

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



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

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

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

**Гомель
22-24 октября 2024**

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

VIII Республиканская научно-техническая
конференция молодых ученых

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

22–24 октября 2024 г.

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ



ИММС НАН БЕЛАРУСИ • ГОМЕЛЬ • 2024

Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования: материалы VIII Республиканской научно-технической конференции молодых ученых, Гомель 22–24 октября 2024 г. – Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2024. – 99 с.
ISBN 978-985-6477-64-8

В сборнике представлены тезисы докладов участников VIII 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.)

Александрович А.А.	6-8
Влияние режимов формирования слоев нитридов высокоэнтропийных сплавов на их триботехнические характеристики	
Антонова Е.Л.	8-9
Влияние различного вида антипиренов на горючесть полипропиленовых материалов	
Апишев В.В.	10-12
Применение коллоидных суспензий с дилатантными свойствами в баллистической защите	
Бондарук А.А., Роткович А.А., Герман С.А., Тишкевич Д.И., Котельникова А.Н., Труханов А.В.	12-13
Разработка функциональных устройств с использованием мембран на основе наноструктурированного пористого анодного оксида алюминия методом темплатного синтеза	
Брель Д.В., Шумская В.Ю.	14-15
Фильтрующий материал на основе полидисперсных продуктов процесса лазерной абляции политетрафторэтилена	
Брундуков А.С., Шилько И.С.	16-17
Влияние концентрации наполнителя на теплофизические свойства полиэфирэфиркетона	
Вонсович Н.В., Косандрович Е.Г., Шаченкова Л.Н., Езубец А.П.	18-19
Определение биозоны слабоосновного анионита АН-31 в равновесии с трехкомпонентными питательными растворами « $\text{NO}_3^- - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{PO}_4^-$ »	
Гапанькова Е.И., Латышев И.А.	20-21
Биоцидные свойства модифицированных терепеноидномалеиновых аддуктов	
Гапанькова Е.И., Латышев И.А.	21-23
Влияние типа препрега на эксплуатационные показатели лыж	
Зизико Ю.А., Манкевич В.А.	23-24
Экзотермический синтез материалов системы Fe-Ni, модифицированных Cu	
Карпенко М. А., Кривогуз Ю.М., Скороходов А.Н., Даниленко А.А.	25-26
Роль наноглины в формировании структуры смесей полиамида и модифицированного полиэтилена	
Карчевский Ф.А., Кривогуз Ю.М., Корнеев Г.К.	26-27
Влияние модифицирующих добавок на морфологию стеклонаполненных композитов на базе полипропилена	
Коваленко М.А., Гарбарук В.Ю., Мазур О.О.	28-29
Электретное состояние в композитах полипропилен-полифениленсульфид	
Коваленко М.А.	30-31
Электретные пленки на основе полилактида, полученные по растворной технологии	
Лемешонок С.Н., Филиппович Л.Н., Игнатович Ж.В., Сарымсаков А.А., Юнусов Х.Э, Мирхалисов М.М., Рогачев А.А.	32-33
Антирадикальные свойства раневых материалов на основе модифицированной углеродной ткани	
Лемешонок С.Н., Авдеева Е.В., Игнатович Ж.В., Сидоренко А.Ю., Рогачев А.А.	34-35
Гемостатические повязки на основе каолина	
Лешок В.А.	35-37
Оценка влияния предварительного оксидирования на термодиффузионное насыщение углеродом стали 08А	

