частицы [1–3].

Цель. Получение композитных микрочастиц амоксициллина (АЦ) методом распылительной сушки.

Материалы и методы. Процесс распылительной сушки проводили с 0,66-й масс. % водным р-ром АЦ, АЦ с хлоридом натрия в мольном соотношении 2 : 1 соответственно, и избытком хлорида натрия в таком же соотношении; а также с содержанием компонентов АЦ и хлорида натрия 1 : 1. Получение микрочастиц проводили на установке распылительной сушки LU-222 Advanced (LU-222 Advanced, Labultima, Индия) при следующих условиях: уровень вакуума – 2100 Па, температура входящего воздуха 170 °С, давление распыления жидкости 4 кг/см². Образцы микрочастиц исследовали методом сканирующей электронной микроскопии и на оптическом микроскопе Микро-200 (ГНПО «Планар», Республика Беларусь).

Результаты и выводы. В результате проведенных исследований установлено, что независимо от содержания компонентов в растворе размер микрочастиц составляет 2 ± 1 мкм. Полученные микрочастицы АЦ имеют пористую поверхность, которая образуется в результате быстрого испарения воды рис. 1, а.

Согласно СЭМ-изображениям в композитных микросферах АЦ и хлорида натрия установлено наличие частиц компонентов различного размера, локализация которых зависит от их количества в растворе. Так, при соотношении 1 : 1 (АЦ : NaCl) частицы хлорида натрия, меньшие по размеру, содержатся, как правило, внутри микросферы (рис. 1, б). В процессе сушки раствора с избытком хлорида натрия частицы АЦ локализованы под тонким слоем хлорида натрия. При соотношении 2 : 1 (АЦ : NaCl) образуется древовидная структура. Предполагаем, что это обусловлено электростатическим взаимодействием между молекулами АЦ.

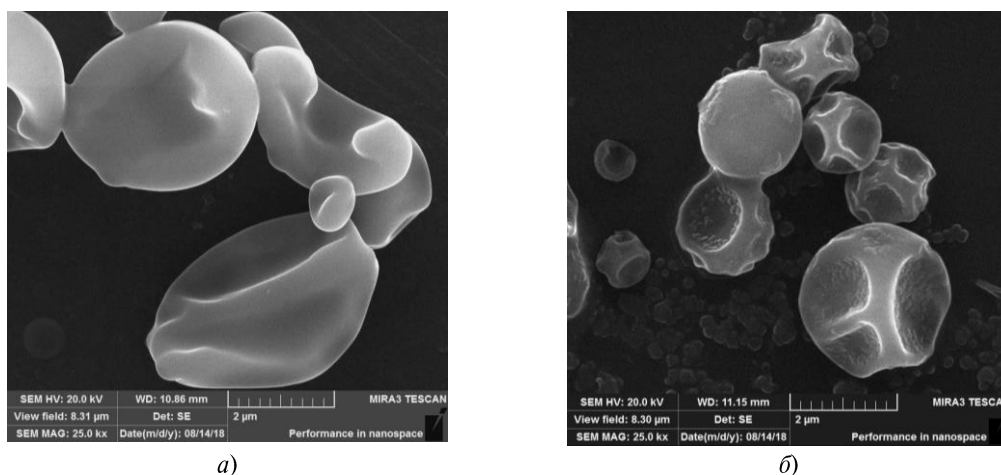


Рис. 1. СЭМ-изображения микрочастиц амоксициллина (а);
амоксициллин и хлорид натрия в соотношении 1 : 1 (б).

Таким образом, равное мольное соотношение веществ в растворе является оптимальным для получения композитных сферических микрочастиц с равномерным распределением компонентов по объему.

Литература:

1. Горева А. В., Шишацкая Е. И., Волова Т. Г., Сински Э. Дж. Характеристика полимерных микрочастиц на основе резорбируемых полиэфиров окисалкановых кислот в качестве платформы для депонирования и доставки препаратов // Высокомолекулярные соединения. — 2012 (54), № 2, 224—236
3. Могилюк В. Распылительная сушка, распыление-охлаждение расплавов и форсунки, используемые для целенаправленного формирования частиц // Фармацевтическая отрасль. — 2015 (51), № 4, 104—108
3. Мухина М. А., Леонова М. В. Новые пероральные лекарственные формы антибиотиков // Лечебное дело. — 2012 (23), № 1, 16—22

ВЛИЯНИЕ СМЕСЕЙ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕР-МИНЕРАЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

А.А. Тимофеенко, В.В. Тимошенко

*Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси,
Гомель, Беларусь; timoshenko13@gmail.com*

Введение. Полимер-минеральные смеси с использованием различных термопластичных связующих находят все большее признание в мире, как эффективные заменители металлических, керамических и натуральных (дерево, камень) материалов. Свойства их настолько разнообразны, что позволяют использовать эти материалы в различных областях для изготовления декоративно-отделочных изделий, изделий строительного и дорожно-строительного назначения. Для изготовления полимер-минеральных композитов наибольшее распространение находят такие связующие, как отходы ПП, ПЭ, АБС, ПУ, ПС, и другие термопластичные полимеры. Применение этих связующих позволяет использовать широкую гамму наполнителей, благодаря которым варьируются свойства и области применения полимер-минеральных композитов. В то же время их сочетание не всегда позволяет получать композиты со стабильным уровнем физико-механических свойств. Одним из путей для устранения этого недостатка представляется применение в таких композициях смесей термопластичных полимеров. [1–3]

Целью работы является исследование влияния смесей термопластичных полимерных отходов на комплекс физико-механических характеристик полимер-минеральных композиций.

Материалы и методы исследования. Для проведения исследований использовали вторичные полимерные материалы – АБС-полимеры, полиуретан (ПУ), вторичные полиолефины полиэтилен высокой плотности (ПЭВП), полиэтилен низкой плотности (ПЭНП), полипропилен (ПП). В качестве наполнителей использовали песок строительный фракций 125, 315, 500, 800 мкм (ГОСТ 8736-93). В качестве целевых добавок – стеарат кальция (ТУ 34767516-003-2008) и стеарат цинка (ТУ 2432-062-56856807-06).

Получение формовочной массы осуществлялось путем смешения полимерного связующего с наполнителем и последующей гомогенизацией компонентов композиции в плавильно-смесительном агрегате при температуре 260 °С.

Образцы для механических испытаний на сжатие получали прессованием формовочной массы в предварительно нагретой до 70 °С пресс-форме с приложением нагрузки 16 тонн/см².

Механические характеристики образцов композиционных материалов на сжатие исследовали по ГОСТ 4651-82 с помощью автоматизированного стенда INSTRON 5567 (фирма Instron Limited Corp., England).

Результаты и их обсуждение. Разработана композиция, включающая смесь вторичных ПП+ПЭ (30%), строительный песок (68%), смесь стеаратов кальция и цинка (2%). Полученная композиция обладает повышенным на 30–35% показателем текучести расплава, что позволяет увеличить прочностные характеристики материала на 20% по сравнению с композициями из моно полимеров. 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 пресс-форме. При этом наблюдается снижение сдвиговых напряжений между компонентами расплава и между расплавом и пресс-формой, что отражается на показателях усилия прессования и качестве поверхности изделия.

Разработан состав, включающий смесь вторичных АБС+ПУ (30%), строительный песок (68%), смесь стеаратов кальция и цинка (2%). Использование вторичного АБС в композиции с полиуретаном способствует возрастанию твердости на 25 % и относительного удлинения на 30 %, что обусловлено равномерным распределением расплава ПУ между частицами АБС и, как следствие, формированием более однородной структуры композиционного материала.

Полученные композиции можно успешно использовать при производстве люков, колодцев, ливневок и т.д.

Заключение. Показано, что использование смесей термопластичных отходов в полимер-минеральных композициях позволяет целенаправленно управлять физико-механическими характеристиками получаемых изделий.

Литература:

1. Берлин, А.А. Принципы создания композиционных материалов / А.А. Берлин, С.А. Вольфсон, В.Г. Ошмян, Н.С. Ениколопов – М.: Химия. – 1990. – 240 с.
2. Михайлов, К.В. Полимербетоны и конструкции на их основе / К.В. Михайлов, В.В. Патуроев, Р. Крайс – М.: Стройиздат. – 1989. – 304 с.
3. Липатов Ю.С. Физико-химические основы наполнения полимеров. – М.: Химия. – 1971. – 262 с.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СМЕШАННЫХ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ

В.В. Тимошенко, А.А. Тимофеенко

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

Введение. Создание полимерных композиционных материалов широкого функционального назначения на основе вторичных полимеров относится к актуальной в настоящее время области ресурсосберегающих технологий. Накопление в окружающей среде отходов полимеров, часть которых представляет собой импортный продукт, существенно осложняет экологическую обстановку и является нежелательным по экономическим соображениям. В тоже время целевой рециклинг вторичных полимеров зачастую осложняется нераздельным (т.е. смешанным) характером изъятия из технологического процесса и последующего хранения этого вида промышленных отходов. Механические смеси вторичных полимеров в большинстве случаев представляют собой случайные по составу прото-композиты с непредсказуемой и зачастую низкой совместимостью полимерных компонентов, а изделия из них – неудовлетворительными и/или нестабильными свойствами. Перспективным подходом к решению данной проблемы является разработка технологических принципов целевого рециклинга полимерных отходов (полиолефины, ПВХ, АБС-сополимер, полистирол, ПЭТФ и др.) путем получения на их основе измельчением, агломерированием и гранулированием композиционных материалов с модифицирующими добавками для формирования изделий, в которых было бы реализовано более эффективное совмещение полимеров с добавками, за счет чего достигнуты улучшенные эксплуатационные свойства получаемых изделий технического назначения [1–4].

Цель настоящей работы – разработка и исследование композиционных материалов на основе смешанных термопластичных полимерных (АБС-полимеров, полистирола, полиолефинов, ПВХ, ПЭТФ и др.).

Материалы и методы исследования. Для проведения исследований использовали вторичные полимерные материалы – АБС-полимеры, полистирол ПС, сэвилен СЭВ, полиуретан ПУ, вторичные полиолефины полиэтилен высокой плотности ПЭВП, полиэтилен низкой плотности ПЭНП, полипропилен ПП. В качестве целевых добавок использовали стеарат кальция (ТУ 34767516-003-2008), антиоксидант – суперконцентрат гранулированный (ТУ 2243-001-79683189-2008), аэросил (ГОСТ 14922-77).

Формование образцов проводили на термопласт-автомате ТП EN 30.

Исследование физико-механических характеристик проводили на комплексе "INSTRON 5567" по стандартной методике. За результат измерения принимали среднее значение пяти параллельных испытаний.

Определение ударной вязкости по Шарпи проводили по ГОСТ 4647 с помощью маятникового копра, обеспечивающего измерение энергии удара затраченной на разрушение образца. Для испытаний использовали образцы в виде стандартных брусков с размерами 70×10×4 мм.

Результаты и их обсуждение. Введение отходов ПУ, ПС, ПП во вторичный АБС-пластик оказывает положительное воздействие на комплекс физико-механических характеристик конечной композиции. При использовании ПУ на фоне некоторого снижения разрушающего напряжения при растяжении (на 5–15 %) при неизменном относительном удлинении наблюдается возрастание на 20 % ударной вязкости. Это обусловлено характерными для ПУ высокими показателями вязкоупругих свойств, которые частично передаются смесевой композиции. Полученный материал может успешно использоваться при производстве длинномерных изделий, например труб, где важным показателем является именно ударная вязкость. При использовании в качестве наполнителя ПС либо ПП наблюдается возрастание на 10–20 % разрушающего напряжения при растяжении при незначительном (на 5–10 %) снижении относительного удлинения. Повышение прочности композиций с использованием ПС либо ПП обусловлено, по-видимому, более высокой жесткостью надмолекулярных образований ПП либо ПС в процессе переработки полимерных смесей, что обеспечивает армирующий эффект в системе. Такого рода композиты можно использовать при производстве целого ряда технически необходимых, но при этом малоответственных конструктивных элементов — например, полимерной тары, предназначенной для хранения и перемещения продукции растениеводства.

Установлено, что в случае модифицирования смеси АБС+ПП с помощью 1 % аэросила наблюдается улучшение деформационных свойств — относительное удлинение при разрыве возрастает на 65 % в сравнении с немодифицированной композицией. При этом наблюдается снижение прочности на 20 %. Полученный результат позволяет использовать разработанный состав при производстве ограничителей для железобетонных конструкций, т.к. материал имеет достаточно высокую прочность и эластичность для такого рода изделий.

Заключение. Проведенные исследования показывают эффективность модифицирования полимерных отходов корпусов электронной и электрической техники другими полимерными отходами для получения композиционных материалов технического назначения с повышенным комплексом физико-механических характеристик.

Литература:

1. Экструзия полимеров / Пер. с англ. под ред. А.Я. Малкина. — СПб.: Профессия, 2006. — 768 с.
2. Вторичная переработка пластмасс / Ф. Ла Мантия (ред.); пер. с англ. под ред. Г.Е. Заикова. — СПб.: Профессия, 2007. — 400 с.
3. Клинков, А.С. Утилизация и вторичная переработка полимерных материалов: учеб. пособие / А.С. Клинков, П.С. Беляев, М.В. Соколов; под ред. Е.С. Мордасова. — Тамбов: Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ), 2005. — 80 с.
4. Рубан Л.В., Заиков Г.Е. Влияние добавок металлов и их производных на термораспад полимеров // Успехи химии. — 1993.— № 6. — С. 644-664.

СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНЫМ УГЛЕМ

Н.В. Цобанова

*Витебский государственный технологический университет,
Витебск, Беларусь, Tsobanova.Nadi@yandex.by*

Основной деталью низа обуви является подошва, изготавливаемая, как правило, методом литья под давлением. Применяемые материалы для подошв — полиуретаны и термоэластопласты, которые в Республике Беларусь не производятся.

Наилучшими свойствами обладают подошвы, изготовленные на основе полиуретана. Поэтому полиуретановые композиции используют на многих предприятиях, выпускающих обувь.

Недостатком полиуретана является невозможность его повторного использования. Полиуретановые отходы представляют собой затвердевший реактопласт, захоронение которого запрещено по экологическим соображениям. Образуются такие отходы в элементах литниковой системы, при отбраковке обуви и других технологических операциях. Наличие отходов увеличивает себестоимость продукции и ухудшает состояние окружающей среды.

В обувной промышленности основным направлением формирования ассортимента материалов для низа обуви является модификация свойств полимерных композиций, варьирования их рецептуры и использования для этих целей отходов производства. Использование отходов подразумевает их возврат в производство в виде сырья для изготовления основной и дополнительной продукции и возможность экономии исходных сырьевых полимерных материалов.

Полимерные изделия на основе отходов пенополиуретанов получают методом литья под давлением горячей смеси, включающей расплав вторичного полимерного сырья и модификаторы, с формованием изделия в специальных пресс-формах. В качестве вторичного полимерного сырья используют отходы полиуретана производства обувных предприятий.

С целью повышения технологичности переработки материала применяли дополнительные ингредиенты: масло индустриальное, стеарат кальция (твёрдый пластификатор композиции) и технический углерод, полученный в результате переработки древесного угля (в качестве наполнителя).

При добавлении масла индустриального обеспечивается функция пластификации полимерной матрицы с целью регулирования течения расплава, а также смазывание компонентов композита с целью облегчения их взаимного агломерирования.

Применение стеарата кальция обеспечивает реализацию функции твёрдой смазки полимеров, а также повышает устойчивость вторичных полимеров к термоокислению.

Приготовление смеси компонентов заключается в их механическом смешении – совмещение компонентов композиций. Вторичное полимерное сырьё смешивалось с индустриальным маслом, стеаратом кальция и древесным углем.

Технологическая схема процесса может быть представлена следующим образом: предварительная сортировка и очистка, измельчение, подготовка полимерной композиции и переработка в изделия.

Первая стадия включает сортировку отходов по внешнему виду: отделение непластмассовых компонентов. Вторая стадия – одна из наиболее ответственных в процессе. В результате одно- или двухстадийного измельчения материал достигал размеров, достаточных для того, чтобы можно было осуществлять его дальнейшую переработку. Отсортированные отходы полиуретана измельчаются на дробилке роторно-ножевого типа.

Дробленые отходы смешивали с наполнителями и другими ингредиентами и гранулировали. Затем компоненты загружаются в бункер шнекового экструдера ЭШ-80Н4. Температура в экструдере должна быть 140–185 °С. Далее идёт охлаждение композита. Затем подготовленную композицию перед литьём дробили до размеров гранул (2–4) мм.

Заключительной стадией процесса использования отходов является переработка гранулята в изделия. Измельчённый композит поступает на литьевые агрегаты. Необходимо придерживаться следующих режимов при литье подошв: температура 150–180 °С; давление впрыска 40–60 Мпа; время впрыска 15–40 с.; время охлаждения 50–120 с. Для литья изделий использовали трехпозиционный статический литьевой агрегат SP 345-3 фирмы Main Group.

Физико-механические показатели пластин из композиций представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты испытаний физико-механических свойств пластин

Показатели	ППУ + сте- арат Са (0,5%) + индустри- альное мас- ло (5%)	ППУ + стеа- рат Са (0,5%)+ масло (5%)+ древ. уголь (5%)	ППУ + стеа- рат Са (0,5%)+ масло (5%)+ древ. уголь (10%)	ППУ + стеа- рат Са (0,5%)+ масло (10%)+ древ. уголь (10%)	ТЭП*
Плотность, г/см ³	1,03	1,0	1,0	1,0	1,00
Твердость по Шору А, усл.ед.	80	82	81	82	75
Относительное удлинение при разрыве, %	88	70	53	71	250
Предел прочности, МПа	2,0	2,6	2,2	2,6	2,5
Сопротивление к истиранию, Дж/мм ³	3,4	1,2	1	1,5	2,5

* Значения ТЭП даны для сравнительной характеристики

Анализируя таблицу, можно сделать следующие выводы: по плотности, по твердости и пределу прочности полученные материалы близки по значению к ТЭП; низкие значения показателя «относительное удлинение при разрыве» в сравнении с ТЭП говорят о недостаточной пластичности материалов; значения сопротивления к истиранию в композициях с древесным углем ниже, чем значения ТЭП.

Исследование физико-механических и эксплуатационных свойств этих композиций показало, что полученные материалы можно использовать в качестве промежуточного слоя подошв, а также вкладышей в каблучную её часть. Эти решения позволяют существенно снизить себестоимость подошв и частично использовать отходы обувного производства.

Введение наполнителя позволяет улучшить эксплуатационные свойства композиции, а также регулирует технологические свойства и облегчает их переработку. Древесный уголь, как замена технического углерода, не способствует усилению прочностных свойств, но улучшает реологические свойства при литье композиции. Также древесный уголь выпускается разных по размерам фракций, которые оказывают влияние на свойства полимерных композиций.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ АНТИФРИКЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПТФЭ

И.С. Шилько

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

Введение. В настоящее время углеродные волокнистые материалы получили широкое применение в различных областях техники. Важным является их использование в композиционных материалах на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) в качестве многофункционального наполнителя, позволяющего значительно улучшить деформационно-прочностные и триботехнические характеристики. В связи с наличием различной сырьевой и технологической базы на мировом рынке сложилась практика использования различных типов углеродных волокон (УВ), которые могут оказывать различное влияние на эксплуатационные характеристики получаемых композитов. Можно заметить, что наиболее широко известны и массово применяются углеродные волокна на основе вискозы и полиакрилонитрила (ПАН).

Целью настоящей работы является проведение сравнительных испытаний ПТФЭ композитов антифрикционного назначения, наполненных УВ на основе ПАН с фторопластовыми композитами, содержащими в качестве наполнителя вискозные УВ.

Материалы и методы. В качестве объекта исследования выступали композиты на основе фторопласта-4 с содержанием УВ до 20% масс. Образцы для проведения испытаний изготавливали по действующему техническому регламенту в соответствии с ТУ ВУ 400084698.280-2016 «Материалы антифрикционные фторопластовые». Были определены физико-механические (плотность, предел прочности при растяжении, модуль упругости при сжатии, условное напряжение сжатия при 5%-ой деформации) и трибо-технические (интенсивность изнашивания, коэффициент трения, PV-фактор при 1 м/с) характеристики.

В работе были использованы различные типы, определяемые используемым прекурсором, и марки измельченных углеродных волокнистых наполнителей (табл. 1):

Таблица 1. Характеристики измельченных углеродных наполнителей

Характеристики углеродных материалов	«УВИ» (ОАО «Светлогорск-Химволокно, РБ)	«Десна» (ГП «ЗПМ», Украина)	«Т300-3000» (Toray, Япония)	«УВШМ» (UMATEX, Россия)
Прекурсор	вискоза	вискоза	ПАН	ПАН
Плотность, г/см ³	1,4-1,5	1,4-1,6	1,7-1,8	1,7-1,8
Прочность при растяжении, МПа	500-1200	500-1200	3200-3800	3200-3500
Модуль упругости при растяжении, ГПа	20-60	20-60	220-235	240-255
Диаметр волокна, мкм	6-10	7-10	7-8	6-7
Содержание углерода, %	90-94	90-92	95-97	95-97
Массовая доля золы, %	0,7	1,4	0,3	3,8
Насыпная плотность, кг/м ³	370	230	420	430
Средний размер частиц, мкм	100±20	140±20	100±20	60±20

Методом растровой электронной микроскопии изучались структура композита и профиль волокна, а также и его контакт с полимерной матрицей. Для каждого волокнистого материала определялся фракционный состав.

Результаты и обсуждение. Насыпная плотность измельченных волокон на основе ПАН (420-430 кг/м³) оказалась выше плотности измельченных вискозных УВ (230-370 кг/м³), что обусловлено, главным образом, большим удельным весом волокна на основе карбонизированного полиакрилонитрила и преобладанием во фракционном составе УВ ПАН относительно коротких волокон в помол по сравнению с вискозными УВ.

Изучение структуры композитов по микрофотографиям излома показало, что волокна из вискозы вследствие более развитой поверхности проявляют более высокую адгезионную способность к фторопластовой матрице. Так, на их поверхности отмечено множество частиц и тяжей матрицы, а прилегание фторопласта-4 к УВ является достаточно плотным. На углеволокнах, полученных при карбонизации ПАН, почти не присутствуют следы полимера, а также наблюдается значительное количество пор.

Исследование физико-механических свойств полученных образцов показало, что предел прочности при растяжении, являющийся одним из показателей качества, практически одинаков для всех композитов. Незначительное снижение предела прочности имеет место для углеродного наполнителя марки «УВШМ». Модуль упругости у композитов с УВ ПАН превышает таковой для изучаемых материалов на основе вискозы. Однако напряжение, при котором достигается деформация 5 %, у них практически одинаково. Это означает, что модуль упругости при малых деформациях у них одинаков, а при больших деформациях, где, как правило, композиты на основе фторопласта-4 не используются, замет-

но выше. Это объясняется влиянием более жестких и прочных УВ-ПАН на упругие свойства композита в области больших деформаций, когда, по сути, происходит течение материала матрицы.