Лешок В.А.	37-39
Анализ комбинирования технологий поверхностной пластической деформации и ионно-плазменного азотирования	
Манкевич В.А., Волочко А.Т.	39-41
Микроструктура цементного камня с кольматирующей добавкой	
Марусенко Н.А., Богданович С.П.	41-42
Электропроводный композиционный материал на базе полиамида 6 для 3D-печати	
Мельников В.Д., Кривогуз Ю.М., Шкуратов М.В.	42-44
Исследование особенностей морфологии и фазовой структуры смесей на основе полиамида 6 и функционализированных полиолефинов	
Меринов В.К.	44-46
Влияние режимов формования на физико-механические характеристики фрикционных композитов	
Радюк А.Н.	46-47
Получение высоконаполненных материалов из полиуретана и древесных отходов	
Саховский К.А.	47-49
Влияние температуры подложки на механические свойства Cu/a-C покрытий	
Столбунова Ю.А., Кимленко И.М.	49-50
Ионообменный метод получения кремнезоль для применения в электронной промышленности	
Усова В.Н., Кривогуз Ю.М.	50-51
Исследование структуры и межфазных взаимодействий в смесях полиамида 6 с алифатическим поликетеном	
Шумская В.Ю., Гарбарук В.Ю.	52-53
Оценка пористой структуры фильтрующих материалов из полипропилена и нержавеющей стали методом капиллярной порометрии	
 Секция 2. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ	
Борозна В.Д.	54-55
Формовочные свойства текстильных основ искусственных кож	
Киселевич А.Г., Соснов Е.А.	56
Электронная спектроскопия диффузного отражения как метод исследования тонкого приповерхностного слоя наноразмерных материалов	
Ковалёва Я.А.	57-58
Формирование кратера во время лазерной абляции политетрафторэтилена	
Ковалёва Я.А.	59-60
Распределение по скоростям и размерам полидисперсных продуктов лазерной абляции ПТФЭ в вакууме	
Лёвкина А.Д.	61-62
Разработка процесса создания выжигаемой мастер-модели детали «вилка» при помощи трехмерных технологий.	
Марковская А.В.	63-64
Зависимость температуры абляционной плазмы меди от параметров лазерного излучения	
Марковская А.В., Щерба У.К.	64-65
Зависимость интенсивности линии и абляционного повреждения меди при одноимпульсной и двухимпульсной лазерной абляции	
Нейфельд М.А.	66-67

Изучение возможности использования прибора Табера для испытания полимерных подошвенных материалов	
Роткович А.А., Бондарук А.А., Герман С.А., Котельникова А.Н., Труханов А.В., Дашкевич Е.С., Тишкевич Д.И.	68-69
Радиационно-защитные свойства герметик-вольфрамовых композитов	
Савеня П.С., Хейфец М.Л., Рябцев В.Н.	69-71
Автоматизация технической диагностики несущих конструкций зданий и сооружений на основе анализа потоков данных систем мониторинга	
Сазанков А.П.	71-73
Методика формирования начального надреза на образце для определения распространения трещины при растяжении	
Стратанович В.А., Дервяго А.Н.	73-75
Оптимизация режимов формирования функциональных слоев в разрядной плазме октафторциклобутана по данным 3-х факторного планированного эксперимента	
Тулейко А.С.	75-77
Влияние длины льняных волокон на звукопоглощение акустических материалов	
Тычинская И.Д., Пантелеев К.В., Басинюк В.Л.	77-79
Исследование поверхности хрупких материалов микроэлектроники после обработки резцом из КНБ	
Щерба У.К.	79-81
Деструкция поверхности металлов при одноимпульсной и двухимпульсной лазерной абляции	
Секция 3. ТРИБОЛОГИЯ, ФИЗИКА, ХИМИЯ И МЕХАНИКА ПОВЕРХНОСТИ	
Адамович К.А., Купреенко К.В., Лычковский В.А., Пантелеев К.В., Исаев А.В.	82-83
Влияние характеристик дефектов изоляции обмоток электрических машин на параметры тока холостого хода	
Ромашко Е.Д., Борбат М.С., Койро А.В., Исаев А.В., Пантелеев К.В.	84-85
Модификация тахометрической установки для исследования трущейся поверхности зарядочувствительным методом	
Григорьев Ф.А.	86-87
Разработка кальциевого пластичного смазочного материала с дисперсионной средой на основе растительного сырья	
Зиневич Д.В., Кузей А.М.	88-89
Влияние режима осаждения на микроструктуру низколегированных сплавов цинка	
Костюкевич П.А.	89-91
Структура нарушенного слоя на поверхности монокристалла алмаза после алмазно-абразивной обработки	
Кроливец А.В., Бабич В.Е.	91-93
Механизм износа рабочих поверхностей алмазного инструмента при ликвидации чрезвычайных ситуаций	
Левданский А.А., Бабич В.Е.	93-94
Влияние концентрации алмазных зерен на режущую способность алмазных отрезных кругов при обработке стали	
Мухтарова А.Б.	94-96
Повышение трибологических характеристик путем введения микро-/нанодобавок к смазочному материалу	
Сукало В.В.	96-97
Трибология колковой механики и струн классической гитары	
Юркова Ю.М., Григорьев Ф.А.	98-99
Использование ацетата кальция в качестве модификатора структуры простой кальциевой смазки на основе растительного сырья	

**ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ФОРМИРОВАНИЯ СЛОЕВ НИТРИДОВ
ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ НА ИХ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ**

А.А. Александрович

УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Минск, Беларусь;
pavelaleksandrowitch@yandex.by**Цель**

Установление зависимостей триботехнических характеристик слоев нитридов высокоэнтропийных сплавов вида AlCoCrFeNi_y от технологических режимов их формирования при реактивном импульсном магнетронном распылении.

Эксперимент

Распыление мишеней высокоэнтропийных сплавов (ВЭС) осуществлялось методом импульсного реактивного магнетронного распыления на модернизированной вакуумной установке Leybold-Heraeus A550 VZK. Для распыления ВЭС мишеней использовалась магнетронная распылительная система (MPC) RIF.041.002 оригинальной конструкции с мишенью \varnothing 41 мм. Для нанесения пленок использовались мишени из высокоэнтропийных сплавов \varnothing 41 мм и толщиной 3.5 мм состава AlCoCrFeNi с эквиатомным содержанием металлов. Пленки нитридов ВЭС наносились на подложки из полированной стали 12X18H10T.

Распыление мишени осуществлялось в Ar/N_2 смеси газов при содержании азота (Γ_{N_2}) от 0 до 70 % при общем расходе газов 70 мл/мин. В процессе нанесения ток разряда магнетрона поддерживался постоянным $I_t = 350$ мА. При этом напряжение разряда в зависимости от содержания N_2 в смеси газов и используемой мишени изменялось от 395 до 503 В. Время нанесения изменялось в зависимости от скорости нанесения и составляло 15 – 25 мин. При этом толщина нанесенных пленок составляла 0.8 – 1.2 мкм.

Твердость покрытий измерялась с помощью измерителя микротвердости *Leika VMHT Mot*. Для измерений использовался индентор Кнупа. Измерения производились при нагрузке индентора 10 г и времени сохранения нагрузки 15 с. Глубина проникновения индентора в пленку не превышала 30% от толщины пленки, что исключало влияние деформации подложки.

Измерения коэффициента трения и объемного износа пленок проводились на трибометре МТ-4 методом истирания пленки при возвратно поступательном движении контртела в условиях сухого трения (система трения шарик – плоскость). В качестве контртела использовался шарик \varnothing 6.3 мм из стали ШХ15. Нагрузка индентора составляла 500 мН, скорость скольжения 2 мм/с, длина двойного прохода 14 мм, количество циклов трения – 1000.

Результаты и их обсуждение

Установлено, что твердость пленок высокоэнтропийных сплавов существенно превышала твердость входящих в сплав элементов. Так в используемых CoCrFeNi , AlCoCrFeNi и AlTiHfNbCr мишенях исходные компоненты по характеристикам твердости

были близки друг к другу и значения твердости для чистых компонентов не превышали 1.5 ГПа. Однако твердость пленок ВЭС, нанесенных в среде Ar, для любого высокоэнтропийного сплава превышала 4.0 ГПа.