Рассматриваемым типам композитов с УВ на основе вискозы присущ одинаковый характер изменения коэффициента трения с ростом давления в зоне трения — он снижается почти до значения 0,1, в то время как для композитов с УВ ПАН минимальное значение составило 0,15-0,16. Для всех изучаемых композитов температура в зоне трения в среднем отличается незначительно. Однако характер ее изменения неодинаков. Так, для композитов, содержащих УВ из вискозы, температура в зоне трения почти не меняется с ростом давления, и наблюдаемые колебания не носят системного характера, а для композитов с добавлением УВ ПАН обеих марок температура в зоне трения растет с повышением давления. Это может быть связано с достаточно высоким коэффициентом трения и, соответственно, с ростом выделения тепла, что приводит к преждевременному формоизменению образца. В связи с этим композиты с УВ ПАН имеют более низкие значения PV-фактора и износостойкости.

Вывод. По комплексу физико-механических и триботехнических характеристик установлено, что в качестве наполнителя для антифрикционных фторопластовых композитов углеродные волокна на основе вискозы имеют преимущество перед УВ на основе ПАН. Использование более прочных и жестких УВ на основе ПАН не дает ожидаемого эффекта по повышению механических характеристик фторопластовых композитов по сравнению с материалами наполненными УВ на основе вискозы, но приводит к заметному ухудшению трибологических свойств, что выражается в повышенных значениях коэффициента трения, интенсивности изнашивания и снижении несущей способности материала в узле трения.

ВЛИЯНИЕ МНОГОЦИКЛОВЫХ НАГРУЖЕНИЙ НА ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ИСКУССТВЕННЫХ КОЖ

В.Д. Борозна

Витебский государственный технологический университет, Витебск, Беларусь, e-mail: wilij@mail.ru

Целью данного исследования является исследование структуры искусственных кож (ИК) после воздействия многоцикловых нагрузений.

Материалы и методы. В качестве объектов исследования использованы ИК Metlack бордо и Metlackт-синий (Германия), применяемые в обувной промышленности. Искусственные кожи подвергали многоцикловому нагружению до 150 тыс. циклов, что соответствует 30 дням носки обуви. Исследование структуры ИК проводили методом микроскопии поперечного среза материала в отраженном свете с помощью стереомикроскопа «BestScopeBS 3040» с камерой-планшетом BCL-350, снабженным программным обеспечением для получения и обработки изображения. Для исследования структуры ИК применяется методика исследования структуры по микрофотографиям поперечного среза материала, описанная в работах [1,2] с дополнениями, учитывающими структурные особенности ИК.

По микрофотографии поперечного среза определялись следующие параметры: общая толщина образца, δ ; толщина текстильной основы, $\delta_{т.с.}$; толщина полимерного слоя, $\delta_{п.с.}$; диаметры нитей основы и утка по горизонтали и вертикали, $d_{г.д.в.}$; высота волн изгиба нитей основы и утка в ткани, h ; расстояния между центрами нитей основы и утка, L ; радиус пор, R ; фаза строения текстильной основы.

Результаты и их обсуждение. Микрофотография ИК Metlackт-синий в поперечном направлении представлена на рисунке 1. Результаты исследования ИК Metlack бордо и т-синий представлены в таблицах 1 и 2.

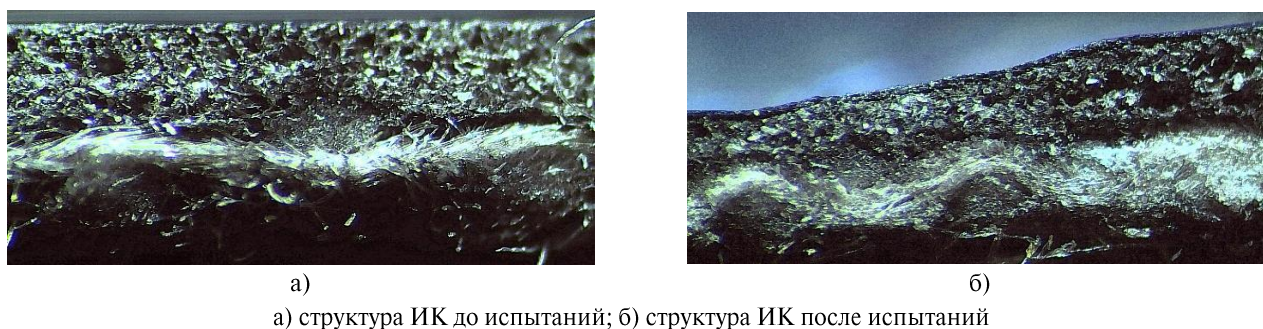


Рис. 1. Микрофотография поперечного среза Metlackт-синий в поперечном направлении

Таблица 1. Анализ микроскопии Metlackт-синий в продольном и поперечном направлениях

Параметры структуры образца	Продольное направление		Поперечное направление	
	До испытания	После испытания	До испытания	После испытания
Общая толщина образца, мкм	917	859	970	701
Толщина отделочного полимерного слоя, мкм	15	21	15	18
Толщина пористого полимерного слоя, мкм	414	511	421	321
Толщина текстильной основы, мкм	455	409	478	329

Продолжение таблицы на следующей странице.

Параметры структуры образца	Продольное направление		Поперечное направление	
	До испытания	После испытания	До испытания	После испытания
Радиус пор, мкм	39	34	27	39
Диаметр нити по горизонтали, мкм	323	455	475	266
Диаметр нити по вертикали, мкм	212	217	245	180
Высота волны изгиба, мкм	419	369	436	301
Расстояние между центрами нитей, мкм	978	1708	1816	989
Коэффициент соотношения высот волн нити основы и утка / Фаза строения	0,96/5	1,29/6	1,61/6	1,06/5

После многоцикловых нагрузок общая толщина образца Metlackт-синий в продольном направлении уменьшилась на 6% за счет изменения толщины текстильной основы. Уменьшилась толщина полимерного слоя на 23% и 40% за счет изменения структуры пор. Поры стали иметь ярко выраженную губчатую структуру. При сравнении образцов видно, что из-за многократных воздействий изменились размеры диаметров нитей по горизонтали и вертикали на 41% и 2%. Форма поперечного сечения нитей вместо эллипса приняла форму веретена, вследствие чего уменьшилась высота волны изгиба и увеличилось расстояние между центрами нитей. Фаза строения текстильной основы изменилась с пятой на шестую.

Общая толщина образца Metlackт-синий в поперечном направлении изменилась на 28%, также уменьшилась толщина пористого полимерного слоя и текстильной основы на 24% и 31% соответственно. Срез образца произведен в складке образца материала. Видимый радиус пор стал больше на 42%. Диаметр нитей по горизонтали и вертикали уменьшился за счет уплотнения и распрямления нитей основы. В связи с этим изменилась фаза строения с 6 на 5. Также в сечении исчезли воздушные промежутки между полимерным слоем и текстильной основой.

Таблица 2. Анализ микроскопии Metlack бордо в продольном и поперечном направлении

Параметры структуры образца	Продольное направление		Поперечное направление	
	До испытания	После испытания	До испытания	После испытания
Общая толщина образца, мкм	1027	766	1035	868
Толщина отделочного полимерного слоя, мкм	16	15	17	25
Толщина пористого полимерного слоя, мкм	468	393	493	504
Толщина текстильной основы, мкм	516	378	513	363
Радиус пор, мкм	35	34	30	42
Диаметр нити по горизонтали, мкм	460	459	335	283
Диаметр нити по вертикали, мкм	237	226	225	195
Высота волны изгиба, мкм	424	363	339	349
Расстояние между центрами нитей, мкм	1285	1271	1044	1003
Коэффициент соотношения высот волн нити основы и утка / Фаза строения	1,74/6	1,69/6	1,12/5	0,88/5

После эксплуатационных воздействий на ИК Metlack бордо (продольное направление) произошло уплотнение материала. Вследствие чего уменьшилась толщина каждого слоя в пределах 16 – 25 %. Диаметр нити по вертикали и горизонтали изменился незначительно, но следует отметить, что уменьшилась высота волны изгиба нити за счет утонения уточных нитей. Граница между полимерным слоем и текстильной основой обозначилась четко, что указывает на их расслаивание. Расстояние между центрами нитей и фаза строения текстильной основы существенно не изменилось. У искусственной кожи Metlack бордо (поперечное направление) произошло уплотнение материала, вследствие чего уменьши-

лась его общая толщина и толщина текстильной основы. Увеличилась толщина пористого слоя за счет увеличения объема пор. Изменилась форма сечения поперечного среза нитей основы с эллипсоидной на веретеноподобную. Незначительно изменились такие параметры структуры как высота волны изгиба, расстояние между центрами нитей и фаза строения. Граница между полимерным слоем и текстильной основой обозначилась четко, что указывает на их расслаивание. Проведенные исследования структуры ИК Metlack т-синий и бордо после многоцикловых нагрузок показали, что структура ИК уплотняется, изменяется форма поперечного сечения нитей и фаза строения текстильной основы.

Литература:

1. Панкевич, Д.К. Влияние многоцикловых механических нагрузок на структуру материалов с полиэфируретановой мембраной / Д.К. Панкевич, М.Л. Кукушкин // Вестник Витебского государственного технологического университета.— 2017.— №1(32).— С.99-108;
2. Склянников, В.П. Строение и качество тканей: монография / В.П. Склянников.—М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.— 176с.

АКУСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНЫХ ВОЛОКОН И ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НА ИХ ОСНОВЕ

С.Н. Бухаров, А.С. Тулейко

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

Введение. Натуральные волокнистые материалы применялись еще в производстве самых первых автомобилей, но вскоре они были вытеснены более прочными и технологичными искусственными материалами [1]. В настоящее время автомобилестроительные предприятия стоят перед проблемой создания экологически безопасных и вторично перерабатываемых автомобилей, а также снижения их себестоимости. Одним из путей решения этих задач является использование натуральных волокон, но уже не в виде самостоятельных материалов, а в составе композитов.

Одним из условий, определяющих широкое применение композитов, является технологичность изготовления конечного изделия. Так материал типа EcoCor [1] представляет собой нетканый материал из волокон льна и полипропилена. На автотранспортные предприятия он поставляется в рулонах и может использоваться в исходном виде в качестве теплоизолирующего и звукопоглощающего материала, так и для изготовления панелей интерьера.

Целью работы являлось исследование акустических свойств материалов типа EcoCorи прессованных из него панелей в составе звукопоглощающих конструкций для салонов автомобилей.

Материалы и методы. Нормальный коэффициент звукопоглощения (далее — коэффициент звукопоглощения) материалов и конструкций определяли экспериментально методом акустического интерферометра [2].

В работе исследовали модельные образцы композитов, полученные из полипропилена и льноволокна различной степени обработки. Влияние состава композита на его акустические свойства исследовали на образцах содержащих короткое льноволокно №4 или котонизированное волокно различной длины и полипропилен в соотношении от 3:7 до 7:3. Также исследовали слоистые звукопоглощающие конструкции, состоящие из прессованного нетканого материала с соотношением льноволокна и полипропилена 1:1 толщиной 4,0; 4,5; 5,0 и 7,0 мм, нетканого материала «НПА-30» толщиной 30 мм и воздушным зазором 25 мм. Исследовали два варианта расположения слоев материалов: с нетканым материалом НПА-30 (вариант 1); сквозным зазором (вариант 2).

Результаты и их обсуждение. Результаты измерений нормального коэффициента звукопоглощения показали, что с увеличением содержания льноволокна возрастает коэффициент звукопоглощения

во всем исследованном диапазоне частот (рис. 1, а). Увеличение коэффициента звукопоглощения также происходит также с уменьшением размеров волокна (рис.1,б).

Все образцы, изготовленные из котонизированного волокна, имеют коэффициент звукопоглощения выше, чем у композита из короткого льноволокна.

Звукопоглощающие конструкции, предусматривающие наличие воздушного зазора, показали лучшие акустические характеристики на частотах от 500 до 2000 Гц (рис. 2). При этом оптимальная толщина прессованной лицевой панели шумопоглощающей конструкции, обеспечивающей существенное повышение коэффициента звукопоглощения во всем диапазоне частот, составила 4,5-5 мм. Для других исследуемых в работе вариантов сочетаний и расположения звукопоглощающих слоев наблюдаются менее приемлемые характеристики коэффициента звукопоглощения в указанном диапазоне частот.

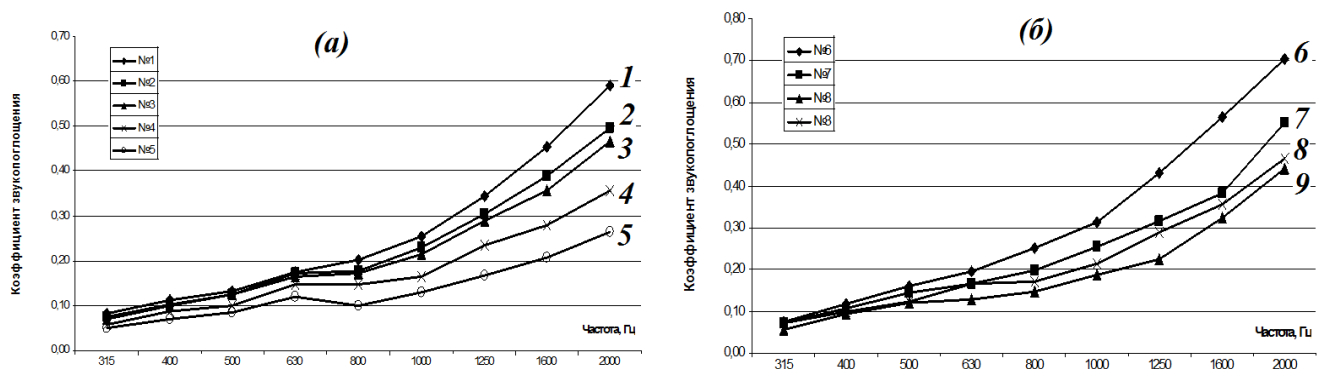


Рис. 1. Влияние концентрации (а) и длины льноволокна (б) на коэффициент звукопоглощения композитов

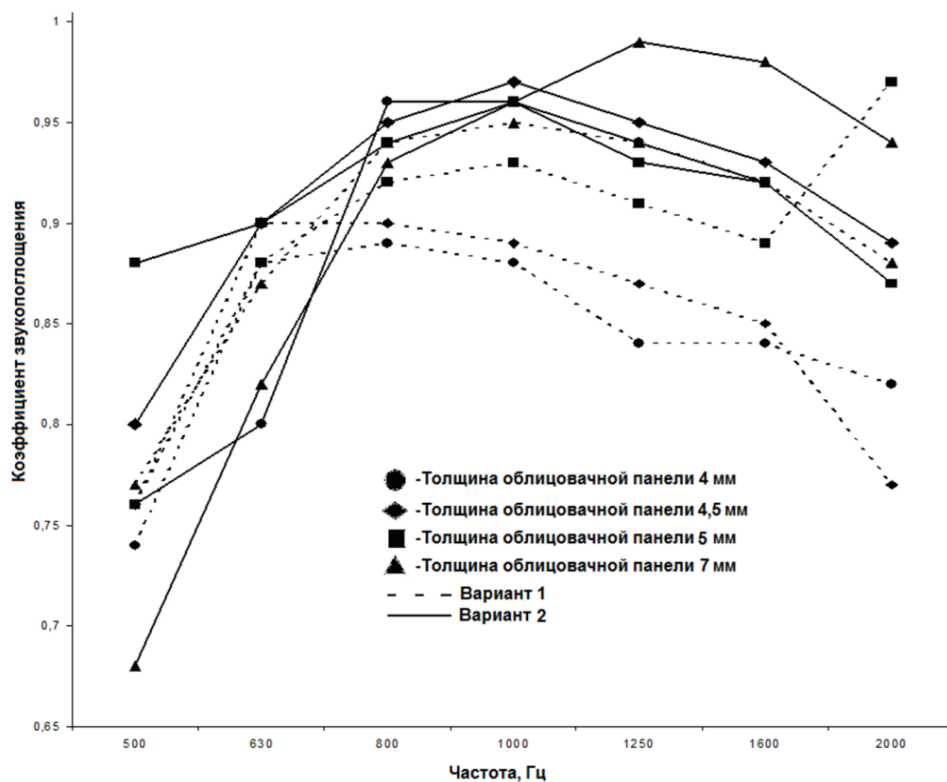


Рис. 2. Влияние толщины прессованного нетканого материала (лицевого слоя) на коэффициент звукопоглощения шумопоглощающей конструкции потолочного элемента интерьера кабины

Выводы. Полученные результаты исследования позволяют утверждать, что для повышения акустической эффективности исследованных материалов следует увеличивать содержание льноволокна в

композите и использовать котонизированное льноволокно наименьшей длины, а для изготовления из этих материалов звукопоглощающих конструкций достаточной конструкционной жесткости, обеспечить прессование холстов до толщины не более 4,5...5,0 мм.

Литература:

1. Müssig, J. Industrial applications of natural fibres: structure, properties and technical applications / edited by Jörg Müssig // John Wiley & Sons, Ltd. 2010/ – 538 с.
2. СТБ-1438-2004. Материалы звукоизоляционные и звукопоглощающие. – Взамен ГОСТ 16297-80; Введ. 26.01.2004. – Минск: Минстройархитектуры, 2004. – 9 с.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ, СОСТОЯЩИХ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, С УЧЕТОМ ЯВЛЕНИЙ ВЯЗКОУПРУГОСТИ

Е.А. Голубева, Р.А. Аль-Абси

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

Цель исследований. Построение теоретических зависимостей для определения напряженного состояния конструкций, состоящих из композиционных материалов, обладающих реологическими свойствами, изменяющимися во времени, а также создание компьютерных программ для реализации расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) труб из композитов с учетом явлений вязкоупругости.

Материалы и методы. Современные композиционные материалы обладают рядом механических свойств, кардинально отличающихся от свойств других материалов. Постоянно расширяющееся применение в различных отраслях промышленности и строительства конструкционных элементов, изготовленных из композиционных материалов, требует учета существенной анизотропии свойств этих материалов с целью более адекватного описания процессов деформирования и получения более достоверных количественных оценок. Для исследования напряженно-деформированного состояния конструкций, состоящих из композиционных материалов, рассматривали в качестве примера решение упругой задачи по методике [1], далее описывали решение вязкоупругой задачи с использованием численных методов из источника [2]. При рассмотрении вязкоупругой задачи использовали сингулярные ядра типа Колтунова, Ржаницына, Работнова и т.д. [2]. При расчете динамических задач воспользуемся самым простым и в то же время достаточно общим слабосингулярным ядром Ржаницына-Колтунова с тремя реологическими параметрами (A, α, n) вида $R(t) = A e^{-t} t^{\alpha-1}$ и резольventой

$$K(t) = A t^{-1} e^{-t} \left[\sum_{i=1}^{\infty} \frac{(A \Gamma(\alpha) t^{\alpha})^i}{\Gamma(i\alpha)} \right],$$
 где $\Gamma(\alpha)$ – гамма-функция. Значения ядра определяются из эксперимента и задаются таблицей чисел, которые соответствуют фиксированным значениям времени. При проведении эксперимента определяются данные для построения кривых ползучести или релаксации.

Результаты и их обсуждение. Полученные результаты численных расчетов позволяют оценить и сделать анализ НДС композиционных материалов, обладающих реологическими свойствами, изменяющимися во времени. На основе свойств резольventных операторов для ядер интегральных уравнений предложен метод построения решения задач вязкоупругости путем прямого использования экспериментальных данных, заданных таблично [3]. Разработана компьютерная программа в среде Delphi, позволяющая методом минимизации функции без ограничений прямым поиском по

Хуку и Дживсу для экспоненциальной функции рассчитывать НДС композиционных конструкций. Тестирование программы осуществлялось в сравнении с результатами других исследователей.

Литература:

1. Можаровский, В.В. Прикладная механика слоистых тел из композитов / В.В. Можаровский, В.Е. Старжинский – Мн., 1988. – 271 с.
2. Tutuncu, N Exact solutions for stresses in functionally graded pressure vessels / N. Tutuncu, M. Ozturk Composites: Part B 32, 2001. – P. 683-686.
3. Кристенсен, Р. Введение в теорию вязкоупругости / Р. Кристенсен. – М. Мир, 1974. – 338 с.

ПЛАСТИКА КОСТЕЙ СВОДА ЧЕРЕПА КОМПОЗИЦИОННЫМ МАТЕРИАЛОМ «СУПЕРФЛУВИС+»

А.И. Довнар¹, Р.И. Довнар¹, А.Л. Башлакова², В.Ю. Шумская²

¹Гродненский государственный медицинский университет, Гродно, Беларусь;

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

Введение. Тяжелая черепно-мозговая травма продолжает оставаться одной из основных причин инвалидности и смертности при механической травме [1]. В случае наличия внутричерепной гипертензии таким пациентам для предупреждения возникновения ишемии головного мозга выполняется декомпрессионная трепанация черепа [2]. Актуален вопрос о закрытии данного дефекта черепа, который преследует две задачи: создать механическую защиту головного мозга и обеспечить косметический результат. Применяемые в настоящее время материалы для такой пластики имеют ряд недостатков: высокая стоимость, сложность механической обработки, необходимость закупки за границей и ряд других. В связи с этим продолжается поиск возможных альтернатив традиционно применяемым материалам.

Цель работы. Оценить возможность применения композиционного материала «Суперфлувис+» для пластики костей свода черепа.

Материалы и методы. В качестве материала для пластики костей свода черепа был выбран композиционный материал «Суперфлувис+», на основе фторопласта-4 и модифицированных углеродных волокон с нанопокрывом из фторполимера (ТУ ВУ 400084698.280-2016), изготовленный в Государственном научном учреждении «Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого Национальной академии наук Беларуси». Выбор материала обусловлен тем, что он:

- обладает высокой химической стойкостью и бионертностью;
- по прочности и плотности мало отличается от кости;
- обладает низкой теплопроводностью;
- не образует эклектических пар с металлами;
- легко обрабатывается резанием;
- низкая стоимость по сравнению с аналогами.

Эксперименты проводились на кроликах, как наиболее подходящих с точки зрения соотношения площади мозгового отдела черепа и затрат на их содержание. Опытную группу составили 6 кроликов, которым под кетаминным наркозом в правой теменной области создавалось экспериментальное трепанационное отверстие диаметром 10 мм с одномоментной пластикой круглой пластиной из композиционного материала «Суперфлувис+». Пластина крепилась по периметру к кости нерассасывающимся шовным хирургическим материалом через заранее просверленные отверстия и укрывалась сверху послойно мягкими тканями. До и после операции животным проводилась антибиотикопрофилактика гнойно-септических осложнений, а также обезболивающая терапия.

В качестве контрольной группы были взяты 6 экспериментальных кроликов, которым не выполнялось какое-либо хирургическое вмешательство.

Животные были синхронизированы по питанию, содержались в условиях естественной смены дня и ночи в стандартных условиях вивария УО «Гродненский государственный медицинский университет».

Оценку качества пластики костей свода черепа производили при неврологическом обследовании животных опытной и контрольных групп на 1, 3, 7, 14, 21, 30 и 60 сутки эксперимента.

Результаты и их обсуждение. Неврологическое обследование осуществляли по международным рекомендациям, детально описанным в приводимой литературе [3]. Результат оценки описывали в баллах (0-5) в зависимости от его выраженности (0 – отсутствие рефлекса, 5 – полностью сохранён). Полученные данные по результатам неврологической оценки опытной оперированной группы, которой была выполнена краниопластика композиционным материалом «Суперфлувис+» и контрольной группой без операции представлена в таблице 1 в виде среднего от всех сроков наблюдения.

Таблица 1. **Результат неврологической оценки кроликов с краниопластикой композиционным материалом «Суперфлувис+» и контрольной группы без операции, баллы.**

Показатель	Контрольная группа	Опытная группа
Общий осмотр или психический статус	5,0	5,0
Постуральные рефлексы	5,0	5,0
Сравнение мышечного тонуса с обеих сторон	5,0	5,0
Движения передних конечностей	5,0	5,0
Движение задних конечностей	5,0	5,0
Оценка черепных нервов (I-XII)	5,0	5,0
Спинальные рефлексы	5,0	5,0

Полученные данные по детальному обследованию экспериментальных кроликов показывают, что после проведённой краниопластики композиционным материалом «Суперфлувис+» у животных во все сроки наблюдения (1-60 дней) по сравнению с контрольной группой сохраняются мышечный тонус, движения передних и задних конечностей, постуральные и спинальные рефлексы, а также нормальное функционирование черепных нервов и в целом поведение животного. Это подтверждает отсутствие неврологической патологии у животных после применения пластин из данного материала.

Выводы. У экспериментальных животных отсутствуют неврологические изменения во все сроки наблюдения после пластики свода черепа композиционным материалом «Суперфлувис+».

Учитывая ряд положительных механических и экономических свойств данного материала по сравнению с костью и традиционно применяемыми материалами, «Суперфлувис+» после проведения дополнительных исследований может быть рекомендован в качестве пластического материала для закрытия дефектов костей свода черепа.

Авторы выражают благодарность Н.Н. Иоскевичу, П.Н. Граковичу, Л.Ф. Иванову за помощь в подготовке материала работы.

Литература:

1. Игнатенко, В. В. Структура непосредственных причин смерти при черепно-мозговой травме в различные сроки посттравматического периода / В. В. Игнатенко, М. Т. Чернухин, Л. В. Петров // Вестник Самарской гуманитарной академии. Серия: право. – 2008. – № 1. – С. 87-91.
2. Davanzo, J. R. Management of traumatic brain injury / J. R. Davanzo, E. P. Sieg, S. D. Timmons. // Surgical Clinics of North America. – 2017. – Vol. 97, № 6. – P. 1237-1253.
3. Mancinelli, E. Neurologic examination and diagnostic testing in rabbits, ferrets, and rodents / E. Mancinelli // Journal of Exotic Pet Medicine. – 2015. – Vol. 24, № 1. – P. 52-64.

СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФАРФОРОВОЙ КЕРАМИКИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ОБЖИГА

Н. Кантай¹, Н.К. Касмамытов², Б.К. Рахадиллов¹, А.В.Павлов¹, А. Кеңесбеков¹

¹*Восточно-Казахстанский государственный университет имени С.Аманжолова,
Усть-Каменогорск, Республика Казахстан; nurgan85@mail.ru*

²*Институт физико-технических проблем и материаловедения НАН КР, Бишкек, Кыргызская Республика*

Введение. Электротехнические изделия на основе высоковольтной фарфоровой керамики (ВФК) широко применяются для передачи и безопасной эксплуатации электрической энергии. В связи с этим на электротехнические изделия ВФК вводятся определенные требования на механические и электроизоляционные свойства, которые должны удовлетворять значениям установленными ГОСТами [1-2]. В настоящее время многие марки ВФК не соответствуют этим требованиям, что приводит к нарушению мер безопасности и возникновению пожаров.

Известно, что свойства фарфора зависят от ряда параметров, но одним из определяющих конечные свойства ВФК является формирование в процессе обжига достаточного количества кристаллического муллита, температура обжига фарфора должна быть достаточная для развития процессов образования кристаллов муллита в системе глино-непластиковых флюсов [3-4].

Целью настоящей работы является изучение влияния температуры обжига на формирование структуры и физико-механические свойства высоковольтной фарфоровой керамики на основе минерального сырья месторождений Кыргызской Республики.

Результаты и их обсуждение. Разработан новый долевого состав керамической массы на базе минерального сырья месторождений Кыргызской Республики, позволяющий получить электротехническую фарфоровую керамику. С ростом температуры обжига образцов ВФК при данных температурах спекания водопоглащаемость уменьшается, причём существенно она начинает снижаться при повышении температуры обжига свыше 1000°C. При температурах обжига 1250 – 1280°C практически нивелируется до нулевого значения. Показаны изменения значений плотности опытных образцов при различных температурах обжига 1000°C плотность образцов ВФК монотонно возрастает до температуры обжига 1230°C. В данном интервале температур обжига образцы ВФК подвергаются усадке и соответственно пористость образцов уменьшается, что определенным образом сказывается на значениях водопоглощения. Сравнительный анализ рентгенограмм в зависимости от температуры обжига ВФК показывают, что начиная с температур обжига 1150°C и выше до 1250°C на рентгенограммах ВФК отчетливо просматриваются изменения в интенсивностях некоторых дифракционных максимумов, наряду с этим наблюдаются появление и исчезновения отдельных дифракционных максимумов. Исследования эволюции формирования микроструктуры и свойств ВФК позволило выявить оптимальную температуру её обжига 1150-1200°C для данного разработанного состава керамической массы, которая на 150-200°C ниже температур обжига традиционных классических фарфоровых аналогов, что позволяет сэкономить энергетические затраты при их получении.

Литература:

1. Chen Li, Wang Jia-Qing. Related problems in ultrasonic detection of porcelain insulator. In: Proceedings of 17th world conference on nonconductive testing, Shanghai, China; 25–28 October 2008.
2. Medvedovski E. Low-temperature sintering of ceramics for the production of low voltage insulators. Intereram 1996;45(2):82–6.
3. Al-Hilli Muthafar F., Al-Rasoul Kalid T. Influence of glass addition and sintering temperature on the structure, mechanical properties and dielectric strength of high-voltage insulators. Materials and Design 31 (2010) 3885–3890
4. Martín-Morales J., Rincón JM, Romero M. Effect of firing temperature on sintering of porcelain, stoneware tiles. CeramInt 2008;34:1867–73.

СИНТЕЗ И КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА $Mn_{1-x}Fe_xNiGe$ ($0,05 \leq x \leq 0,3$)

Г.С. Римский, С.Н. Магонов

Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению, Минск, Беларусь; rimskiy@physics.by

Введение. Интерметаллические сплавы и твердые растворы, которые подвергаются магнито-структурнофазовому переходу, всегда находятся на переднем крае исследований благодаря своим свойствам, таким как большемагнитосопротивление, большой магнитокалорический эффект, колоссальная магнитострикция и т. д. Фазовые превращения, в первую очередь, связаны с изменением плотности электронных состояний вблизи поверхности Ферми. Изменение плотности электронных состояний определяет анизотропную деформацию кристаллической решетки. В связи с этим исследование характера искажений кристаллической решетки, их изменение с температурой, давлением, легированием и другими воздействиями являются важным для понимания механизма фазовых переходов. Одним из интересных, своего рода модельным объектом исследования статических и динамических искажений кристаллической решетки, является $MnNiGe$, сплавы и твердые растворы на его основе, в которых реализуется магнитоструктурные превращения, как первого, так и второго рода.

Цель работы — синтез порошков твердых растворов $Mn_{1-x}Fe_xNiGe$ и изучение особенностей их кристаллической структуры.

Материалы и методы. Образцы поликристаллических порошков получены методом прямого сплавления исходных компонентов в вакуумированных кварцевых ампулах в однозонной печи сопротивления с последующей закалкой в воде для сохранения кристаллической структуры, образованную при высокой температуре. Для определения фазового состава и параметров кристаллической ячейки синтезированных составов использованы рентгенограммы в $Cu\ K\alpha$ -излучении при комнатной температуре.

Результаты и их обсуждение. На рис. 1 и 2 представлены рентгенограммы образцов порошков твердых растворов $Mn_{1-x}Fe_xNiGe$ составов $x = 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25, 0,3$ в диапазоне углов $20^\circ \leq 2\Theta \leq 90^\circ$.

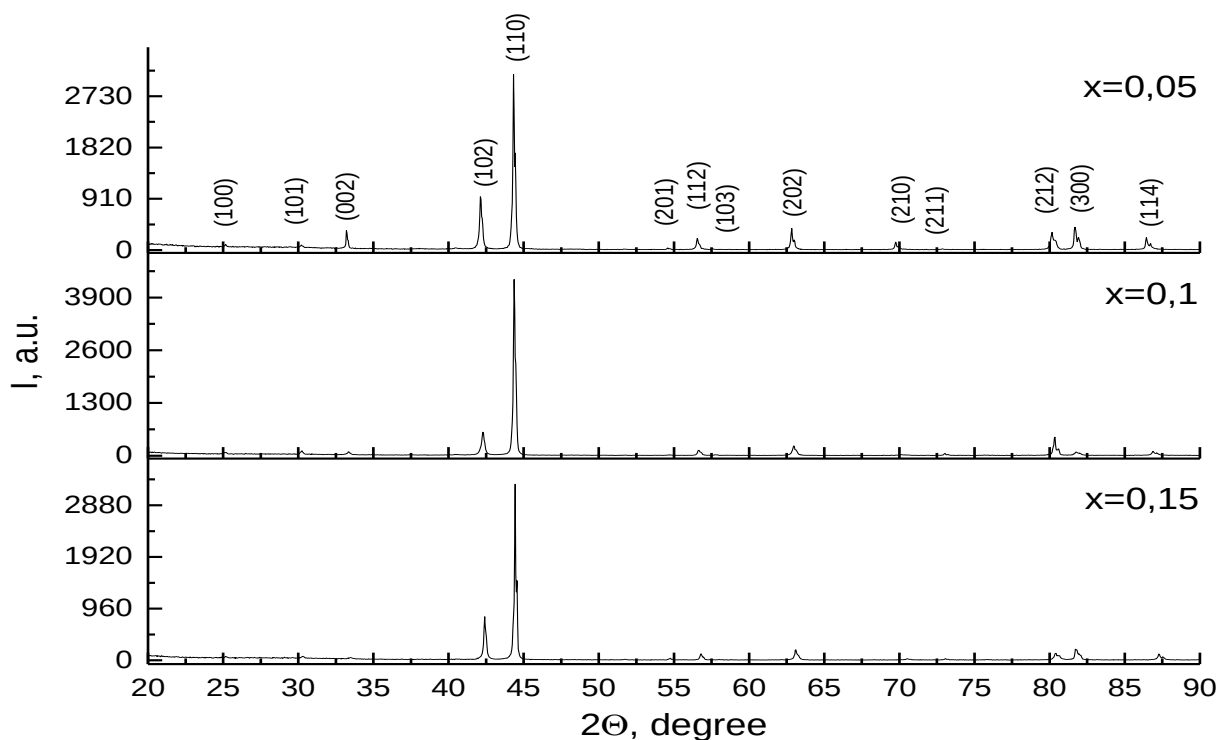


Рис. 1. Рентгенограммы порошковых образцов $Mn_{1-x}Fe_xNiGe$ составов $x = 0,05; 0,1; 0,15$

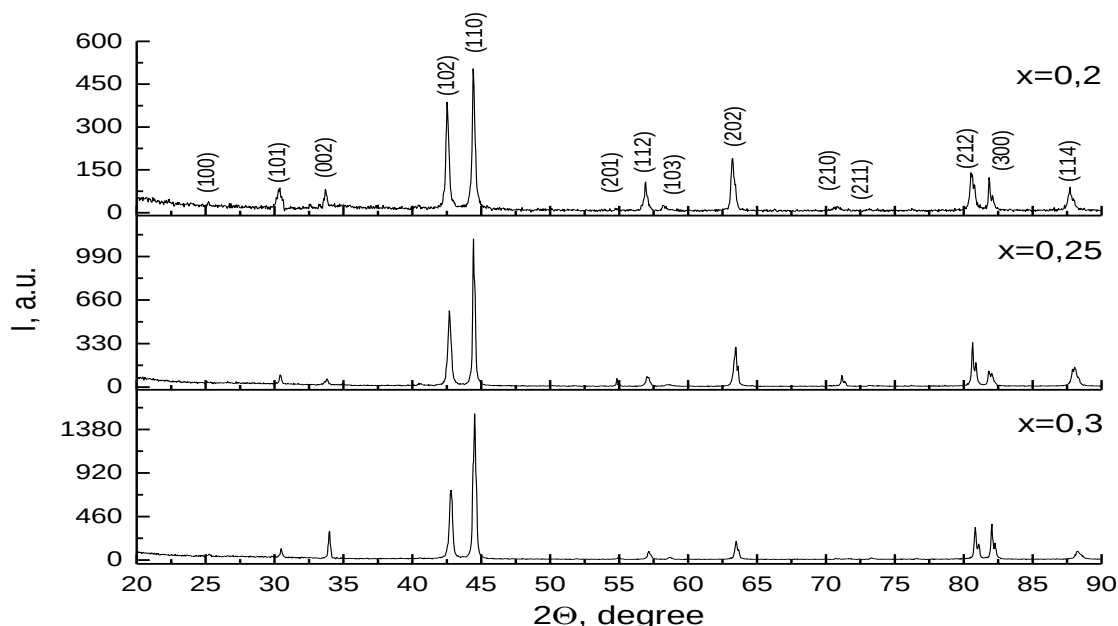


Рис. 2. Рентгенограммы порошковых образцов $\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{NiGe}$ составов $x = 0,2; 0,25, 0,3$

Рентгенографическая аттестация исследуемых составов показала их кристаллическую однофазность. Установлено, что составы $\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{NiGe}$ обладают гексагональной кристаллографической структурой типа Ni_2In пространственной группы $P6_3/mmc$ (D_{6h}^{4+}). Дифракционные рефлексы рентгенограмм проиндексированы как (100), (101), (002), (102), (110), (201), (112), (103), (202), (210), (211), (212), (300), (114) в указанной структуре. С изменением концентрации x имеет место плавное изменение угловых положений дифракционных рефлексов и перераспределение их интенсивностей.

Для определения величин размеров элементарных ячеек использованы дифракционные рефлексы (201), (112), (103), (202), (210), (211), (212), (300), (114). Параметры элементарных ячеек порошков приведены в таблице 1.

Таблица 1. Численные значения параметров a и c , соотношения осей c/a , величины объемов элементарных ячеек V и рентгеновская плотность $\rho_{\text{рен}}$ порошков $\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{NiGe}$

x	$a, \text{нм}$	$c, \text{нм}$	c/a	$V, 10^{-2} \text{нм}^3$	$\rho_{\text{рен}} (\text{г/см}^3)$
0,05	0,407	0,547	1,34	7,849	7,881
0,1	0,407	0,541	1,33	7,762	7,972
0,15	0,407	0,538	1,32	7,722	8,015
0,2	0,407	0,535	1,31	7,673	8,068
0,25	0,407	0,532	1,31	7,640	8,105
0,3	0,407	0,528	1,30	7,575	8,176

Выводы. Установлено, что с увеличением концентрации x параметр a не проявляет каких-либо тенденций. Изменения, приводящие к уменьшению объема элементарных кристаллических ячеек, претерпевает параметр c . Его уменьшение обуславливает и уменьшение осевого соотношения c/a . Данные изменения могут быть продиктованы тем, что атомный радиус железа меньше атомного радиуса марганца.

На основе результатов проведенных экспериментов определены: сингония и пространственная группа, параметры и объём элементарной ячейки, рентгеновская плотность исследуемых составов в порошковом состоянии. Выявлено, что с изменением концентрации, изменения претерпевает параметр c , что приводит к уменьшению объема элементарной кристаллической ячейки и осевого соотношения.

Работа выполнена в рамках гранта на выполнение научно-исследовательских работ докторантами, аспирантами и соискателями Национальной академии наук Беларуси.

АНАЛИЗ ГЕНЕРАЦИИ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ–СУММАРНОЙ ЧАСТОТЫ ОТ ТОНКОГО СФЕРИЧЕСКОГО СЛОЯ ДЛЯ СОНАПРАВЛЕННЫХ ВОЛН

А.И. Толкачёв, В.Н. Капшай, А.А. Шамына

Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,

Гомель, Беларусь; anton.talkachov@gmail.com

Введение. В последние десятилетия для изучения поверхностей малых частиц используются нелинейные оптические явления второго порядка, такие, как генерация второй гармоники [1] и генерация суммарной частоты [2–3]. Мы предлагаем рассмотреть нелинейную генерацию от двух когерентных источников, это явление будем называть генерацией второй гармоники–суммарной частоты.

Решение. Нахождение генерируемых полей будем производить в рамках нелинейной модели Рэлея–Ганса–Дебая, при этом генерация обусловлена нелинейной частью вектора поляризации среды.

Электрические составляющие полей источников задаются следующим образом:

$$\mathbf{E}^{(\alpha)}(\mathbf{x}, t) = E_{\alpha} \mathbf{e}^{(\alpha)} \exp(i\mathbf{k}^{(\alpha)} \mathbf{x} - i\omega t), \quad (1)$$

где E_{α} — комплексная амплитуда волны, $\mathbf{e}^{(\alpha)}$ — единичный комплексный вектор поляризации, $\mathbf{k}^{(\alpha)}$ — волновой вектор, ω — циклическая частота, индекс α показывает принадлежность величины к соответствующему источнику и принимает значения 1 или 2.

Тензор нелинейной диэлектрической восприимчивости второго порядка для данной задачи имеет четыре независимые компоненты $\chi_{1-4}^{(2)}$, входящие в него в следующем виде

$$\chi_{ijk}^{(2)} = \chi_1^{(2)} n_i n_j n_k + \chi_2^{(2)} n_i \delta_{jk} + \chi_3^{(2)} (n_j \delta_{ki} + n_k \delta_{ij}) + \chi_4^{(2)} n_m (n_k \varepsilon_{ijm} - n_j \varepsilon_{imk}). \quad (2)$$

Рассматривая случай сонаправленных волн и малой толщины нелинейного слоя d_0 (по сравнению с его радиусом a), решение задачи можно упростить. При данных условиях выражение для генерируемого поля второй гармоники–суммарной частоты в дальней зоне имеет вид (частный случай [4])

$$\begin{aligned} \mathbf{E}^{(2\omega)} = 4\pi\mu_{2\omega} \frac{(2\omega)^2}{c^2} \frac{\exp(ik_{2\omega}r)}{r} d_0 a^2 (1 - \mathbf{e}_r \otimes \mathbf{e}_r) \left(E_1 |\mathbf{e}^{(1)} + \eta \mathbf{e}^{(2)}|^2 \times \right. \\ \times \left[i\chi_1^{(2)} \left(-j_3(qa) \mathbf{v}(\mathbf{v}\mathbf{e}')^2 + \frac{1}{5} (j_1(qa) + j_3(qa)) (\mathbf{v}(\mathbf{e}'\mathbf{e}') + 2\mathbf{e}'(\mathbf{v}\mathbf{e}')) \right) + \right. \\ \left. + ij_1(qa) (\chi_2^{(2)} \mathbf{v}(\mathbf{e}'\mathbf{e}') + 2\chi_3^{(2)} \mathbf{e}'(\mathbf{v}\mathbf{e}')) - 2\chi_4^{(2)} j_2(qa) [\mathbf{e}' \times \mathbf{v}](\mathbf{v}\mathbf{e}') \right], \end{aligned} \quad (3)$$

где $k_{2\omega} = \sqrt{\varepsilon_{2\omega} \mu_{2\omega}} 2\omega / c$ — модуль волнового вектора генерируемых полей, $\eta = E_2/E_1$, $j_m(qa)$ — сферическая функция Бесселя порядка m , $q = |\mathbf{q}| = |2\mathbf{k}^{(\alpha)} - \mathbf{k}^{(2\omega)}|$ — модуль вектора рассеяния, $\mathbf{v}$ — единичный вектор вдоль $\mathbf{q}$, $\mathbf{e}' = (\mathbf{e}^{(1)} + \eta \mathbf{e}^{(2)}) / |\mathbf{e}^{(1)} + \eta \mathbf{e}^{(2)}|$ — эквивалентный вектор поляризации. В работе [1] была найдена вторая гармоника от одного источника в рамках модели Рэлея–Ганса–Дебая и результат [1] совпадает с **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, в случае если вектор поляризации $\mathbf{e}^{(\omega)} = \mathbf{e}'$ и комплексная амплитуда волны $E_0 = E_1 |\mathbf{e}^{(1)} + \eta \mathbf{e}^{(2)}|$.

Анализ. Проведем анализ влияния параметра η на максимальную по направлению плотность мощности $S_{r, \max}^{(2\omega)}$ и полную мощность $W_{2\omega} = \int_{4\pi} S_r^{(2\omega)} r^2 d\Omega$ генерируемого излучения отдельно для различных типов анизотропии $\chi_{1-4}^{(2)}$. Характеристики частицы и параметры падающих волн зададим в виде

$$k_{\omega} a = 0.1, \sigma_1 = \sigma_2 = 0, \varphi_{in}^{(1)} = \varphi_{in}^{(2)}, \quad (4)$$

т.е. исходные волны линейно поляризованы в одном и том же направлении.

Так как отношение комплексных величин E_2/E_1 в общем случае также комплексная величина, то параметр η представим в виде $\eta = |\eta| \exp(i \arg(\eta))$, где $\arg(\eta) \in (0; \pi]$ является аналогом разности фаз

падающих волн. Для анализа эффективности генерации второй гармоники—суммарной частоты зафиксируем суммарную мощность исходных волн, для этого выражение **Ошибка! Источник ссылки не найден.** необходимо разделить на «нормирующий» множитель $(1+|\eta|^2)$.