При распылении ВЭС мишеней в среде Ar/N₂ рабочих газов твердость пленок увеличивалась. Для примера на рис.1 представлена зависимость микротвердости пленок AlCoCrFeNiN_y от концентрации азота в Ar/N₂ смеси газов. При увеличении Γ_{N_2} микротвердость пленок увеличивалась и достигала максимума 25,3 ГПа при содержании азота около 5,6 %). Для сравнения микротвердость исходной подложки из стали 12Х18Н10Т составляла 2,8 ГПа. При дальнейшем увеличении Γ_{N_2} микротвердость пленок снижалась до 16,1 ГПа при концентрации азота около 12,3 %.

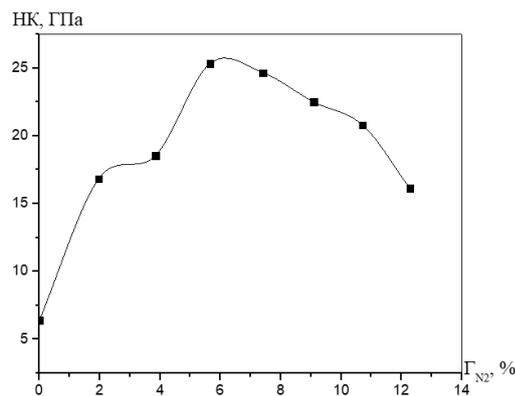
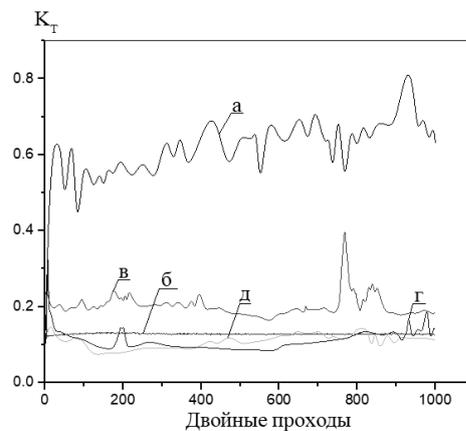


Рис. 1 – Зависимость микротвердости пленок AlCoCrFeNiN_y от концентрации азота в Ar/N₂ смеси газов

Установлено, что существовал оптимум концентрации азота в Ar/N₂ смеси газов, при которой микротвердость пленок нитридов ВЭС достигала максимума. Причем для разных мишеней максимум достигался при различных концентрациях азота, что, по-видимому, связано с различием скоростей нитритизации входящих в состав мишени элементов. Например, при распылении мишени состава CoCrFeNi при $\Gamma_{N_2} = 16\%$ получены пленки с максимальной микротвердостью до 35 ГПа.

Проведены исследования триботехнических характеристик пленок в условиях сухого трения. На рис.2 приводится зависимость коэффициента трения от количества двойных проходов для пленок AlCoCrFeNiN_y, нанесенных при различной концентрации азота в Ar/N₂ смеси газов.



а – 0 %; б – 2 %; в – 5,7 %; г – 7,4 %; д – 12,3 %

Рис. 2 – Зависимость коэффициента трения от пути трения для пленок AlCoCrFeNiN_y, нанесенных при различной концентрации азота в Ar/N₂ смеси газов

Полученная зависимость показывает, что пленки, нанесенные в атмосфере Ar, имели сравнительно высокий коэффициент трения $K_T = 0,7$ (рис.2, кривая *a*). Объемный износ таких пленок составлял $2,38 \times 10^{-6}$ мм³ за двойной проход. При повышении концентрации азота до 12,3 % коэффициент трения снижался до $0,1 - 0,18$ (рис.2, кривые *b - d*). При этом объемный износ пленок также резко снижался до $10^{-7} - 8,97 \times 10^{-8}$ мм³ за двойной проход. Анализ зависимостей коэффициента трения от пути трения показал, что после начальной приработки пленки имели практически постоянный K_T на всех участках износа, что свидетельствовало об отсутствии слоистой структуры покрытий. При дальнейшем увеличении концентрации азота коэффициент начинал увеличиваться и превышал 1,0 после 50 – 150 циклов трения. Данное поведение связано с разрушением пленки, имеющей большие внутренние напряжения.