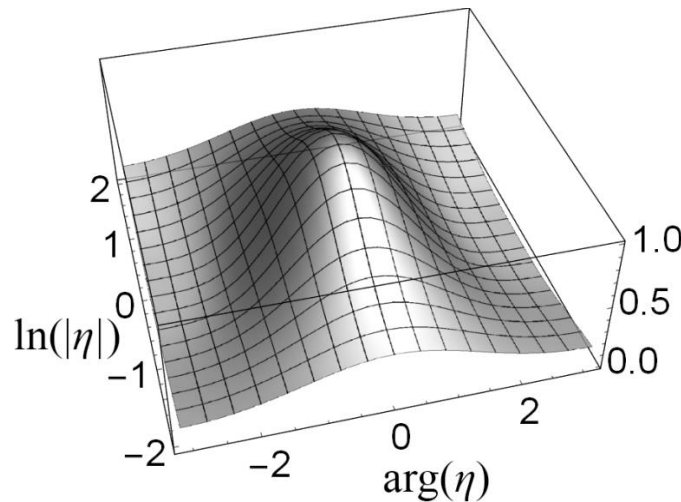


Рис. 1. Зависимость максимальной плотности мощности и полной мощности генерации второй гармоники—суммарной частоты от модуля отношения комплексных амплитуд и разности фаз

Для всех типов анизотропии нормированные зависимости $S_{r, \max}^{(2\omega)}$ и $W_{2\omega}$ от параметров $|\eta|$ и $\arg(\eta)$ имеют подобный (похожий) вид, представленный на рис. 1. Но для каждого типа анизотропии нормировка произведена на различные значения: $\chi_1^{(2)}$ ($S_{\text{norm}} = 0,0022S_0$, $W_{\text{norm}} = 0,0107W_0$), $\chi_2^{(2)}$ ($S_{\text{norm}} = 0,0175S_0$, $W_{\text{norm}} = 0,1466W_0$), $\chi_3^{(2)}$ ($S_{\text{norm}} = 0,0180S_0$, $W_{\text{norm}} = 0,1190W_0$), $\chi_4^{(2)}$ ($S_{\text{norm}} = 0,0002S_0$, $W_{\text{norm}} = 0,0006W_0$), где $S_0 = 2\pi c \frac{\mu_{2\omega}}{n_{2\omega}^3} \frac{d_0^2}{r^2} (k_{2\omega} a)^4 E_1^4$, $W_0 = r^2 S_0$. Отношения нормировочных значений $W_{\text{norm}}/S_{\text{norm}}$ принимают различные значения, это показывает, что для каждого типа анизотропии диаграммы распределения излучения в пространстве различны, что подтверждается моделированием. Максимум достигается при $|\eta| = 1$, $\arg(\eta) = 0$, минимум — при $|\eta| = 1$, $\arg(\eta) = \pm \pi$, причем это тождественный нуль. Данные графики (и следовательно выражение (3)) симметричны относительно перестановок $\arg(\eta) \rightarrow -\arg(\eta)$, $|\eta| \rightarrow 1/|\eta|$.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта БРФФИ (проект Ф18М–026).

Литература:

1. Капшай, В.Н. Генерация второй гармоники от тонкого сферического слоя и условия отсутствия генерации / В.Н. Капшай, А.А. Шамина // Оптика и спектроскопия. — 2017. — Т. 123, № 3. — С. 416–429.
2. Шамина, А.А. Генерация суммарной частоты от тонкого цилиндрического слоя / А.А. Шамина, В.Н. Капшай // Оптика и спектроскопия. — 2018. — Т. 124, № 1. — С. 105–121.
3. de Beer, A.G.F. Sum frequency generation scattering from the interface of an isotropic particle: Geometrical and chiral effects / A.G.F. de Beer, S. Roke // Physical Review B. — 2007. — V. 75, № 24.
4. Толкачёв, А.И. Генерация второй гармоники от тонкого сферического слоя при наличии двух источников / А.И. Толкачёв, В.Н. Капшай // Актуальные вопросы физики и техники: Материалы VII Респ. научной конф. студентов, магистрантов и аспирантов. — 2018. — Ч. 1. — С. 287–290.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ, ТОЛЩИНЫ И ПЛОТНОСТИ ОБРАЗЦОВ ИЗ ХЛОРБУТИЛКАУЧУКА НА ИХ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТЬ

В.Н. Усова

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

Введение. По мере развития научно - технического прогресса все более ужесточаются требования к газопроницаемости полимерных композиционных материалов (ПКМ). Несмотря на многочисленные фундаментальные исследования механизмов распространения газов в полимерах, разработка полимерных композиционных материалов для конкретных практических целей проводится в основном эмпирически. Основная причина этого заключается в сложности взаимодействия между молекулярными структурами полимера и проникающего вещества. На процесс проникновения молекул газа влияет температура, растворимость, давление, реакционная способность, количество и качество содержащегося в полимере наполнителя, а также степень его дисперсии в полимерной матрице и др. [1]. Для научно-обоснованных путей управления газопроницаемостью крайне необходимо учитывать все эти показатели. Особенно остро проблема газопроницаемости стоит в шинной промышленности, так как от воздухопроницаемости гермослоев шин в значительной степени зависит их эксплуатационная надежность. Основным компонентом резиновой смеси, предназначенной для изготовления гермослоя, является хлорбутилкаучук (ХБК).

Цель - Анализ влияния температуры, толщины и плотности образцов, изготовленных из хлорбутилкаучука, на воздухопроницаемость.

Материалы и методы. Для анализа воздухопроницаемости использовали вулканизированные пластины различной толщины из резин на базе ХБК. Исследования воздухопроницаемости проводили с помощью установки GDP-C ф. Brugger (ФРГ), которая предназначена для тестирования проницаемости газов через полимерные материалы в соответствии с ИСО 15105-1:2007[2].

Результаты и их обсуждение. Для оценки температурных зависимостей воздухопроницаемости от толщины использовали образцы в виде пластин толщиной 0,6 мм, 1 мм и 2 мм. Образцы изготавливали из резиновой смеси на 100%-ном ХБК без дополнительного модифицирования, режимы прессования всех пластин были идентичными: температура 153°C, длительность 35 мин. Для испытываемых образцов более корректно оценивать не только скорость проникновения воздуха (GTR), но и коэффициент газопроницаемости (P), который зависит от толщины образца. Результаты экспериментов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Зависимость воздухопроницаемости образцов из ХБК от толщины

Наименование образца, толщина образца (мм)	GTR, см ³ /м ² ·24 ч·атм		P, см ³ ·мм/м ² ·24 ч·атм	
	T=20,0°C	T=70,0°C	T=20,0°C	T=70,0°C
№ 1 – 0,6 мм	26,6	449,0	15,96	269,4
№ 2 – 1,0 мм	19,5	323,0	19,5	323,0
№ 3 – 2,0 мм	18,0	212,0	36,0	424,0

Согласно [3], в пределах одного типа резины значительное влияние на GTR оказывает плотность упаковки макромолекул (структура сетки). В связи с этим были проведены испытания по определению плотности анализируемых образцов методом гидростатического взвешивания по ГОСТ 15139-69 п.3 (таблица 2).

Таблица 2. Зависимость плотности образца от его толщины

Наименование образца, толщина образца (мм)	Плотность, г/см ³			Среднее значение плотности, г/см ³
№ 1 – 0,6 мм	1,1377	1,1183	1,1117	1,1226
№ 2 – 1,0 мм	1,1040	1,1064	1,1228	1,1111
№ 3 – 2,0 мм	1,1051	1,1042	1,1028	1,1040

Из таблиц 1 и 2 видно, что наименьшим коэффициентом газопроницаемости обладает образец № 1, который имеет более высокую плотность.

Для эксплуатационной надежности шин представлялось важным оценить зависимость скорости проникновения воздуха при изменении температуры испытаний от 20°C (стандартная температура) до 80°C (максимальная рабочая температура). Для этого использовали образцы в виде пластин толщиной 1 мм, которые изготавливали из резиновой смеси на 100%-ном ХБК без дополнительного модифицирования, предоставленной ЦЗЛ ОАО «Белшина» (таблица 3).

Таблица 3. Зависимость воздухопроницаемости образцов из ХБК от температуры

Наименование образца, толщина образца (мм)	GTR, $\text{см}^3/\text{м}^2 \cdot 24 \text{ ч} \cdot \text{атм}$			
	T=20,0°C	T=30,0°C	T=50,0°C	T=80,0°C
резина на 100 ХБК — 1,0 мм	9,4	19,7	69,8	276,0

Выводы. Установлено, что GTR с ростом температуры от 20 до 80°C возрастает приблизительно до 30 раз (GTR_{80}/GTR_{20}). Такой эффект может быть обусловлен флуктуациями плотности при тепловом движении отрезков цепей макромолекул и за счет этого увеличением вероятности обмена местами между молекулами газа и звеньями полимера.

Полученные данные свидетельствуют о том, что температура, плотность упаковки макромолекул и толщина образца оказывают неоднозначное и очень сильное влияние на воздухопроницаемость хлорбутилкаучука, используемого для гермослоя шин. Например, рост температуры всего на 60 °C приводит к нелинейному повышению GTR до 30 раз, увеличение толщины в два раза — к линейному снижению GTR до 2 раз. Все это критически важно для создания надежных и долговечных шин и требует детального изучения и учета при проектировании.

Литература:

1. Ю-Винг Май, Жонг-Жен Ю. Полимерные нанокompозиты // Москва: Техносфера, 2011. — 688 с.
2. В.Н. Усова, П.В. Васильев, Г.П. Валенчик, Г.Н. Лейзерон, С.П. Богданович, С.Н. Каюшников, С.С. Песецкий Воздухопроницаемость гермослоев шинных резин, модифицированных слоистыми глинистыми силикатами / Полимерные композиты и трибология (Поликомтриб-2017): международная научно-техническая конференция, Гомель, 27-30 июня 2017.
3. Рейтлингер С.А. Проницаемость полимерных материалов. // М., 1974. - 271 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОПОГРАФИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ

Т. Г. Федорова

*Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси,
Гомель, Беларусь; Fiodorova.tatyana2011@gmail.com*

Введение. Морфологию поверхностей трения определяют многими методами, один из которых конфокальная лазерная микроскопия. Конфокальная микроскопия (CLSM) является техникой оптического неразрушающего профилирования высокого разрешения 3D поверхностей микроструктур. Он обладает существенным контрастом по сравнению с обычными классическими микроскопами.

Цель работы — с помощью лазерной сканирующей микроскопии провести оценку топографии поверхностей трения.

Материалы и методы. Для исследования морфологии поверхностей трения использовали метод лазерной сканирующей микроскопии, реализованный в приборе МАН-ИНВЕСТ-ЛСДФМ-05.

Методом лазерной сканирующей микроскопии, с использованием объектива $F = 16$, получены изображения топологии поверхностей после трения и некоторые параметры шероховатости исследованных образцов. В следствии чего можно сделать выводы о присадках.

На рис. 1 представлены изображения топологии поверхностей исследуемого образца после трения со смазочным материалом модифицированным присадкой 1, что позволило оценить степень разрушения образца и выявить присутствие усталостного износа.

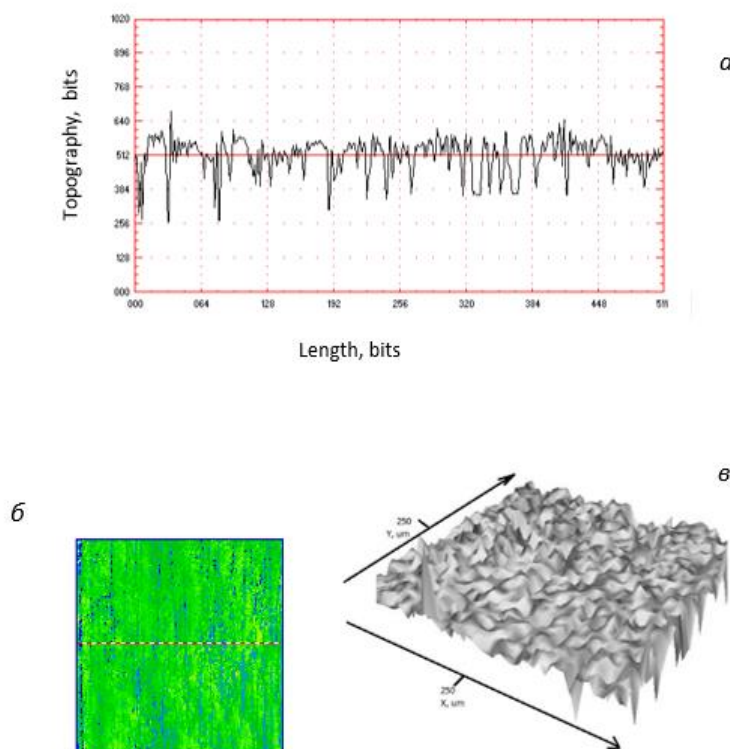


Рис. 1. Изображения поверхности после трения со смазочным материалом И-20, модифицированным присадкой 1: а – профиль поверхности со значением $Ra = 0,286$ мкм, б – 2D-изображение поверхности, в – 3D-изображение.

Выводы. Результаты испытаний представляют ценную информацию об эффективности исследуемых присадок. Оценивая изображения контактирующих поверхностей установлено, что смазочный материал, модифицированный присадкой 3 позволяет увеличить износостойкость.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАМЕЩЕННЫХ РЕШЕТОК ГРАНАТОВ

Л.С. Хорошко, А.В. Баглов, А.А. Гнитько

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

Введение. Иттрий-алюминиевый гранат (ИАГ) – синтетический материал из группы гранатов с формулой $Y_3Al_5O_{12}$ находящий широкое применение в технике: ИАГ, легированные лантаноидами, широко используются в качестве люминесцентных материалов, а также активной среды для лазера. Наиболее изученный и распространенный на данный момент метод получения легированного лантаноидами ИАГ – твердофазный синтез, однако сложность этого высокотемпературного метода вынуждает обращать внимание на альтернативные способы синтеза, например, золь-гель метод. Как было

показанов [1], формирование ИАГ золь-гель методом в матрице пористого анодного оксида алюминия приводит к образованию граната с частичным замещением алюминия иттрием (химическая формула $Y_4Al_4O_{12}$) с сохранением кубической сингонии, что подтверждается результатами рентгеновского дифракционного анализа.

Целью работы является исследование изменения геометрии ячейки обогащенного иттрием граната полуэмпирическими методами квантовой химии.

Материалы и методы. Полуэмпирические методы квантовой химии занимают промежуточное положение между *abinitio* методами и методами молекулярной механики. Достоинством полуэмпирических методов является большая универсальность, чем у методов молекулярной механики, а также повышение скорости расчетов в сравнении с неэмпирическими методами. К недостаткам можно отнести меньшую точность в сравнении с результатами *abinitio* моделирования.

Результаты и их обсуждение. На первом этапе исследования провели релаксацию решетки стандартного ИАГ и сравнение параметров исходной и полученной решетки для адекватной оценки результатов моделирования. Взаиморасположение атомов сохраняется (рис. 1), исходные параметры кубической решетки составляли $a=b=c=12,128 \text{ \AA}$, после релаксации $a=12,175 \text{ \AA}$, $b=12,170 \text{ \AA}$, $c=12,166 \text{ \AA}$, что является хорошим результатом. Неравенство параметров релаксированной решетки связано с идеализацией исходной ячейки, а также с особенностями проведения расчетов.

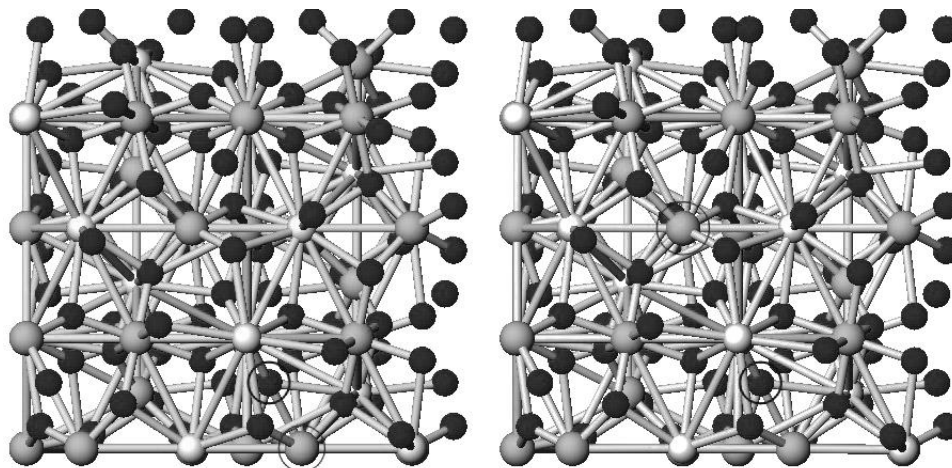
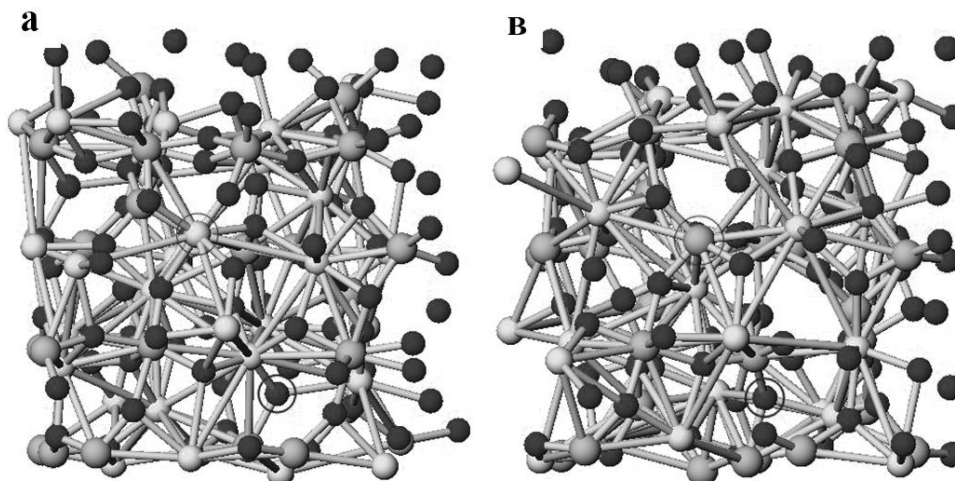


Рис. 1. Примитивная ячейка ИАГ: слева – исходная; справа – после релаксации (направление (100))

Для получения замещенной решетки ИАГ $Y_3Al_5O_{12} \rightarrow Y_4Al_4O_{12}$ необходимо заменить один из 5 атомов алюминия иттрием. На рис. 2 приведены изображения ячеек после моделирования для 4 вариантов замещения атомов алюминия иттрием – для каждого 1-го, 2-го, 4-го и 5-го атома алюминия.



Продолжение на следующей странице

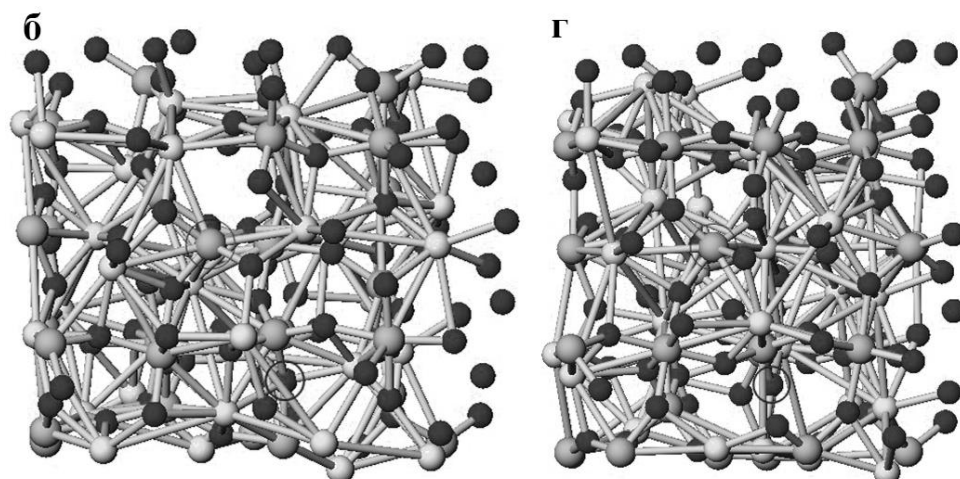


Рис. 2. Результаты моделирования замещенной решетки $Y_4Al_4O_{12}$ замещением каждого 1-го (а), 2-го (б), 4-го (в), 5-го (г) атомов алюминия (направление (100))

Очевидно, что замещение атомов алюминия атомами иттрия, имеющими больший радиус, приводит к заметной деформации решетки, параметры решеток представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты компьютерного моделирования исходной и замещенной решетки ИАГ

Образец	a , Å	b , Å	c , Å
Исходный (эксперимент)	12,128	12,128	12,128
Исходный (после релаксации)	12,175	12,170	12,166
Замещение каждого 1-го атома Al	12,507	12,583	12,589
Замещение каждого 2-го атома Al	13,469	11,990	12,327
Замещение каждого 4-го атома Al	12,330	12,376	13,204
Замещение каждого 5-го атома Al	12,172	12,879	12,482

Выводы. Компьютерное моделирование показало, что замещение атомов алюминия атомами иттрия в кристаллической решетке ИАГ приводит к ее заметному деформированию с образованием гранатоподобного композита с ячейками, увеличенными в объеме на 10 – 13%, без перехода в перовскитоподобный $YAlO_3$. Исследование и синтез гранатоподобных композитов с замещением в кристаллической решетке может представлять интерес, в частности ввиду изменения в них параметров кристаллического поля, влияющих на люминесцентные свойства внедряемых ионов лантаноидов.

Литература:

1. Podhorodecki A. [et al.] // J. Phys. D: Appl. Phys. – 2013 (46), 355302-1–12

МОДЕЛЬ ГВГ ОТ ПОВЕРХНОСТИ ЧАСТИЦЫ В ФОРМЕ ВЫТЯНУТОГО ЭЛЛИПСОИДА ВРАЩЕНИЯ В ПРИБЛИЖЕНИИ GNLRGD В СЛУЧАЕ НОРМАЛЬНОГО ПАДЕНИЯ ПЛОСКОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ

А.А. Шамына

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

Введение. Нелинейные оптические эффекты второго порядка от поверхности частицы простой формы (сф. рической [0–0] и цилиндрической [0]) неоднократно были описаны в работах по нелинейной генерации. Ввиду сложности математического аппарата, описывающего это явление, явный вид функций, описывающих пространственное распределение поля второй гармоники, удаётся получить

не всегда. Для упрощения модели в задаче о ГВГ часто используется обобщённое приближение Рэлея–Ганса–Дебая (gNLRGD), учитывающее дисперсию и применимое для малых размеров частиц и близких показателей преломления самой частицы и окружающей среды. В этом случае рассеяние волн практически не влияет на картину распределения плотности мощности генерируемого излучения.

В работе [0] предложено решение для нелинейной генерации от поверхности частицы в форме вытянутого эллипсоида вращения. Однако, в ней допущены многочисленные опечатки и неточности, что сильно усложняет нахождение явного вида функций, описывающих нелинейную генерацию от поверхности такой частицы.

Цель работы – представить упрощённую математическую модель для направления волнового вектора падающей волны перпендикулярно оси частицы с исправлением неточностей, допущенных авторами статьи [0].

Математическая модель. Введём сферическую (r, θ, φ) и декартову (x, y, z) системы координат с базисными векторами $(\mathbf{e}_r, \mathbf{e}_\theta, \mathbf{e}_\varphi)$ и $(\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y, \mathbf{e}_z)$ соответственно. Расположим диэлектрическую частицу в форме вытянутого эллипсоида вращения так, чтобы его ось симметрии совпадала с осью Oz, а геометрический центр находился в начале координат. Область пространства, не принадлежащую частице примем заполненной диэлектриком с диэлектрической и магнитной проницаемостями ϵ, μ , близкими по значению к аналогичным показателям среды в частице. Зададим формулу для вектора электрической напряжённости $\mathbf{E}$ падающей плоской волны в точке $\mathbf{x}$ в комплексном виде

$$\mathbf{E}(\mathbf{x}) = E_0 \mathbf{e}^{(\omega)} \exp(i\mathbf{k}^{(\omega)} \mathbf{x} - i\omega t), \quad (1)$$

где E_0 – комплексная амплитуда падающей электромагнитной волны ($|E_0| = \sqrt{E_0 E_0^*}$ характеризует амплитуду, а $\arg(E_0)$ характеризует начальную фазу), $\mathbf{e}^{(\omega)}$ – единичный вектор ($|\mathbf{e}^{(\omega)}| = \sqrt{\mathbf{e}^{(\omega)} (\mathbf{e}^{(\omega)})^*}$), характеризующий степень эллиптической поляризации падающей волны и ориентацию эллипса поляризации относительно оси частицы, $\mathbf{k}^{(\omega)} = k^{(\omega)} \mathbf{e}_x (k^{(\omega)} = |\mathbf{k}^{(\omega)}|)$ и ω – волновой вектор и циклическая частота падающего излучения.

Зададим форму эллипсоидальной частицы следующим параметрическим уравнением для радиус вектора точек его поверхности:

$$\mathbf{x}(\theta, \varphi) = a_x \sin(\theta) \cos(\varphi) \mathbf{e}_x + a_x \sin(\theta) \sin(\varphi) \mathbf{e}_y + a_z \cos(\theta) \mathbf{e}_z, \quad (2)$$

где a_x и a_z – малая и большая полуоси вытянутого эллипсоида вращения соответственно, а θ, φ – углы направления радиус-вектора на элемент поверхности эллипсоидальной частицы в сферической системе координат.

В дипольной модели среды генерация второй гармоники происходит благодаря наличию нелинейной части вектора поляризации $\mathbf{P}^{(2)}$, чьи компоненты можно записать с использованием правила суммирования по повторяющимся индексам:

$$P_i^{(2)} = \chi_{ijk}^{(2)} E_j E_k, \quad (3)$$

где E_j – компоненты вектора напряжённости падающей волны, а $\chi_{ijk}^{(2)}$ – тензор нелинейной диэлектрической восприимчивости второго порядка [0].

Вычислить поле второй гармоники в дальней зоне можно с помощью метода функции Грина [0] по формуле

$$\mathbf{E}^{(2\omega)}(\mathbf{x}) = (1 - \mathbf{e}_r \otimes \mathbf{e}_r) \mu_{2\omega} \frac{(2\omega)^2}{c^2} \frac{\exp(ik_{2\omega} r)}{r} \int_V \exp(-i\mathbf{k}^{(2\omega)} \mathbf{x}') \mathbf{P}^{(2)}(\mathbf{x}') d\mathbf{x}', \quad (4)$$

где интегрирование происходит по объёму оптически нелинейного слоя на поверхности частицы, а $\mathbf{k}^{(2\omega)}$ – волновой вектор генерируемой волны удвоенной частоты в дальней зоне.

После необходимых преобразований и подстановок для получения вектора напряжённости генерируемого поля $\mathbf{E}^{(2\omega)}(\mathbf{x})$ необходимо будет найти значение интеграла

$$\int_0^\pi \exp(iq_z a_z \cos \theta) \sin \theta \sqrt{a_z^2 \sin^2 \theta + a_x^2 \cos^2 \theta} \left[\int_0^{2\pi} \exp(iq_x a_x \sin \theta \cos \varphi) \chi_{ijk}^{(2)}(\theta, \varphi) d\varphi \right] d\theta, \quad (5)$$

где q_x и q_z — компоненты вектора рассеяния, вычисляемого по формуле

$$\mathbf{q} = 2\mathbf{k}^{(\omega)} - \mathbf{k}^{(2\omega)}. \quad (6)$$

Закключение. Предложенная математическая модель на основе дипольной модели среди обобщённого приближения Рэлея—Ганса—Дебая позволяет найти поле второй гармоники при генерации от оптически нелинейного слоя на поверхности частицы в форме вытянутого эллипсоида вращения в случае, когда волновой вектор падающей плоской эллиптически поляризованной волны направлен перпендикулярно оси частицы. Эта модель может быть полезна при расчёте поля второй гармоники и поля второй гармоники—суммарной частоты [0] от деформированных нано- и микрочастиц сферической формы, на основе чего могут быть получены свойства поверхностного слоя таких частиц, а также свойства адсорбированных на их поверхности молекул.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (проект Ф18М–026).

Литература:

1. Kapshai, V.N. Second-Harmonic Generation from a Thin Spherical Layer and No-Generation Conditions / V.N. Kapshai, A.A. Shamyna // Optics and Spectroscopy. — 2017. — V. 123, № 3. — pp. 440–453.
2. Kapshai, V.N. Sum-Frequency Generation from a Thin Spherical Layer: I. Analytical Solution / V.N. Kapshai, A.A. Shamyna // Optics and Spectroscopy. — 2018. — V. 124, № 6. — pp. 795–803.
3. Shamyna, A.A. Sum-Frequency Generation from a Thin Spherical Layer: II. Analysis of Solution / A.A. Shamyna, V.N. Kapshai // Optics and Spectroscopy. — 2018. — V. 125, № 1. — pp. 71–78.
4. Shamyna, A.A. Sum-Frequency Generation from a Thin Cylindrical Layer / A.A. Shamyna, V.N. Kapshai // Optics and Spectroscopy. — 2018. — V. 124, № 1. — pp. 103–120.
5. Beer, A. G. F. Theory of optical second-harmonic and sum-frequency scattering from arbitrarily shaped particles / A. G. F. Beer, S. Roke, J. I. Dadap // J. Opt. Soc. Am. B. — 2011. — V. 28, iss. 6. — P. 1374–1384.
6. Толкачёв, А.И. Генерация второй гармоники от тонкого сферического слоя при наличии двух источников / А.И. Толкачёв, В.Н. Капшай // Актуальные вопросы физики и техники : материалы VII Респ. научной конф. студентов, магистрантов и аспирантов. — 2018. — Ч. 1. — С. 287–290.

ОСОБЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ЗАДАЧЕ О ГЕНЕРАЦИИ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ—СУММАРНОЙ ЧАСТОТЫ ОТ ПОВЕРХНОСТИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ЧАСТИЦЫ

А.А. Шамына, В.Н. Капшай, А.И. Толкачёв

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

Введение. В области нелинейной оптики и электродинамики осталось ещё множество малоизученных явлений. Одним из них можно считать нелинейные эффекты второго порядка от поверхностей диэлектрических частиц. Вследствие наличия анизотропии у поверхностей частиц возникает принципиальная возможность для генерации второй гармоники (ГВГ) и генерации суммарной частоты (ГСЧ).

В случае если на диэлектрическую частицу, находящуюся в диэлектрике, падают две электромагнитных волны одинаковой частоты, то наблюдается интерференция полей второй гармоники и суммарной частоты, генерируемых от поверхности частицы. Это приводит к необходимости рассмотрения ГВГ и ГСЧ в рамках одного явления: генерации второй гармоники—суммарной частоты (ГВГ—ГСЧ).

Поле второй гармоники—суммарной частоты.

На основе решения задач о явлениях ГВГ [0] и ГСЧ [0, 0] от оптически нелинейного слоя на поверхности сферической частицы в работе [0] получена формула для пространственного распределения поля второй гармоники—суммарной частоты (ВГ—СЧ), генерируемого от поверхности сферической частицы двумя плоскими электромагнитными волнами с эллиптическими поляризациями и одинаковыми частотами. В качестве источника генерируемого поля выступает нелинейная часть поляризации второго порядка:

$$P_i^{(2)} = \chi_{ijk}^{(2)} (\mathbf{E}^{(1)} + \mathbf{E}^{(2)})_j (\mathbf{E}^{(1)} + \mathbf{E}^{(2)})_k = \chi_{ijk}^{(2)} \sum_{\alpha=1}^2 \sum_{\beta=1}^2 E_j^{(\alpha)} E_k^{(\beta)}. \quad (1)$$

Тогда пространственное распределение излучения ВГ—СЧ в дальней зоне зависит:

- от значения независимых компонент $\chi_{1-4}^{(2)}$ тензора нелинейной диэлектрической восприимчивости $\chi_{ijk}^{(2)}$;
- от углов γ_1, γ_2 между волновыми векторами падающих волн и их суммой;
- от отношения комплексных амплитуд η падающих волн;
- от степени поляризации σ_α каждой падающей волны, равной по модулю отношению длины малой полуоси эллипса поляризации волны α к длине большой полуоси ($\alpha = 1, 2$);
- от ориентации эллипса поляризации каждой падающей волны, задаваемой углом $\varphi_{in}^{(\alpha)}$ ($\alpha = 1, 2$);

Анализ решения о ГВГ—СЧ показал, что при определённых комбинациях параметров задачи и направлений излучения векторная функция $f(2\omega)(\theta, \varphi)$ и плотность мощности $S_r^{(2\omega)}(\theta, \varphi)$ излучения в дальней зоне, зависящие от углов наблюдения θ и φ , подчиняются некоторым математическим свойствам, а в отдельных случаях обращаются в ноль, в других случаях генерируемое излучение имеет исключительно линейную поляризацию. Подобные комбинации параметров уже рассмотрены для ГВГ и ГСЧ [0—0] от поверхности сферической частицы и ГСЧ от поверхности цилиндрической частицы [0]. Приведём аналогичные комбинации параметров, при которых генерация не наблюдается (табл. 1) и комбинации, при которых генерируемое излучение имеет строго линейную поляризацию (табл. 2). В табл. 1, 2 переменные m, m_1, m_2 являются целыми числами.

Таблица 1. Комбинации параметров задачи о ГВГ—СЧ, при которых плотность мощности генерируемого излучения равна нулю

№	Комбинация параметров задачи
1	$\chi_{1,3,4}^{(2)} = 0, \sigma_1 \sigma_2 = 1, \gamma_1 = 0, \gamma_2 = \pi$
2	$\chi_{1,3,4}^{(2)} = 0, \sigma_1 \sigma_2 = -1, \gamma_1 = 0, \gamma_2 = \pi$
3	$\gamma_1 = 0, \gamma_2 = \pi, \theta = 0, \pi$
4	$\chi_{1,3,4}^{(2)} = 0, \gamma_1 = 0, \gamma_2 = \pi, \eta = \pm 1, \sigma_1 = -\sigma_2, \theta = \pi/2$
5	$\chi_{1,2}^{(2)} = 0, \gamma_1 = 0, \gamma_2 = \pi, \sigma_1 = \sigma_2 = 0, \varphi_{in}^{(1)} + \varphi_{in}^{(2)} = \pi m, \varphi = \pm \pi/2 + \varphi_{in}^{(1)} = \pm \pi/2 - \varphi_{in}^{(2)}$
6	$\chi_{1,2,4}^{(2)} = 0, \gamma_1 = 0, \gamma_2 = \pi, \sigma_1 = \sigma_2 = 0, \varphi_{in}^{(1)} + \varphi_{in}^{(2)} = \pi m, \theta = \pi/2, \varphi = \varphi_{in}^{(1)} + \pi m$
7	$\chi_{1-3}^{(2)} = 0, \gamma_1 = 0, \gamma_2 = \pi, \eta = \pm 1, \sigma_1 = \sigma_2 = 0, \varphi_{in}^{(1)} + \varphi_{in}^{(2)} = \pi m, \theta = \pi/2, \varphi = \varphi_{in}^{(1)} + \pi m$
8	$\gamma_1 = 0, \gamma_2 = \pi, \eta = \pm 1, \sigma_1 = \sigma_2, \varphi_{in}^{(1)} + \varphi_{in}^{(2)} = \pi m, \theta = \pi/2, \varphi = \varphi_{in}^{(1)} + \pi m$

Таблица 2. Комбинации параметров задачи о ГВГ–СЧ, при которых генерируется линейно поляризованное излучение

№	Комбинации параметров задачи
1	$\chi_{1,3,4}^{(2)} = 0, \gamma_1 = 0, \gamma_2 = \pi$
2	$\chi_{1,3,4}^{(2)} = 0, \text{Im}[\eta] = 0, \varphi_{in}^{(1)} = \pi n_1 / 2, \varphi_{in}^{(2)} = \pi n_1 / 2 + \pi n_2$
3	$\chi_{1,3,4}^{(2)} = 0, \sigma_1 = (-1)^m \sigma_2, \text{Im}[\eta] = 0, \varphi_{in}^{(1)} + (-1)^m \varphi_{in}^{(2)} = \pi n_2$
4	$\chi_4^{(2)} = 0, \text{Im}[\eta] = 0, \sigma_1 = \sigma_2 = 0$
5	$\chi_{1-3}^{(2)} = 0, \text{Im}[\eta] = 0, \sigma_1 = \sigma_2 = 0$
6	$\chi_{1,2,4}^{(2)} = 0, \gamma_1 = 0, \gamma_2 = \pi, \theta = \pi / 2$
7	$\chi_{1,2,4}^{(2)} = 0, \gamma_1 = 0, \gamma_2 = \pi, \sigma_1 = \sigma_2 = 0, \varphi_{in}^{(1)} + \varphi_{in}^{(2)} = \pi n$
8	$\chi_{1-3}^{(2)} = 0, \gamma_1 = 0, \gamma_2 = \pi, \sigma_1 = \sigma_2 = 0, \varphi_{in}^{(1)} + \varphi_{in}^{(2)} = \pi n, \varphi = \varphi_{in}^{(1)} + \pi n$
9	$\chi_{1,3}^{(2)} = 0, \gamma_1 = 0, \gamma_2 = \pi, \eta = \pm 1, \sigma_1 = -\sigma_2, \varphi_{in}^{(1)} + \varphi_{in}^{(2)} = \pi n, \theta = \pi / 2$
10	$\chi_{1,2,4}^{(2)} = 0, \gamma_1 = 0, \gamma_2 = \pi, \sigma_1 = -\sigma_2, \theta = \pi / 2$

Заключение. В работе приведены 8 комбинаций параметров задачи о ГСЧ–ВГ, при которых генерация в дальней зоне не наблюдается, и 10 комбинаций параметров, при которых генерируемое излучение линейно поляризовано. Такие комбинации параметров могут быть полезны при экспериментальном определении независимых компонент тензора нелинейной диэлектрической восприимчивости второго порядка по аналогии с работой [0], а также при проверке экспериментально полученных значений этих компонент.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (проект Ф18М–026).

Литература:

1. Kapshai, V.N. Second-Harmonic Generation from a Thin Spherical Layer and No-Generation Conditions / V.N. Kapshai, A.A. Shamyna // Optics and Spectroscopy. – 2017. – V. 123, № 3. – pp. 440–453
2. Kapshai, V.N. Sum-Frequency Generation from a Thin Spherical Layer: I. Analytical Solution / V.N. Kapshai, A.A. Shamyna // Optics and Spectroscopy. – 2018. – V. 124, № 6. – pp. 795–803
3. Shamyna, A.A. Sum-Frequency Generation from a Thin Spherical Layer: II. Analysis of Solution / A.A. Shamyna, V.N. Kapshai // Optics and Spectroscopy. – 2018. – V. 125, № 1. – pp. 71–78
4. Толкачёв, А.И. Генерация второй гармоники от тонкого сферического слоя при наличии двух источников / А.И. Толкачёв, В.Н. Капшай // Актуальные вопросы физики и техники : материалы VII Респ. научной конф. студентов, магистрантов и аспирантов. – 2018. – Ч. 1. – С. 287–290
5. Shamyna, A.A. Sum-Frequency Generation from a Thin Cylindrical Layer / A.A. Shamyna, V.N. Kapshai // Optics and Spectroscopy. – 2018. – V. 124, № 1. – pp. 103–120

ИЗУЧЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРИСТЫХ СЛОЕВ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОРИСТЫХ СИСТЕМ

В.Ю. Шумская

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

Введение. Фильтры для очистки газов от твердых и жидких механических включений являются важной составляющей частью технологического оборудования в химической и нефтегазовой промышленности. Компрессоры, газотурбинные двигатели, сушилки, печи, диспергаторы и многие другие виды оборудования не могут работать без эффективной системы газоочистки.

Конструкция фильтрующих элементов (ФЭ) зависит от условий процесса фильтрации: вид и химический состав фильтруемой среды, температура, интенсивность потока, давление, величина и концентрация частиц, допустимое сопротивление потоку.

Один фильтрующий материал не может удовлетворить данным условиям. Поэтому изготавливают многослойные ФЭ, каждый слой в котором выполняет определённую функцию: предварительная очистка, тонкая фильтрация, коалесцирование, дренаж.

Целью настоящей работы является разработка методик определения характеристик пористых материалов, многослойных пористых систем и фильтров в целом. Для этого необходимо решить следующие задачи:

Разработка оборудования;

Разработка методики изучения фильтрационных характеристик пористых слоев при прохождении через них фильтруемой среды;

Разработка методики определения дренажных свойств пористых слоев;

Разработка методики определения сопротивления потоку натурального ФЭ.

Материалы и методы. В работе использованы различные волокнисто-пористые материалы: фильтропласт из полипропилена, полученный по технологии «metl blown», волокнисто-пористый политетрафторэтилен «Грифтекс», полученный лазерной абляцией, стекlobумага, полипропиленовые волокнистые материалы «Спанбонд» и «Акваспан», иглопробивной термостойкий материал «Филарс» выпускаемые в ИММС НАН Беларуси, СКТБ «Металлополимер» НАН Беларуси, НТЦ «Ларта», ОАО «СветлогорскХимволокно» и другими производителями. Предварительно для каждого материала определяется пористость, поверхностная плотность, смачиваемость водой и маслами. С помощью растровой электронной микроскопии изучалась структура пористого материала

Для определения фильтрационных характеристик пористых слоев, при прохождении через них аэрозоля был изготовлен специальный стенд (рис.1). Компрессор 5 подает воздух в ультразвуковой генератор частиц 2, где образуется дисперсная система, состоящая из жидких частиц, взвешенных в воздушной среде. Поток воздуха измеряется расходомером 7. Аэрозоль поступает в ячейку с образцом пористого материала 1. Размер и количество частиц, которые прошли через фильтрующий элемент, регистрируется датчиком 9, показания которого с помощью специального ПО записываются в файл. Датчик проводит измерения по шести каналам детекции (0.3, 0.5, 1, 2.5, 5, 10 мкм). Частицы, которые отсекаются и улавливаются фильтрующим элементом, коалесцируются и стекают в емкости 3 и 4, установленные до и после ФЭ. Перепад давления на ячейке измеряется дифманометром 6.

Для определения дренажных характеристик использовали стенд, описанный ранее [1].

Используя полученные на нем экспериментальные результаты и специально разработанную теоретическую модель движения жидкости в порах были получены коэффициенты фильтрации и проницаемость для различных пористых материалов. Было установлено, что изменение поровой структуры материала позволяет в широких пределах варьировать проницаемостью слоя.

Результаты и их обсуждение. Изучение аэродинамических характеристик ФЭ проводились на стенде (рис.2). Он представляет собой трубу 2 с заслонкой 3, к которой крепится исследуемый ФЭ 6. Поток воздуха создается вентилятором. Скорость воздуха в трубе измеряется с помощью прибора TESTO 435 4, а перепад давления — водяного манометра 5. Изменяя положение заслонки, изменяли перепад давления, зависящий от расхода воздуха. Далее вычисляли скорость движения воздуха в порах и другие параметры ФЭ.

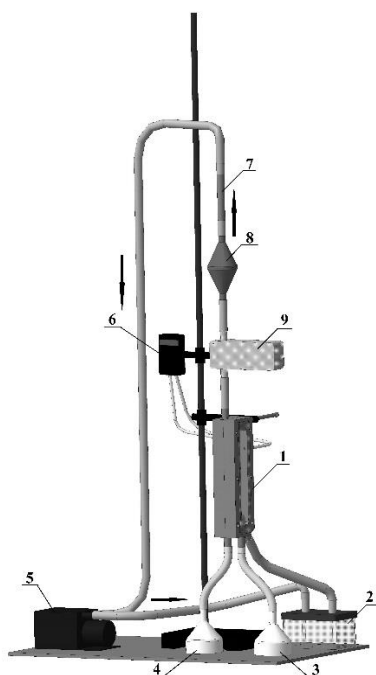


Рис. 1. Стенд для определения фильтрационных характеристик пористых слоев

1 — ячейка с образцом пористого материала; 2 — УЗ-генератор частиц; 3,4 — емкости для стекания жидкости; 5 — компрессор; 6 — дифманометр; 7 — расходомер; 8 — осушитель; 9 — датчик регистрации частиц;

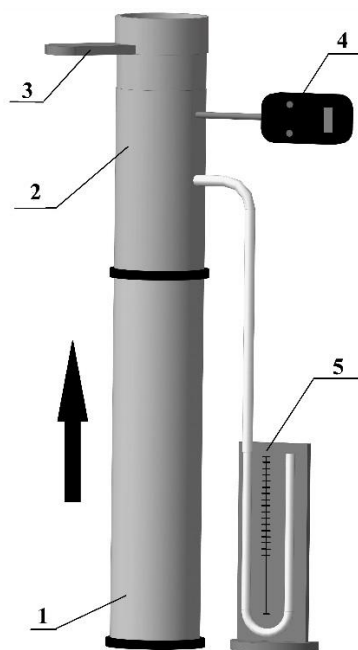


Рис. 2. Стенд для измерения аэродинамического сопротивления ФЭ

1- фильтрующий элемент; 2- труба; 3-заслонка; 4 — многофункциональный измерительный прибор TESTO 435; 5 — водяной манометр

Результаты и их обсуждение. Изучено более 20 пористых материалов, отличающихся пористостью, структурой, скреплением волокон и другими характеристиками. Показано, что фильтровальные характеристики различных материалов отличаются в очень широких пределах. Исследованы так же многослойные пористые системы, собранные из 2...6 пористых слоев. Установлено, что изменение последовательности слоев значительно влияет на тонкость фильтрации, сопротивление потоку газа, эффективность коалесцирования и дренажа. Полученные результаты стали основой для разработки новых ФЭ, равных или превосходящих по эффективности импортным. Созданные ФЭ оригинальной конструкции проходят испытания на заводе «Крион» (Минск), «Мозырском ПХГ», Белорусском газоперерабатывающем заводе (Речица), ООО «Оникс» (Гомель) и др.

Литература:

1. В.Ю. Шумская, Л.А. Калинин. Изучение влияния структуры и свойств волокнисто-пористых материалов на эксплуатационные характеристики фильтру-элементов // ПОЛИКОМТРИБ-2017: Тезисы докладов международной научно-технической конференции. — Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2017. — С 108.

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ФОТОЛЮМИНОФОРОВ НА ОСНОВЕ ИНДАТА ЛАНТАНА, ЛЕГИРОВАННОГО ИОНАМИ ЕВРОПИЯ (III)

Е.К. Южно, И.А. Алексеенко, К.А. Шевцова, Л.А. Башкиров

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

Фотолюминофоры на основе LaInO_3 , содержащие незначительное количество парамагнитных ионов Eu^{3+} (1; 10 ат. %), являются в магнитном отношении сильноразбавленными твердыми растворами, у которых парамагнитная составляющая их намагниченности и магнитной восприимчивости отличаются незначительно от диамагнитного вклада. Они являются перспективными материалами для разработки новых устройств микроэлектроники и спинтроники.

Образцы $\text{La}_{1-x}\text{Eu}_x\text{InO}_3$ ($x = 0,01; 0,10$), имеющие кристаллическую структуру орторомбически искаженного перовскита, получали твердофазным методом из оксидов.