На основе полученных результатов установлено, что метод импульсного реактивного магнетронного распыления является эффективным способом для формирования износостойких покрытий нитридов ВЭС. Метод обеспечивает гомогенное перемешивание и формирование однородных по толщине и по площади подложки пленок. Механические и трибологические характеристики пленок нитридов ВЭС имеют сильную зависимость от концентрации азота в Ar/N₂ рабочих газов и скорости нанесения.

Благодарность.

Исследования выполнены в рамках совместных научных проектов № T22КИТГ-023 (2022YFE0123400) и № T22КИТГ-027 (2022YFE0122900) при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Министерства науки и технологии Китайской Народной Республики.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНОГО ВИДА АНТИПИРЕНОВ НА ГОРЮЧЕСТЬ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Е.Л. Антонова

УО «Белорусский торгово-экономический университет потребительной кооперации», Гомель, Беларусь;
viramaina3@yandex.by

Введение

В настоящее время антипирены особенно широко применяются в технологическом процессе, что указывает не только на высокий спрос, но и на имеющееся наличие устойчивого научного прогресса в плане изучения и развития не только существующих антипиренов и огнезащитных составов, но в производстве новых составов, обеспечивающих высокий уровень огнезащиты в обработанных поверхностях и материалах. Горение полимеров является достаточно сложным физико-химическим процессом. Следовательно, наиболее значимой и актуальной проблемой является повышение огнестойкости полимерных материалов [1].

Цель

Был проведен эксперимент, целью которого стало изучение влияния общедоступных и недорогих антипиренов на горючесть и физико-механические свойства полимеров, в частности полипропилена. Были изготовлены образцы из полипропилена (ПП) с добавлением антипиренов, методом горячего прессования для изготовления плит ДПК [2].

Материалы и методы

Гранулы полипропилена были измельчены при помощи жидкого азота в ножевой

мельнице. Предварительно взвешивали и смешивали полипропилен с антипиренами. Затем состав засыпали в формы 150x35 мм. Температура прессы устанавливалась по датчику от 190 до 230 °С, данная температура выбрана исходя из анализа данных технологических регламентов производства. Плотность варьировалась от 15 до 50 ед. (0.7-2.2 МПа), время выдержки составляло 3-5 минут.

Результаты и их обсуждение

Первоначально был разработан состав содержания компонентов, масс. %.

Таблица 1. Составы композиций на основе полипропилена с добавлением антипиренов

Образец №	Содержание компонентов, масс, %					
	ПП	Al (OH) ₃	Mg (OH) ₂	C ₃ H ₆ N ₆	2ZnO·3B ₂ O ₃ ·3,5H ₂ O	(NH ₄ PO ₃) _n
1	75	15			10	
2	60	30			10	
3	50	45			5	
4	40	60				
5	75		15		10	
6	60		30		10	
7	50		45		5	
8	40		60			
9	60			30	10	
10	60			30		10
11	60			40		

Использовали такие антипирены как:

- гидроксид алюминия (ГОСТ 11841);
- гидроксид магния (ГОСТ 34444);
- борат цинка (ТУ 11307-015-91);
- меламин (ГОСТ 7579);
- полифосфат аммония (ГОСТ 12.1.007) [3].