Температурные зависимости молярной магнитной восприимчивости для $\text{La}_{1-x}\text{Eu}_x\text{InO}_3$ ($x = 0,01; 0,10$, рис. 1) показывают, что в интервале температур 5–300 К образец $\text{La}_{0,90}\text{Eu}_{0,10}\text{InO}_3$ является парамагнетиком, а образец $\text{La}_{0,99}\text{Eu}_{0,01}\text{InO}_3$ при температурах выше 270 К проявляет диамагнитные свойства (рис. 1, б). Вероятно, для $\text{La}_{0,99}\text{Eu}_{0,01}\text{InO}_3$ вклады в магнитную восприимчивость парамагнитных ионов Eu^{3+} и диамагнитной матрицы LaInO_3 отличаются между собой незначительно. Известно, что парамагнитный вклад ионов Eu^{3+} при повышении температуры уменьшается, а диамагнитный вклад от температуры не зависит. Это приводит к тому, что при повышении температуры парамагнитный образец $\text{La}_{0,99}\text{Eu}_{0,01}\text{InO}_3$ становится диамагнитным.

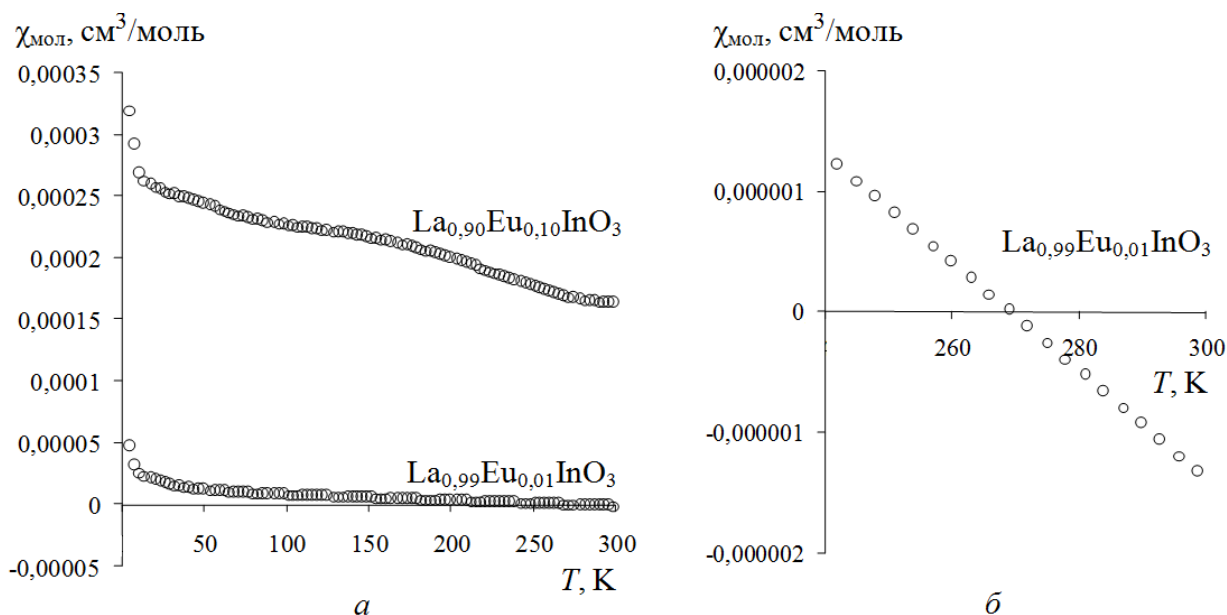


Рис. 1. Температурные зависимости молярной магнитной восприимчивости твердых растворов $\text{La}_{0,99}\text{Eu}_{0,01}\text{InO}_3$, $\text{La}_{0,90}\text{Eu}_{0,10}\text{InO}_3$

При 5 К полевые зависимости молярной намагниченности твердых растворов $\text{La}_{1-x}\text{Eu}_x\text{InO}_3$ ($x = 0,01; 0,10$) указывают на то, что в полях до 14 Тл образцы являются парамагнетиками. Полученные при температуре 300 К зависимости молярной намагниченности от напряженности магнитного поля до 14 Тл образцов показывают, что рост их намагниченности при увеличении магнитного поля является линейным, причем для $\text{La}_{0,99}\text{Eu}_{0,01}\text{InO}_3$ намагниченность имеет отрицательный знак и является диамагнитной.

**СТРУКТУРА И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ
ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ВЫСОКОХРОМИСТОЙ СТАЛИ 20X13,
НАПЫЛЕННЫХ ПО РАЗЛИЧНЫМ РЕЖИМАМ**

Е.В. Астрашаб, А.Н. Григорчик

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

Введение. Метод гиперзвуковой металлизации является эффективной аддитивной технологией, позволяющей формировать экономичные покрытия на изношенных деталях. Вместе с тем, газотермические покрытия, полученные методом гиперзвуковой металлизации, имеют более низкие физико-механические свойства по сравнению с монолитными сталями [1-4]. Для улучшения эксплуатационных характеристик газотермических покрытий представляет интерес информация о влиянии различных параметров напыления, в частности, давления воздуха, используемого для сжигания рабочего газа, на свойства указанных покрытий. Таким образом, целью данной работы являлось исследование влияния давления распыляющего воздуха при высокоскоростном напылении газотермического покрытия на его структуру, фазовый состав и триботехнические свойства.

Материалы и методы. Объект исследований – газотермические покрытия из проволоочной высокохромистой стали 20X13, напыленные с использованием установки АДМ-10[5] и применением высокоэнтальпийного газа МАФ при различных давлениях воздуха, идущего на его горение. Давление воздуха по различным режимам составляло 0,1, 0,2 и 0,3 МПа. Толщина напыленных покрытий составляла $\approx 1,0 - 1,2$ мм.

Исследование фазового состава осуществлялось на дифрактометре ДРОН-3.0 в монохроматизированном кобальтовом (CoK_α) излучении. Измерение твердости по Виккерсу проводилось на твердомере DuraScan 20 при нагрузке 10 кг.

Сравнительные триботехнические испытания проводились в режиме сухого трения ($P = 1,5$ МПа), по схеме возвратно-поступательного движения призматического образца по пластинчатому контртелу.

Результаты и их обсуждение. В процессе газотермического напыления проволоочной стали 20X13 поверхностные слои расплавленных частиц металла окисляются и, вследствие этого, напыленные покрытия содержат повышенное количество оксидов [3-5]. На рис. 1 представлены микроструктуры газотермических покрытий, полученных в результате напыления с различным давлением воздуха. Можно видеть, что с увеличением давления воздуха при газотермическом напылении, размеры частиц уменьшаются, а количество оксидов возрастает (табл. 1). Увеличение количества оксидов в покрытиях связано с уменьшением размера частиц и повышением удельной площади поверхности частиц, что приводит к их более интенсивному окислению. В тоже время, пористость покрытий, напыленных с использованием повышенного давления – уменьшается (табл. 1).

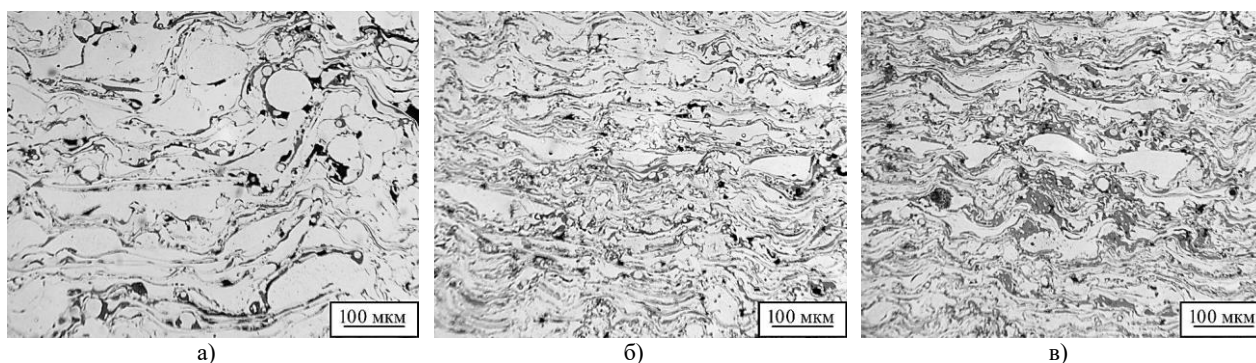


Рис. 1 Характерные микроструктуры газотермических покрытий из проволоочной стали 20X13, напыленных при различном давлении воздуха режимам: а – 0,1 МПа; б – 0,2 МПа; в – 0,3 МПа;

Исследование фазового состава газотермических покрытий из высокохромистой стали 20X13, напыленных по различным режимам показало, что в покрытии содержится преимущественно α -Fe, а также различное количество оксидов Fe_3O_4 и FeO.

Табл. 1 Содержание оксидов и пористость газотермических покрытий, полученных при различном давлении воздуха

Материал ГТП и давление воздуха при напылении		Содержание оксидов, об. %	Пористость, об. %
20X13	0,1 МПа	8	5
	0,2 МПа	12	3
	0,3 МПа	15	2,5

Твердость газотермических покрытий из стали 20X13, напыленных при давлениях воздуха 0,1, 0,2 и 0,3 МПа составляет 220, 275 и 320 HV 10, соответственно.

Результаты сравнительных триботехнических испытаний в условиях сухого трения представлены в табл. 2.

Табл. 2 Результаты сравнительных триботехнических испытаний

Материал покрытия и давление воздуха		Интенсивность массового изнашивания, $I_q \times 10^{-3}$, мг/м
20X13	0,1 МПа	20,2
	0,2 МПа	26,0
	0,3 МПа	28,3

Из триботехнических данных для случая сухого трения (табл. 2) можно видеть, что с увеличением давления воздуха, интенсивность массового изнашивания (I_q) напыленных покрытий увеличивается в $\approx 1,4$ раза. Данное увеличение I_q связано с повышением количества оксидов в сформированных покрытиях, которые располагаются на границах стальных напыленных частиц и способствуют отслаиванию и разрушению покрытия в условиях жесткого адгезионного взаимодействия.

Заключение. Исследованы структура, фазовый состав и триботехнические свойства газотермических покрытий из высокохромистой проволоочной стали 20X13, напыленных при различных давлениях воздуха, использующегося для горения горючего газа.

Установлено, что при уменьшении давления воздуха от 0,3 МПа до 0,1 МПа износостойкость покрытий в условиях сухого трения увеличивается на 40%, а содержание оксидов уменьшается от 15 об. % до 8 об. %.

Литература:

1. Белоцерковский М.А. Активированное газопламенное и электродуговое напыление покрытий проволочными материалами / М.А. Белоцерковский, А.С. Прядко // Упрочняющие технологии и покрытия. — 2006. — №12 — С. 17 — 23
2. Витязь, П. А. Основы нанесения износостойких, коррозионно-стойких и теплозащитных покрытий / П. А. Витязь, А. Ф. Ильюшенко, А. И. Шевцов — Минск, 2006.
3. Кукареко, В.А. О природе формирования метастабильной аустенитной структуры при газотермическом напылении высокохромистой стали мартенситного класса 95X18 / В.А. Кукареко, А.Н. Григорчик, М.А. Белоцерковский, А.В. Сосновский // Упрочняющие технологии и покрытия. — М., 2017. — Т.13. — №7(151). — С. 318-322.
4. Кукареко, В.А. Деформационно-активированное мартенситное превращение в газотермических покрытиях из высокохромистых сталей при сухом трении / В.А. Кукареко, М.А. Белоцерковский, А.Н. Григорчик // Тезисы докладов международной научно-технической конференции «ПОЛИКОМ-ТРИБ-2015» :редкол.: В.Н. Адериha [и др.] — Гомель, 2015. — С. 75.
5. Белоцерковский М.А. Технологии активированного газопламенного напыления антифрикционных покрытий. — Минск.: УП «Технопринт», 2004. — 200 с.

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ АДГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ ПОЛИМЕРНОГО ПОКРЫТИЯ НА МЕТАЛЛЕ ПО ПАРАМЕТРАМ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РЕЛЬЕФА

Д.А. Ахремчук, В.А. Микитевич, К.В. Пантелеев

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Введение. В настоящее время известно достаточно много методов неразрушающего контроля адгезионных соединений: акустические, радиоволновые, тепловые и т.д. В общем случае указанные методы позволяют выявлять области полного отсутствия склеивания или дефекты покрытия типа несплошности, по которым судят об адгезионной прочности покрытия. Определение параметров адгезионного взаимодействия на границе раздела покрытия с металлической подложкой известными методами представляет собой более сложную задачу, обусловленную низкой корреляцией физико-химических свойств диэлектрических покрытий с измеряемыми параметрами. Анализ результатов ранее проведенных экспериментальных исследований [1] показывает возможность использования параметров распределения электростатического потенциала поверхностей в качестве контролирующих адгезионные свойства полимерных покрытий, сцепленных с металлическим основанием, в том числе диэлектрическим клеевым составом. Учитывая, что разработка методов анализа и контроля физических и функциональных свойств новых многослойных материалов-конструкций является актуальным, в данной работе предлагается метод исследования адгезионных соединений и границы раздела металл-диэлектрик путем анализа их электропотенциального рельефа.

Физические основы. Если в качестве основания адгезионного соединения используется металл, основной вклад в формирование его потенциального рельефа вносит работа выхода электрона (РВЭ) поверхности. РВЭ — это энергия, необходимая для удаления электрона из твердого вещества в вакуум. Если электростатический потенциал в вакууме φ_0 , в веществе φ_i , а E_F — энергия Ферми, то РВЭ определяется следующим выражением:

$$\Phi = (\varphi_i - \varphi_0) - E_F = \Delta\varphi - E_F = 4\pi P_S - E_F \quad (1)$$

где P_S — дипольный момент двойного слоя, приходящийся на единицу площади поверхности. Величина $\Delta\varphi = 4\pi P_S$ представляет собой разность между потенциалом электрона внутри металла и потенциалом электрона на границе раздела в определенной точке, т.е. $\Delta\varphi$ зависит от состояния поверхности металла и, следовательно, от ее структуры.

В соответствии с выражением (1) РВЭ зависит как от состояния объема металла E_F , так и от состояния его поверхности P_S . Дипольный момент двойного слоя, в свою очередь, зависит от кристаллографической ориентации поверхности, адсорбированных атомов, наличия на поверхности металла дефектов и т.д. В случае покрытия металла слоем диэлектрика происходит изменение физико-химического состояния его поверхности, которое и отражается на РВЭ. Последнее обусловлено тем, что из-за межмолекулярного взаимодействия (Ван-дер-Ваальсового, полярного, химического или диффузионного) на границе раздела металл-покрытие происходит смещение электрохимических потенциалов внутри металла и образованием двойного электрического слоя на границе раздела путем перехода электронов или ионов с одной поверхности на другую. Нарушение сплошности слоя покрытия, локальных межмолекулярных связей, других дефектов на границе раздела из-за некомпенсированности межмолекулярного взаимодействия на освободившейся поверхности металла приводит к соответствующим перераспределениям свободных электронов и изменению уровня Ферми. Поэтому использование параметров распределения РВЭ в качестве характеризующих адгезионное взаимодействие металлополимерного соединения, позволяет достоверно судить об этих изменениях и, следовательно, о качестве адгезионного соединения, повысить точность оценки прочности и обеспечить возможность исследования топологии адгезионного взаимодействия по всей плоскости соединения. Таким образом, метод заключается в оценке состояния поверхности металла на границе раздела с покрытием.

Средства и результаты измерений. Для измерения РВЭ поверхности металла, покрытого конденсированным полимерным материалом, наиболее удобен метод сканирующего зонда Кельвина [3]. Метод является бесконтактным, неразрушающим и не требует создания каких-либо специфических условий окружающей среды. Пространственное разрешение определяется диаметром зонда (как правило ~ 1 мм), область сканирования – 180×180 мм. Результатом измерений являются поверхностно-топологические карты распределения потенциала (рис. 1).

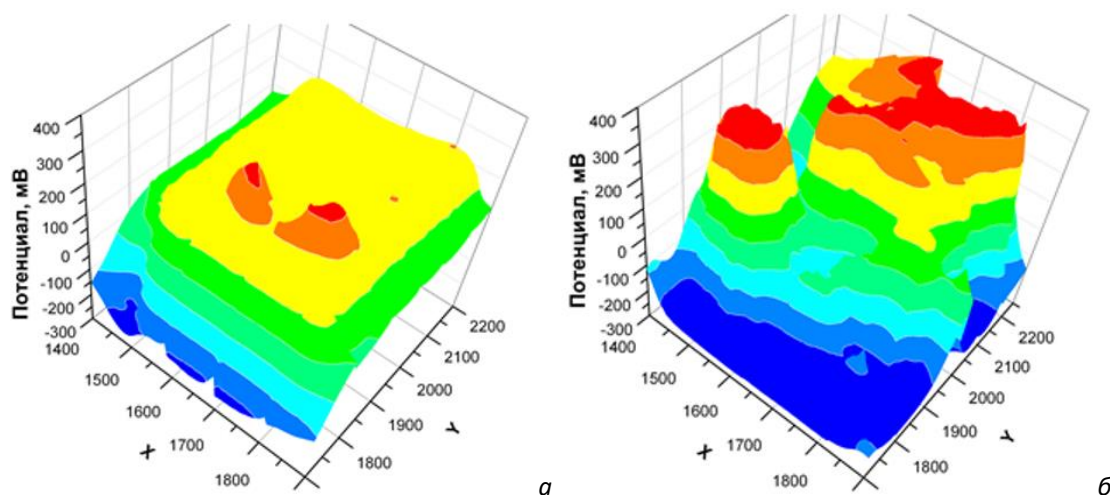


Рис. 1. Поверхностно-топологические карты распределения потенциала образцов клеевых соединений при отрыве верхнего слоя: а) оцинкованная сталь (0,5 мм)—сополимер этилена с винилацетатом—алюминий (0,5 мм); б) оцинкованная сталь (0,5 мм)—сополимер этилена с винилацетатом—фторопласт

Заключение. Применение сканирующей модификации зонда Кельвина позволяет обнаружить образования связей межмолекулярного взаимодействия (химическое взаимодействие, образование поверхностного дипольного слоя на границе раздела фаз) и локализовать области структуры с отличающимися характеристиками путем построения поверхностно-топологических карт относительных значений работы выхода электрона. Метод может быть использован для контроля качества пленок и покрытий, а также для оценки адгезионной прочности сцепления широкого круга материалов (про-

водников, полупроводников, диэлектриков) с высоким пространственным разрешением, которое обусловлено наличием современных нанометрических систем высокоточного позиционирования, а также совершенствованием устройств обнаружения и обработки измерительного сигнала.

Литература:

1. Свириденко А.И., Жарин А.Л., Кравцевич А.В., Тявловский А.К. Влияние высокодисперсного наполнителя на адгезионные и фрикционные свойства сополимера этилена с винилацетатом // Трение и износ. — 2014 (35), № 4, 401–410.
2. Пантелеев К.В., Свистун А.И., Жарин А.Л. Диагностика локальных изменений пластической деформации по работе выхода электрона. Приборы и методы измерений. — 2015, 6(1), 56–63.
3. Пантелеев К.В., Свистун А.И., Тявловский А.К., Жарин А.Л. Цифровой измеритель контактной разности потенциалов // Приборы и методы измерений. — 2016, 7(2), 136–144.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО ФАЗОВОЙ МИКРОСКОПИИ

А.Л. Богданов¹, К.В. Рубанов²

¹*Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси,
Гомель, Беларусь; al.bogdanov@tut.by*

²*Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого, Гомель, Беларусь*

Для испытания и оценки триботехнических свойств различных смазочных материалов, как правило, используют стандартные методики с использованием машин трения: четырехшариковой (ЧШМ), торцевого трения, СМТ или СМЦ и т.д. В таких случаях помимо фиксации важных параметров — температуры узла трения, коэффициента трения, потери массы, размеров пятна износа, особый интерес представляет исследование микрорельефа пятен износа, т.к. подобная информация позволит получить дополнительные данные относительно процессов изнашивания для конкретной смазки и объективной оценки её свойств.

Цель данной работы — оценка возможности использования лазерной сканирующей дифференциально фазовой микроскопии для исследования микрорельефа поверхностей трения трибосопряжений стандартных образцов.

Работа лазерного сканирующего дифференциально фазового микроскопа (ЛСДФМ) основана на получении переменного сигнала смещения фаз, сформированного перекрытием двух лучей на образце. Основные преимущества ЛСДФМ: высокое быстродействие исследований и обработки, т.е. возможность оперативного анализа в ходе операции; высокая виброзащищенность; высокая чувствительность по профилю (до 1 нм); не требуется подготовка образцов.

При исследовании образцов трения после ЧШМ традиционно используют оптический микроскоп для получения изображения пятен износа, а также измерения их среднего диаметра. При этом можно визуально оценить характер износа поверхности, например, увидеть следы задира поверхностей, кавитационное изнашивание, наличие борозд, но их глубину, а также профиль поверхности указанным методом оценить невозможно. Изображения пятен износа стальных шариков после использования различных смазок приведены на рис.1.

Следует отметить, что использование оптического микроскопа не позволяет объективно оценить пятно износа. Получаемый средний диаметр пятна износа достаточно грубая оценка, т.к. пятна износа часто не идеально круглой формы: овальные, с рваными краями, гантелеобразные и т.д. В таких случаях требуются дополнительные средства, которые могут быть реализованы посредством программной обработки изображений. Перспективным вариантом для распознавания и оценки размеров пятен износа является использование последних достижений информационных технологий — нейронных сетей.

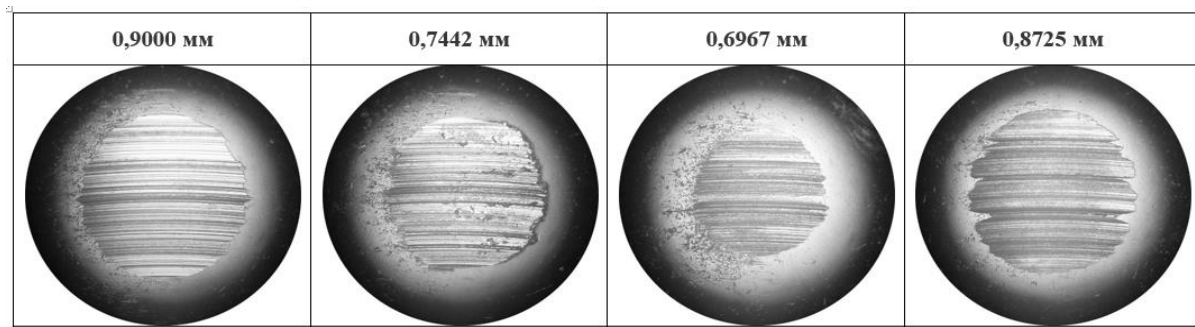


Рис. 1. Изображения пятен износа стальных шаров после использования различных смазок и результаты их измерения

В свою очередь, использование ЛСДФМ для исследования пятен износа позволяет получить большой массив данных о поверхности трения.

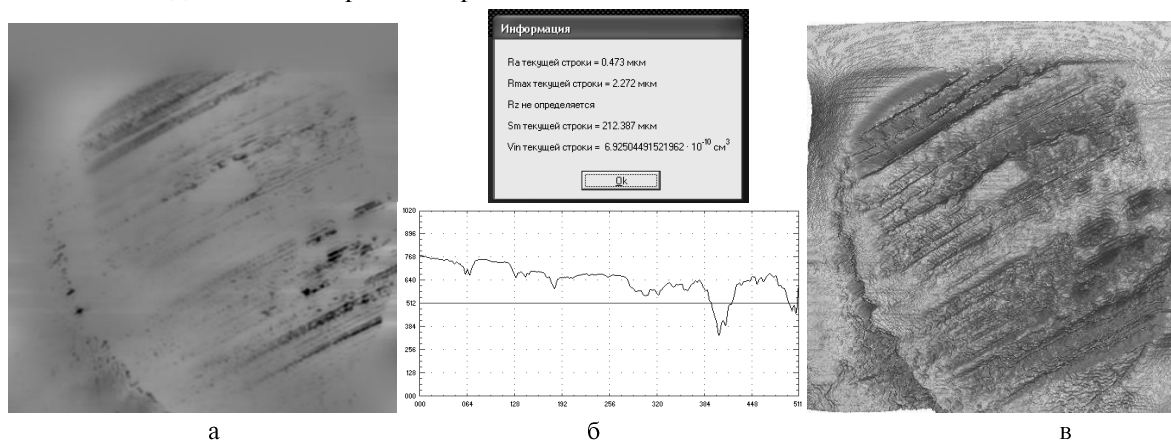


Рис. 2. Изображения пятен износа, полученные на ЛСДФМ:

а – участок поверхности трения, б – профиль поверхности трения, в – 3D-модель поверхности трения.

На рис.2 приведены результаты измерения пятна износа на поверхности стального шарика. Как видно из рисунка получены данные о поверхности: 3D-модель, профиль и данные шероховатости. Хорошо видны глубокие борозды, следы задира в виде углублений неправильной формы. Есть возможность измерения как всего пятна в целом, так и отдельных дефектов.

Таким образом, полученные экспериментальные данные показывают, возможность использования лазерного сканирующего дифференциально фазового микроскопа для оценки микрорельефа пятен износа поверхностей трибосопряжений с целью получения дополнительных данных для объективной оценки смазочной способности различных смазочных материалов. Также следует отметить целесообразность использования двух методов (оптическая микроскопия и ЛСДФМ) оценки поверхностей трения в комплексе.

РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ НИТРИДНЫХ КЕРАМИКТ.М. Гладких¹, А.Л. Козловский¹, М.В. Здоровец¹, Е.Ю. Канюков²¹*Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,
Астана, Республика Казахстан; t.m.gladkikh@mail.ru*²*Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению, Минск, Беларусь*

Одной из важных проблем современного материаловедения является разработка новых конструкционных материалов обладающих высокой радиационной стойкостью к различным видам ионизирующего излучения. В свою очередь, нитрид алюминия (AlN) выделяется среди многообразия нитридных и карбидных керамик, а также тугоплавких материалов в качестве кандидата для применения в ядерной энергетике благодаря своим высоким механическим и изоляционным свойствам [1-3]. Интерес к применению AlN в качестве материала для ядерной энергетике обусловлен высокой коррозионной стойкостью и радиационной устойчивостью к продуктам деления, а также малым поперечным сечением захвата тепловых нейтронов. Для определения влияния нейтронного облучения на структурные и механические свойства конструкционных материалов широко используют эксперименты по облучению различными типами ионов благодаря следующим преимуществам: короткому времени облучения, большими каскадными эффектами при облучении, простотой контроля параметров облучения, отсутствием индуцированной радиоактивности [2-4].

В работе представлены результаты исследования радиационной стойкости керамических материалов на основе нитрида алюминия. Облучение проводилось ионами C^{2+} с энергией 40 кэВ с флюенсом от 10^{14} до 10^{15} ион/см² при температуре облучения 300 К. На основе полученных данных методами растровой электронной микроскопии и рентгеновской дифракции установлены зависимости изменения кристаллографических характеристик и прочностных свойств от дозы облучения. Установлено, что в результате облучения в приповерхностном слое наблюдается формирование примесной фазы Al_4C_3 , приводящей к увеличению параметров кристаллической решетки, что свидетельствует об имплантации ионов C^{2+} и формировании фазы внедрения в структуре. При этом увеличение вкладов примесных фаз приводит к снижению интенсивности дифракционных пиков, а также их асимметрии, которая обусловлена увеличением микронапряжений и деформаций в решетке. Снижение твердости и прочностных характеристик может быть объяснено формированием областей разупорядоченности структуры в приповерхностном слое, а также увеличением пористости материала, обусловленного изменением плотности.

Полученные результаты хорошо согласуются с выполненными ранее исследованиями в этой области, а также могут внести существенный вклад в понимание процессов дефектообразования и радиационной устойчивости в керамических нитридных материалах, которые являются перспективными кандидатами для применения в современных ядерных реакторах.

Литература:

1. SzenesG. Ion-induced amorphization in ceramic materials // Journal of nuclear materials. – 2005 (**336.1**), 81 – 89.
2. Nappé J.-C. et al. Effect of swift heavy ion irradiations in polycrystalline aluminum nitride // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2011(**269.2**), 100 – 104.
3. Yan Y. et al. First-principles investigation of neutron-irradiation-induced point defects in B4C, a neutron absorber for sodium-cooled fast nuclear reactors // Japanese Journal of Applied Physics. – 2018 (**57.5**), 055801.
4. Weber W.J. et al. The role of electronic energy loss in ion beam modification of materials // Current Opinion in SolidState and Materials Science. – 2015 (**19.1**) 1 – 11.

ИНДУСТРИАЛЬНОЕ БАЗОВОЕ МАСЛО НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Ф.А. Григорьев

*Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси,
Гомель, Беларусь, tedoz95@gmail.com*

Введение. Индустриальные масла относятся к наиболее распространенным смазочным материалам. Их применяют в узлах трения станков, насосов, редукторов и других стационарных механизмах, работающих при умеренных тепловых и нагрузочных режимах. В настоящее время преобладают нефтяные индустриальные масла, однако современные тенденции развития промышленности и транспорта требуют уменьшения экологической нагрузки на окружающую среду путем замены минеральных масел биodeградируемыми смазочными материалами на основе растительного сырья [1].

Цель. Разработка базового индустриального смазывающего материала на основе растительного сырья для легконагруженных узлов трения промышленного оборудования.

Материалы и методы. Изучались образцы рапсового и льняного масел. Для сравнения было выбрано минеральное масло И-20А (ГОСТ 20799-88). Окислительную активность масел оценивали по ГОСТ 31758-2012. Триботехнические характеристики масел определяли по ГОСТ 9490-75 на четырехшариковой машине ЧШМ-К1 (Технопромкомплект, Украина).

Результаты и их обсуждение. Предварительные испытания растительных масел на четырехшариковой машине показали, что их триботехнические характеристики выше, чем у минерального И-20А, выбранного в качестве аналога [2]. Так, значения критической нагрузки у них на 20-30% выше, а показатель износа ниже более чем в два раза. Установлено, что механизмы граничного трения растительных масел во многом обусловлены процессами полимеризации триглицеридов в зоне фрикционного контакта. Образующиеся на поверхностях при воздействии давления и высоких температур смолистые продукты предохраняют истираемые материалы от износа, существенно повышая их сопротивление задиру. Показано, что улучшение характеристик растительных масел пропорционально концентрации в них триглицеридов с ненасыщенными связями, играющих ведущую роль в процессах трибополимеризации и окисления [3]. Однако эти процессы приводят к быстрой срабатываемости масел, увеличение их ресурса требует ингибирования реакций окисления жирных кислот путем введения соответствующих присадок.

Для оценки окислительной стабильности масел и влияния антиокислительных присадок через нагретые до 110°C образцы пропускали струю очищенного и осушенного воздуха. Продукты окисления попадали в дистиллированную воду, изменяя ее кислотность. Степень устойчивости масел к окислению оценивали по времени до начала резкого изменения проводимости дистиллированной воды.

По результатам исследований установлена корреляция плотности и температуры вспышки растительных масел с их окислительной стабильностью (таблица 1). Принимая во внимание экономические факторы, полученные данные позволяют сделать вывод о перспективности использования масла рапса в качестве основы смазывающего материала на базе растительного сырья.

Таблица 1. Физико-механические характеристики и окислительная стабильность растительных масел

Испытуемое масло	Плотность, кг/м ³	Температура вспышки, °C	Окислительная, стабильность, с
Льняное	930	>280	1708
Рапсовое	918-926	280	670
Подсолнечное	916-920	245	620
Кукурузное	917,7	232	500

В качестве ингибитора окисления в масла добавляли дифениламин в концентрации 0,5, 1,0 и 2,0 масс.%, что позволило увеличить окислительную стабильность масел до 3-х раз. Для всех масел окислительная стабильность возрастает, выходя на плато при концентрациях свыше 1 масс.% ДФА.

Процессы окисления и полимеризации играют положительную роль в механизмах граничного трения растительных масел, поэтому введение антиокислителя ухудшает их триботехнические свойства (таблица 2).

Таблица 2. Результаты триботехнических испытаний масел

Параметр	И-20А	Исходное масло		Рапсовое масло + 1 масс % ДФА с добавлением льняного		
		рапсовое	льняное	3 масс. %	5масс. %	10 масс. %
Нагрузка сваривания, кгс	119	133	168	120	126	133
Показатель износа, мм	1,65	0,76	0,73	0,86	0,76	0,73

Для компенсации негативного влияния антиокислителя в рапсовое масло с 1 масс. % ДФА вводили льняное масло в количестве 3, 5 и 10%. Результаты оценки триботехнических свойств полученных смесей (таблица 2) показали, что оптимальным является добавление в рапсовое масло 10 масс. % льняного. При таком модифицировании оно соответствует триботехническим характеристикам исходного рапсового масла, при этом его окислительная стабильность в 2 раза больше.

Выводы. Увеличение окислительной стабильности растительных масел при одновременном сохранении их триботехнических свойств является непростой задачей, поскольку их противозадирные и противозадирные характеристики связаны с процессами трибополимеризации и окисления. Компенсировать ухудшение триботехнических свойств при добавлении в них антиокислительных присадок можно путем добавления триглицеридов полиненасыщенных жирных кислот.

Показано, что смазочный материал на основе рапсового масла с добавлением 1,0 масс.% антиокислительного агента ДФА и 10 масс.% льняного масла может использоваться в качестве базовой смазки, характеризуясь на 12% большей нагрузкой сваривания и в $\approx 2,3$ раза меньшим показателем износа в сравнении с индустриальным минеральным маслом И-20А, выбранным в качестве аналога.

Литература:

1. Войтов В., Кравцов А., Сысенко И. Перспективы использования растительных масел для изготовления смазочных материалов // Мотрол, 2013 (15), № 7, 56-63
2. Григорьев Ф.А., Ковалева И.Н. Триботехнические свойства рафинированных растительных масел. Тез. докладов IV респ. науч.-техн. конф. молодых ученых. – Гомель, ИММС, – 2016, с.73-75.
3. А.Я. Григорьев, И.Н. Ковалева, Р. Крейвайтис и др. Влияние жирнокислотного состава и структуры алкильных радикалов триглицеридов растительных масел на их триботехнические характеристики // Трение и износ. – 2016. – Т.37, № 6. – с. 755-759

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРАФИТОВ РАЗНЫХ МАРОК НА ФРИКЦИОННО-ИЗНОСНЫЕ И ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФРИКЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

В.К. Меринов

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

Введение. Развитие машиностроения требует создания новых фрикционных полимерных композитов с заданными свойствами, в первую очередь с повышенными фрикционно-износными и деформационными характеристиками. Существенное влияние на структуру и свойства композитов оказывают физико-механические свойства наполнителей [1-2]. Выбор наполнителя определяется, в первую очередь, размерами и формой частиц [3].

Целью данной работы является исследование влияния графитов разных марок на фрикционно-износные и деформационные характеристики фрикционных полимерных композитов.

Материалы и методы исследования. В качестве термостойкой полимерной матрицы использовали политетрафторэтилен (ГОСТ 10007). В качестве наполнителей использовали графит марки ГК-3 (ГОСТ 4404-78), графит марки ГЛ-1 (ГОСТ 5279-74) и графит марки С-1 (ТУ 118-08-48-63-90). Фрикционно-износные испытания композитов проводились на машине трения СМЦ-2 по схеме «вал-частичный вкладыш». Давление составляло 1,0 МПа, скорость скольжения — 1 м/с. Исследование твердости композитов проводилось на приборе НР 250 по методу Бринелля путем вдавливания шарика диаметром 5 мм в поверхность плоскопараллельного образца. Теплостойкость композитов определяли по температуре размягчения термопластов методом Вика на приборе FWV 633.10. Исследование деформации проводили на базе машины трения СМЦ-2. Цилиндрический образец фиксировался между горизонтальными поверхностями роликов из стали ШХ 15. Испытания проводились при нагрузке 10 МПа. По отношению разницы начальной и конечной высот образца рассчитывалась величина относительной деформации.

Результаты исследования и обсуждение. Установлено, что с повышением содержания наполнителя происходит снижение твердости и теплостойкости фрикционных полимерных композитов. На рис. 1 представлена зависимость изменения твердости модельных композитов от содержания наполнителей.

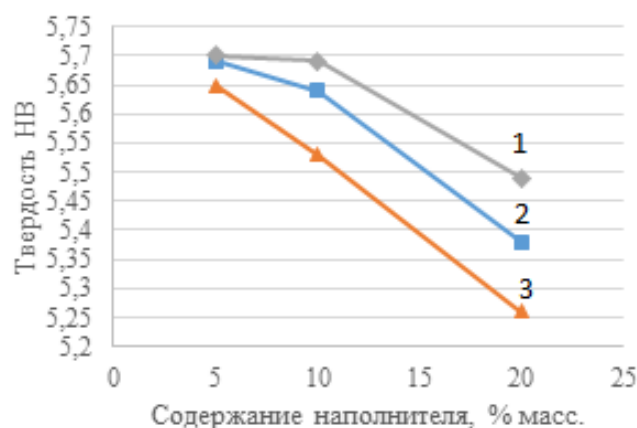


Рис. 1. Зависимость твёрдости НВ от содержания наполнителей композитов, наполненных графитом разных марок: 1 – С-1; 2 – ГК-3; 3 – ГЛ-1

Исследование деформации показало, что с повышением содержания наполнителя снижается величина относительной деформации для всех исследованных композитов. Наименьшую деформацию показали композиты, наполненные графитом марки ГК-3. На рис. 2 представлена зависимость изменения величины относительной деформации от содержания наполнителя.

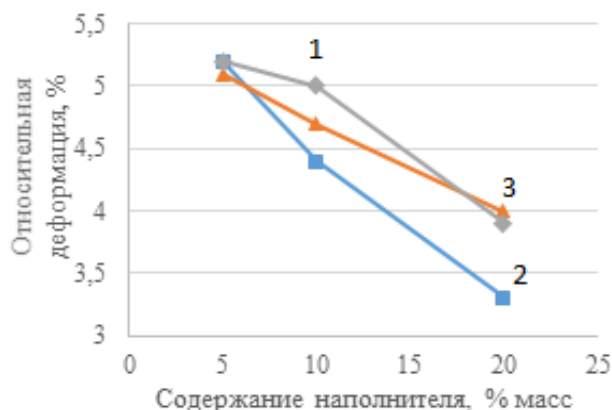


Рис. 2. Зависимость относительной деформации от содержания наполнителей композитов, наполненных графитом различных марок: 1 – С-1; 2 –ГК-3; 3 –ГЛ-1

На рис. 3 представлена зависимость изменения линейной интенсивности изнашивания от содержания наполнителя.

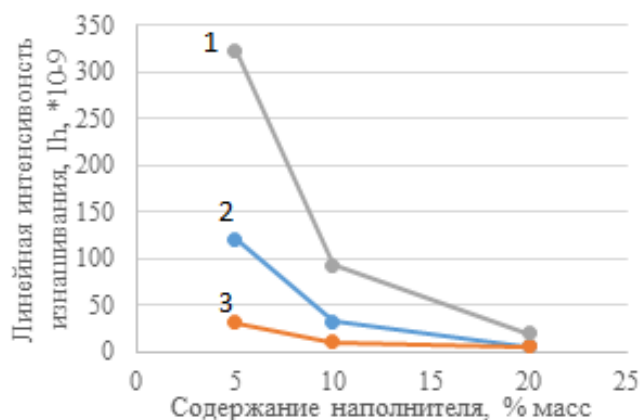


Рис. 3. Зависимость линейной интенсивности изнашивания от содержания наполнителей композитов, наполненных графитом различных марок: 1 – С-1; 2 –ГК-3; 3 –ГЛ-1

Температура в зоне фрикционного контакта составляла от 82 до 95 °С. Показано, что износостойкость фрикционных композитов повышается с ростом содержания наполнителя: так для композитов, наполненных графитом ГК-3, износостойкость возрастает более чем в 20 раз.

Заключение. Результаты фрикционно-износных деформационных испытаний показали, что графит марки ГК-3 наиболее перспективен для использования в качестве наполнителя фрикционных полимерных композитов.

Литература:

1. Дисперсно-наполненные полимерные композиты технического и медицинского назначения / Б.А. Люкшин[и др.]; отв. ред. А.В. Герасимов; Рос.акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т физики прочности и материаловедения; М-во образования и науки РФ, Нац. Исслед. Том.политехн. ун-т, Том. гос. ун-т сист. упр. и радиоэлектр. [и др.]. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017. – 311 с.
2. Машков Ю.К. Полимерные композиционные материалы в триботехнике./ Ю.К. Машков, З.Н.Овчар, М.Ю. Байбарацкая, О.А. Мамаев. – М: Недра. – 2004 – 262с.
3. Наполнители для полимерных композиционных материалов: Справочное пособие; Пер. с англ./ Под ред. П.Г. Бабаевского. – М.: Химия, 1981. – 736 с., ил. – Нью-Йорк: Ван Ностранд-Рейнолдс, 1978.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФРИКЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ, НАПОЛНЕННЫХ ОСАЖДЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ ЭЛЕКТРОПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

В.К. Меринов¹, Т.А. Ахметов²

¹Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси», Гомель, Беларусь;
vitali.merinov@gmail.com

²ОАО «БМЗ — управляющая компания холдинга «БМК», Жлобин, Беларусь

Введение. В металлургии широко распространены фрикционные узлы стационарного трения, т.е. узлы, важнейшей эксплуатационной характеристикой которых является постоянство заданного момента трения в течение длительного промежутка времени [1-2]. Фрикционные материалы для узлов стационарного трения представляют собой полимерную матрицу, модифицированную волокнистыми и дисперсными наполнителями [3-4]. Перспективным направлением в создании композитов является использование в их составах различных веществ, образующихся в результате производственной деятельности, взамен дорогостоящих металлических наполнителей.

Целью данной работы является исследования влияния осажденных частиц электроплавильных печей на фрикционно-износные характеристики фрикционных полимерных композитов.

Материалы и методы исследования. В качестве объектов исследования выбраны композиционные материалы на основе ПТФЭ-матрицы (ГОСТ 10007), наполненной базальтовыми волокнами (ТУ 02974686.207-99) и двумя видами осажденных частиц с условными обозначениями С1 и С2. В качестве образца сравнения использовали композиционный материал на основе ПТФЭ, наполненный базальтовыми волокнами и бронзовой пудрой БПП (ТУ 48-21-150-72). Триботехнические испытания композитов проводились на машине трения СМЦ-2 по схеме «вал-частичный вкладыш». Давление варьировалось в диапазоне 1,0 — 4,0 МПа. Скорость скольжения составляла 1 м/с. Исследование твердости композитов проводилось по методу Бринелля путем вдавливания шарика диаметром 5 мм в поверхность плоскопараллельного образца. Для этой цели использовали прибор для определения твердости НР 250.

Результаты исследования и обсуждение. Установлено, что оптимальное содержание наполнителя составляет 10-15 % об. Исследования твердости показали, что наибольшие значения для всех исследованных составов достигают при содержании наполнителя 10 % об. На рис. 1 представлена зависимость изменения линейной интенсивности изнашивания модельных композитов от содержания наполнителей. Композиционный материал, содержащий базальтовое волокно и бронзовую пудру обозначен символом $\blacklozenge$, композит, содержащий БВ/С1 и БВ/С2, $\blacksquare$ и $\blacktriangle$ соответственно.

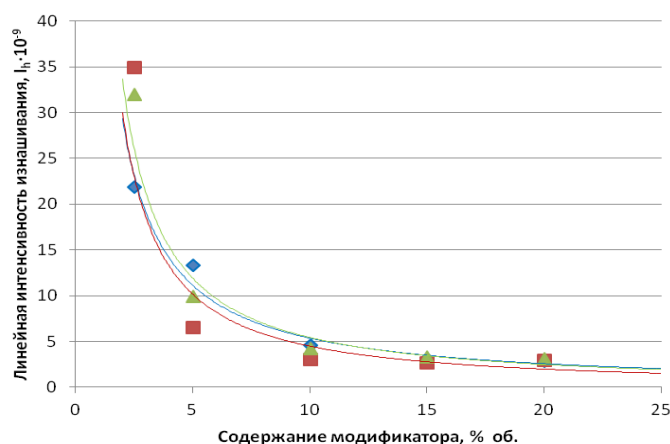


Рис. 1. Зависимость линейной интенсивности изнашивания $I_{лн}$ от объёмного содержания наполнителей при $P=2$ МПа; соотношение компонентов наполнителей 0,5

На рис. 2 представлена зависимость твердости модельных композитов от содержания наполнителей.

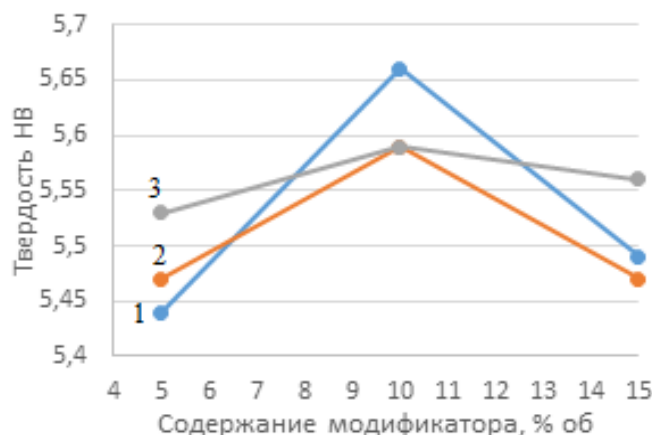


Рис. 2. Зависимость твердости по Бринеллю НВ от содержания смеси БВ/С1 при различных величинах соотношения компонентов модификатора: 1 – 0,5; 2 – 1; 3 – 2

Закключение. Таким образом, результаты фрикционно-износных испытаний полимерных фрикционных композитов показали, что осажденные частицы электроплавильных печей могут использоваться в качестве модификатора трения, взамен дорогостоящих металлических наполнителей.

Литература:

1. Машков Ю.К., Овчар З.Н., Суриков В.И., Калистратова Л.Ф. Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена. Структурная модификация. М.: Машиностроение, 2005. 240 с.
2. Машков Ю.К. Полимерные композиционные материалы в триботехнике./ Ю.К. Машков, З.Н.Овчар, М.Ю. Байбарацкая, О.А. Мамаев. – М: Недра. – 2004 – 262с.
3. Кербер М.Л. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учебное пособие. / М.Л. Кербер, В.М. Виноградов, Г.С. Головкин и др. // под ред А.А. Берлина. – СПб.: Профессия. – 2008. – 560 с.
4. Дисперсно-наполненные полимерные композиты технического и медицинского назначения / Б.А. Люкшин [и др.]; отв. ред. А.В. Герасимов; Рос.акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т физики прочности и материаловедения; М-во образования и науки РФ, Нац. Исслед. Том.политехн. ун-т, Том. гос. ун-т сист. упр. и радиоэлектр. [и др.]. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017. – 311 с.

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ФОТОЭДС ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ СКАНИРУЮЩИМ ЗОНДОМ КЕЛЬВИНА

В.А. Микитевич, Д.А. Ахремчук, А.В. Самарина

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь; nilpt@tut.by

Введение. В основу методики измерений поверхностной фотоЭДС полимерных материалов легли проведенные ранее исследования параметров распределения электростатических потенциалов нанокompозитных полимеров при внешнем воздействии оптическим излучением [1].

Приборы и методы. Для измерений используется модернизированная измерительная установка ИС КПР (НИЛ полупроводниковой техники БНТУ, Минск), реализующая работу зонда Кельвина в сканирующем режиме [2, 3]. Технические характеристики установки представлены в табл. 1.

Таблица 1. Технические характеристики измерительной установки ИС КРП

Наименование параметра	Показатель
Датчик определения потенциала	Динамический конденсатор по методу Кельвина—Зисмана
Диаметр датчика определения потенциала, мм	1
Погрешность определения потенциала поверхности, мВ	± 2
Система позиционирования	3-х координатная на базе шаговых двигателей
Точность позиционирования, мкм	± 5
Пространственная разрешающая способность, мм	10
Область сканирования, мм	180 x 180
Диапазон длин волн оптического излучения, нм	400–900
Диапазон измерения поверхностной фото-ЭДС, мВ	± 2

В основе датчика определения потенциала лежит динамический конденсатор, образованный заземленным предметным столиком с закрепленным на нем измеряемым образцом и вибрирующим зондом (эталонный образец) [2]. Периодические изменения емкости конденсатора создают переменный ток в измерительной цепи с частотой модуляции емкости. С помощью внешнего источника на одну из пластин динамического конденсатора подается потенциал компенсации и переменный ток уменьшается до нуля, что позволяет определить значение электростатического потенциала образца по величине потенциала компенсации.

Определение пространственного распределения поверхностной фотоЭДС осуществляется по отклику электростатического потенциала на внешнее оптическое воздействие при работе зонда Кельвина в сканирующем режиме. После установки зонда над поверхностью измеряемого образца, закрепленного на заземленном предметном столике, производится отсчет и запоминание значения электростатического потенциала. Затем на участок поверхности под зондом воздействуют оптическим излучением. По достижении установившегося значения источник оптического излучения отключается. Измерения выполняют в каждой точке исследуемой поверхности. Результат измерения сохраняется в памяти управляющего контроллера. Далее осуществляется преобразование и обработка измерительных данных средствами специализированного программного интерфейса.

Обработка измерительных данных. С помощью специально разработанной утилиты CPD.ogs, интегрированной в программную среду OriginLab, массив измерительных данных преобразуется в вид, удобный для обработки и последующего анализа. В процессе преобразований численное значение поверхностной фотоЭДС вычисляется как разность значений электростатических потенциалов до и после оптического воздействия, при этом регистрируемый сигнал позволяет получить информацию не только о значении, но и о знаке изменения потенциала. Утилита CPD.ogs осуществляет преобразование и обработку измерительной информации в автоматическом режиме с последующим выводом результатов на экран компьютера.

Обработка данных включает:

- построение визуализированных двух-и/или трехмерных карт пространственного распределения поверхностной фотоЭДС, а также распределение электростатического потенциала до воздействия оптическим излучением;
- статистическую обработку: построение гистограмм распределения поверхностной фотоЭДС и электростатического потенциала, определение центра (математическое ожидание) и полуширины гистограмм распределения.

Визуализация пространственного распределения фотоЭДС позволяет обнаружить как однородность распределения фотоэлектрических свойств исследуемого материала, так и аномалии на глубине поверхностного слоя, равного глубине оптического поглощения. Аномальной областью принимается участок с локальным максимумом по модулю численного значения фотоЭДС. Классификация выяв-

ленных на визуализированной карте аномальных участков осуществляется с учетом экспертного мнения исполнителей. В ряде случаев, сопоставление результатов картирования электростатического потенциала до оптического воздействия и распределения поверхностной фотоЭДС дают основание для разграничения поверхностных и скрытых в объеме материала зарядов.

Анализ гистограмм распределения относительных численных значений фотоЭДС с определением интегральных показателей однородности фотоэлектрических свойств поверхности ПКМ включает в себя:

- определение количества максимумов гистограммы распределения. Максимумом считается столбец диаграммы, в окрестности которого радиусом не менее двух столбцов отсутствуют столбцы большей высоты (принцип «трех сигма»). При нормальном распределении потенциала 97 % значений располагается в пределах трех значений среднего квадратического отклонения от максимума. Тогда, независимыми могут считаться результаты, разность которых превышает предел трех значений среднеквадратичного отклонения;

- определение закона распределения (нормального, равномерного, Гаусса и др.) относительных численных значений фотоЭДС. При этом оценивается симметричность распределения, острота либо сглаженность выявленных экстремумов;

- расчет интегральных показателей однородности электрофизических свойств поверхности ПКМ. В качестве основного параметра принята полуширина гистограммы распределения фотоЭДС. Наиболее эффективной оценкой является полная полуширина гистограммы, без исключения дополнительных максимумов. Положение основного максимума характеризует математическое ожидание фотоЭДС.

Литература:

1. Пантелеев К.В., Кравцевич А.В., Ровба И.А., Лысенко В.И., Воробей Р.И., Гусев О.К., Жарин А.Л. Анализ распределения электрофизических и фотоэлектрических свойств нанокompозитных полимеров модифицированным зондом Кельвина // Приборы и методы измерений. 2017;8(4):386-397. Doi:10.21122/2220-9506-2017-8-4-55-62.
2. Пантелеев К.В., Микитевич В.А., Жарин А.Л. построение измерителей контактной разности потенциалов // Приборы и методы измерений. 2016;7(1):7-15. Doi:10.21122/2220-9506-2016-7-1-7-15.
3. Пантелеев К.В., Свистун А.И., Тявловский А.К., Жарин А.Л. Цифровой измеритель контактной разности потенциалов // Приборы и методы измерений. 2016;7(2):136-144. Doi:10.21122/2220-9506-2016-7-2-136-144.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ, СИЛЫ АДГЕЗИИ И ШЕРОХОВАТОСТИ ПОКРЫТИЙ ТАНТАЛА И ОКСИДА ТАНТАЛА НА ПОВЕРХНОСТЯХ ПОКРОВНЫХ СТЕКОЛ И НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

А.С. Петровская¹, Г.Б. Мельникова¹, Т.А. Кузнецова¹, С.А. Чижик¹, А.В. Зыкова², В.И. Сафонов²

¹*Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси, Минск, Беларусь;
agata.petrovskaya@gmail.com*

²*Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», Харьков, Украина*

Введение. Одним из крупных достижений в интервенционной кардиологии является разработка металлических стентов без лекарственного покрытия, а затем и стентов, покрытых лекарствами. Конструкция этих стентов эффективно предотвращает эластическое сужение и отрицательное ремоделирование сосуда. К стентам предъявляются достаточно высокие требования: высокая гибкость, пластичность, прочность и жесткость, рентгеноконтрастность, биосовместимость с организмом. Для производства данных стентов используют различные материалы (нержавеющую сталь, платиноириди-

евые сплавы, тантал и др). Покрытия тантала благодаря сочетанию свойств — механической прочности, хорошей биосовместимости [1], коррозионной [2, 3] стойкости и рентгеноконтрастности широко используются при изготовлении стентов для коронарного шунтирования. При эксплуатации стентов их поверхность подвергается механическому и химическому воздействию и определяет стойкость изделия. Изучение свойств поверхности покрытий тантала и оксида тантала на наноуровне с применением атомно-силовой микроскопии (АСМ) и оценка на основании полученной информации эксплуатационных свойств является актуальной задачей.

Цель. Изучение коэффициента трения, силы адгезии и шероховатости покрытий тантала и оксида тантала на поверхностях покровных стекол и нержавеющей стали методом АСМ.

Материалы и методы. В Харьковском физико-техническом институте НАН Украины проводилась подготовка образцов. Подложки из нержавеющей стали и стекла очищались в ультразвуковой ванне по стандартной методике и пучком ионов средних энергий в атмосфере аргона, после чего шел процесс нанесения покрытий из тантала или оксида тантала методом реактивного магнетронного распыления. Исследование структурных, физико-механических характеристик поверхности проводили на приборе NT-206 (ОДО «Микротестмашины», Республика Беларусь). Для определения значений шероховатости поверхности использовали балочные кантилеверы CSC 38 («Mikromasch», Эстония), с жесткостью согласно паспорту производителя 0,03 Н/м, с радиусом кривизны не более 10 нм. Для определения коэффициента трения и силы адгезии использовали кантилеверы NCS 11 («Mikromasch», Эстония), жесткость которых 3 Н/м. Радиус кривизны кантилевера для определения коэффициента трения увеличивали до 100 нм путем сканирования при высоких нагрузках кремниевой поверхности.

Результаты и выводы. В результате проведенных исследований покрытий тантала и оксида тантала на поверхностях покровных стекол и нержавеющей стали марки 316LSS методом АСМ были получены следующие значения исследуемых параметров (табл. 1). Установлено, что микроструктура поверхности покрытий тантала и оксида тантала в значительной степени определяется используемой подложкой.

Таблица 1. Значения шероховатости (R_a , R_q), коэффициента трения (K_f) и силы адгезии (F_{adh}) поверхности покрытий тантала и оксида тантала на подложках стекла и нержавеющей стали 316 LSS

Образец	R_a , нм± 15,0 %		R_q , нм± 15,0 %		K_f ± 15,0 %	F_{adh} , нН ± 10 %
	Область сканирования, мкм					
	4 x 4	7 x 7	4 x 4	7 x 7		
Сталь 316 L SS, контроль	3,8	7,4	4,8	9,0	0,072	17,2
Ta / (316 L SS)	4,9	6,2	6,2	8,3	0,038	20,0
Ta ₂ O ₅ / (316 L SS)	4,2	4,4	5,4	7,6	0,048	8,0
Предметное стекло, контроль	3,2	3,1	4,0	4,1	0,026	123,3
Ta ₂ O ₅ / (пр. стекло)	1,4	1,3	1,8	1,9	0,038	61,5
Ta ₂ O ₅ + Ag / (покровное. стекло)	2,3	2,3	3,0	3,0	0,045	95,9

На основании значений шероховатости образцов можно сделать вывод об увеличении R_a после напыления пленки тантала (до 4,9 нм) на поверхность нержавеющей стали. При сканировании области 7x7 мкм, для образцов с покрытием значения R_q меньше, чем для поверхности исходной стали. Следует отметить, что для покрытий оксида тантала шероховатость поверхности с увеличением площади сканирования практически не изменяется, в пределах доверительного интервала, что свидетельствует об однородности и равномерности наносимого покрытия. Нанесение покрытий оксида тантала на предметные стекла также приводит к уменьшению значений шероховатости в 2 раза. Однако при нанесении покрытий композиционных с наночастицами серебра, шероховатость поверхности уменьшается незначительно, в пределах доверительного интервала.

Коэффициент трения образцов с покрытиями на подложках из нержавеющей стали уменьшается в два раза, на поверхности стекла увеличивается в 1,5–2 раза. Применение материалов с низкими

значениями коэффициента трения в качестве стентов является перспективным, так как они позволяют поддерживать и не снижать кровоток по стенкам сосуда.

Немаловажным является и адгезионная характеристика материала, так как существует высокий риск образования тромбов на имплантируемом материале. Установлено, что напыление пленки оксида тантала на поверхности стали и стекла позволило снизить значения силы адгезии в два раза.

Работа выполнена в рамках договора с БРФФИ № Ф18УКА-015 от 19.02.2018

Литература:

1. Марчук М. С., Мутылина И. Н. Биосовместимые материалы, применяемые для изготовления стентов (Обзор) // Российская медицина. — 2010, № 76, 67 — 69.
2. Каурковская О.А., Беспалова Е.Я. Особливості металічних матеріалів для виготовлення стентів // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. — 2017(106), №5, 56 — 61.
3. Папилов И. И., Шкуропатенко В. А. Материалы медицинских стентов: Обзор. — Х.: ННЦ ХФТИ. — 2010.

ПОВЫШЕНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ

Рахадиллов Б.К., Буйткенов Д.Б., Сагдолдина Ж.Б., Оспанова Ж.А.

*Восточно-Казахстанский государственный университет имени С. Аманжолова,
Усть-Каменогорск, Республика Казахстан*

В последнее время глубоко внедряется в производство электролитно-плазменная обработка металлических изделий, и достаточно интенсивно ведутся исследования влияния электролитно-плазменного упрочнения на структуру и свойства сталей и сплавов. В данной работе приводятся результаты исследования влияния длительности электролитно-плазменного упрочнения (ЭПУ) на трибологические свойства образцов стали марки 2[1,2].

ЭПУ образцов стали марки 2 проводили на установке, которая разработана и изготовлена в Национальной научной лаборатории коллективного пользования при Восточно-Казахстанском государственном университете имени Сарсена Аманжолова [3]. Упрочнение образцов осуществляли в водном растворе карбамида (15% по массе), карбоната натрия (15%) в следующих режимах: 1 с (340В), 2 с (320В), 3 с (320В). Были исследованы трибологические свойства образцов до и после ЭПУ. Испытание проводилось по схеме "шар-диск", длина пробега 31 м, скорость 2 см/с, нагрузка 5 Н, в качестве контртела был использован шар из карбида вольфрама диаметром 3 мм. Дорожки трения исследовали с применением бесконтактного 3D-профилометра MICROMEASURE 3D station. Испытание образцов на абразивное изнашивание проводили на экспериментальной установке для испытания на абразивное изнашивание по схеме «вращающийся ролик — плоская поверхность» в соответствии с ГОСТ 23.208-79. Измерение микротвердости образцов проводили на приборе ПМТ-3М в соответствии с ГОСТ 9450-76, при нагрузке 100 г и времени выдержки при этой нагрузке 10 с.

Трибологические характеристики образцов до и после ЭПУ характеризовались интенсивностью изнашивания. Интенсивность изнашивания под воздействием наконечника рассчитывается, исходя из объема вытесненного материала во время проведения испытания, который рассчитывался по следующей формуле (1):

$$I = \frac{V}{F \times l} \quad (1)$$

где: I — интенсивность изнашивания, $[мм^3/Н \cdot м]$; l — путь трения, $[м]$; F — номинальное давление, $[Н]$; V — объем изношенной части, $[мм^3]$.

Результаты исследования микротвердости и характеристики износостойкости образцов стали марки 2 до и после ЭПУ с разной продолжительностью времени приведены в таблице. Результаты испытания образцов на абразивный износ охарактеризовали потерей массы образцов после испытания (табл. 1).

Таблица 1. Результаты исследования микротвердости и износостойкости образцов стали марки 2 до и после ЭПУ с разной продолжительностью времени

Наименование образцов	Микротвердость, МПа	Интенсивность изнашивания, $\text{мм}^3/(\text{Н}\cdot\text{м})$	Объем износа, мкм^3	Потеря массы, мг (абразивный износ)
Сталь марки 2 исходный	931 ± 16	$(4,83 \pm 0,63) \times 10^{-3}$	$8,3 \pm 2,4$	0,080
Сталь марки 2 после ЭПУ, 1 с	1410 ± 40	$(3,12 \pm 0,59) \times 10^{-3}$	$4,5 \pm 1,0$	0,032
Сталь марки 2 после ЭПУ, 2с	1564 ± 45	$(1,34 \pm 0,18) \times 10^{-3}$	$1,4 \pm 0,4$	0,023
Сталь марки 2 после ЭПУ, 3с	1728 ± 38	$(0,34 \pm 0,05) \times 10^{-3}$	$0,22 \pm 0,04$	0,021

Результаты проведенных исследований показывают, что ЭПУ позволяет значительно повысить износостойкость исследуемых образцов. Минимальный фактор износа наблюдается после ЭПУ с продолжительностью времени 3с. Оценивая износостойкость образцов на основании геометрических параметров дорожек износа, можно сказать, что глубина дорожки образца после ЭПУ значительно меньше по сравнению с необработанным образцом, в соответствии с рисунком. Исследование дорожки трения после испытаний на износостойкость показало, что основным механизмом изнашивания является адгезионное изнашивание, о чем свидетельствует наличие задиров на поверхности дорожки трения и перенос материала образца на контртело (рис. 1).

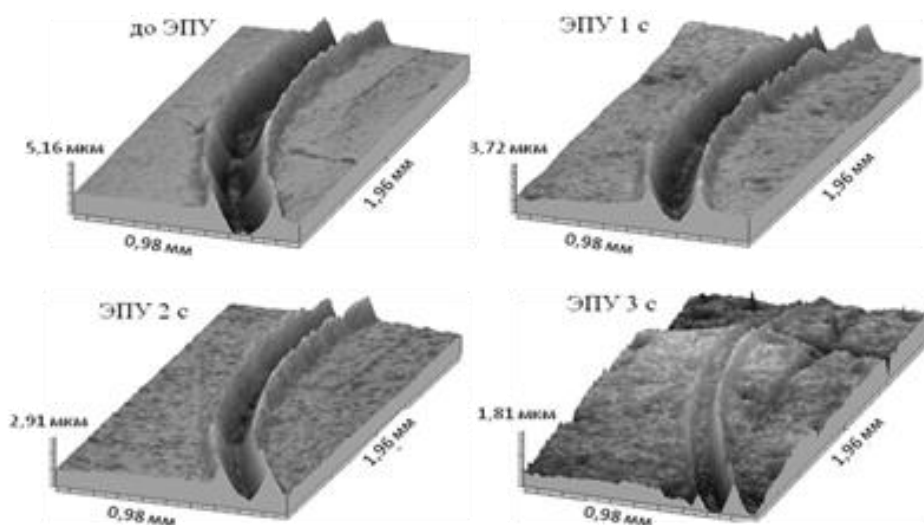


Рис. 1. Дорожки износа образца после трибологических испытаний

Анализируя полученные в работе экспериментальные результаты, можно сделать следующие выводы:

- показано, что ЭПУ в течение времени 3 секунд позволяет увеличить поверхностную микротвердость в два раза и снизить интенсивность изнашивания примерно на один десятичный порядок с $4,8 \times 10^{-3}$ до $3,4 \times 10^{-4} \text{ мм}^3/(\text{Н}\cdot\text{м})$;
- установлены оптимальные режимы ЭПУ в электролите водного раствора карбамида (15 % по массе), карбоната натрия (15%), которые позволяют улучшить трибологические свойства поверхности стали марки 2.

Работа была выполнена в рамках грантового финансирования научных исследований на 2018-2020 годы Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан.

Литература:

1. Б.К. Рахадиллов, А.Б. Кенесбеков, Б.Т. Туякбаев, К.А. Калибаев Модификация поверхности стали 20ГЛ электролитно-плазменным воздействием // Solid state physics, functional materials and new technologies (SSPh-2018): материалы XIV Междунар. науч. конф., посвящ. 80-летию основателя конф. проф. Т.А. Кукетаева. — Караганда: Изд-во КарГУ, 2018. — 136с.
2. E.I.Meletis, X.Nie, F.L.Wang, J.C. Jiang Electrolytic plasma processing for cleaning and metal-coating of steel surfaces // Surface and Coatings Technology. — 2002. — V. 150. — С. 246–256.
3. Инновационный патент на изобретение Республики Казахстан, Способ электролитно-плазменного упрочнения деталей и устройство для его осуществления / Баятанова Л. Б., Журерова Л. Г., Скаков М. К., Жилкашинова А. М., Сапатаева Е. Е., Курбанбеков Ш. Р., Уазырханова Г. К.: № 27523 / Заявл. 09.07.2012; Оpubл. 21.11.2013, Бюл. № 12.

МОДИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И СПОСОБОВ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ГИПЕРЗВУКОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ.

Д.В. Рехлицкая

НТЦК ОАО «Гомсельмаш»

Обеспечение высокого уровня технических, эксплуатационных и потребительских свойств зерно- и кормоуборочной техники требует внедрения высокоэффективных способов повышения износостойкости и коррозионной стойкости деталей технологических тракторов комбайнов. В Научно-техническом центре комбайностроения ОАО «Гомсельмаш» ведутся работы по использованию лазерного модифицирования поверхностей трения и гиперзвуковой металлизации.

Особый интерес представляет метод гиперзвуковой металлизации, который обеспечивает высокую производительность и экономическую эффективность. Нанесение покрытий данным способом осуществляется путем распыления сплава, полученного в результате плавления двух проволок электрической дугой, возникающей при пропускании через проволоку электрического тока. Отличительной особенностью данного метода является наличие малогабаритной высокоэффективной камеры сгорания воздушно-пропановой смеси. Сверхзвуковая струя на выходе из сопла имеет скорость 500 м/с при температуре 1850⁰С и формирует покрытие, имеющее плотность и прочность в два раза выше, чем при электродуговой металлизации. Для нанесения покрытий используются различные металлы и сплавы, в виде проволок. Возможно использование двух проволок одновременно из разных материалов.

В Научно-техническом центре комбайностроения ОАО «Гомсельмаш» внедрена установка гиперзвуковой металлизации АДМ-10. В качестве объекта испытаний были выбраны детали технологического тракта комбайна КВК-800 «Полесье» КВС-1-0143425 и КВС-1-0143426. Основной тип покрытия — сталь 40Х13 и 95Х18. Проведенный комплекс исследовательских работ выявил существующие сложности получения качественных покрытий. Для их устранения были внесены изменения в конструкцию токосъемных наконечников, вместо АДМ использованы ESAAB с последующей доработкой. Изменен блок питания, увеличена производительность приточной и вытяжной вентиляции, применены автоматические светофильтры, а также специальные средства индивидуальной защиты (стойкого к воздействию высоких температур герметичного костюма с подачей чистого воздуха в зону дыхания). Изготовлена специальная оснастка, позволяющая наносить износостойкое покрытие одновременно на несколько деталей.

Реализация указанных мероприятий позволила наносить покрытия на детали технологического тракта за более короткое время без потери качества, а также существенно улучшить условия труда оператора.

Научное издание

V Республиканская научно-техническая
конференция молодых ученых

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

12–14 ноября 2018 г.

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

*Ответственные за выпуск: И.Н. Ковалева, А.С. Мицкевич
Составитель: А.А. Тимофеев*

Подписано в печать 8.11.18. Формат издания 60х84¹/₈.
Бумага офсетная. Гарнитура Newton. Отпечатано на ризографе.
Усл. печ. л. 8,1. Тираж 30 экз. Заказ №. 13-18

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

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



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

ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь
Телефон: +375 (0232) 34 17 12; Факс: +375 (0232) 34 17 11
mpri@mail.ru <http://mpri.org.by>