Выводы

После проведенных физико-механических испытаний образцов можно сделать следующий вывод, что наиболее прочными и огнеустойчивыми являются образцы, в состав которых входил меламин. Так же сделаны выводы: прочность образца ухудшается при большом количестве добавки в смеси; необходимо скорректировать процентное соотношение компонентов; для каждого состава необходим определенный режим прессования (давление, температура плавления и время). Среднее время прессования 3-5 минут, оптимальная температура плавления 190-210°С. Сделан вывод, что наличие в смеси двух или более веществ, препятствующих образованию огня, способствует достижению значительно большего эффекта, нежели которые наблюдаются при использовании таких же веществ по отдельности.

Список использованных источников

1. Макнил, И.К. (1978), Полимерная наука, *Химическое издание*, 1978, № 16, С. 95
2. Халтуринский, Н.А., Берлин, А.А., Попова, Т.В. (1984), Горение полимеров и механизмы действия антипиренов, *Успехи химии*, 1984, № 2, С. 53.
3. ГОСТ 28157 (2018), Пластмассы. Методы определения стойкости к горению, Москва, Межгосударственный стандарт, 7 с.

ПРИМЕНЕНИЕ КОЛЛОИДНЫХ СУСПЕНЗИЙ С ДИЛАТАНТНЫМИ СВОЙСТВАМИ В БАЛЛИСТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЕ

В.В. Апишев

ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси», Минск, Беларусь; valik.apishev@gmail.com

Введение

В настоящее время всё чаще используется композиционная защита как в бронежилетах, так и в боевой технике на основе баллистических тканей, позволяющими добиться существенного уменьшения веса переносимой защитной структуры и лучшей маневренности перемещения. Баллистические ткани, пропитанные коллоидными суспензиями, обладают хорошей гибкостью и изменяют свои баллистические свойства благодаря моментальному загустеванию (затвердеванию) при увеличении скорости сдвига, что позволит уменьшить количество слоёв материала и уменьшить вес переносимой защитной структуры [1, 2]. Исследование открытых источников на эту тему позволит лучше понять механизм взаимодействия поражающего элемента с композитом и создаст основу для дальнейшего развития и внедрения в производство таких структур.

Цель.

Изучить влияние дилатантных суспензий на баллистические свойства композиционных материалов.

Материалы, методы и результаты.

Коллоидные суспензии с дилатантными свойствами представляют собой взвесь твёрдых частиц размером от 1 до 1000 нм, например, крахмала, двуокиси алюминия, карбида бора, карбоната кальция, наноалмазов, кремнезёма в жидкости, например, вода, полиэтиленгликоль (ПЭГ), пропиленгликоль, эпоксидная смола, пропанол-1, полипропиленгликоль, поливинилацетат, этиленгликоль, полиметилсилоксан [3, 4, 5, 6].

Как утверждается в обзорной статье [7] по данной тематике, во многих работах, где проводились баллистические испытания пропитанных дилатантной жидкостью тканей, очень часто используют кремнезём с массовой долей частиц от 0...70 мас. % с полиэтиленгликолем 200 г / моль, однако при более высокой молекулярной массе увеличивается и вязкость суспензии. Акцент делается на концентрации частиц 20...50 мас. %. Так, в работе [8], исследовалось влияние концентрации SiO₂ в ПЭГ в пропорциях 10, 20, 30, 40 %. Значительно увеличивается баллистический предел и поглощение энергии 3 и 6 слоёв джутовой ткани при 20 и 30 мас. % SiO₂, что значительно превосходит сухую джутовую ткань.

В работе [9] проанализировали влияние метода пропитки на баллистические свойства пропитанных кевларовых тканей, используя концентрацию 40 мас. %. Авторы выполнили пропитку двумя методами. В первом случае ткань пропитывается суспензией путем погружения и выпаривания этанола при температуре 80 °С. Во втором методе используется так называемый метод набивки, при котором ткань пропускается через ролики, пропитанные загущающейся жидкостью. Ткань, пропитанная методом набивки с использованием четырех слоев кевларовой ткани, продемонстрировала более высокие баллистические характеристики, связанные с наименьшей глубиной проникновения (55 %), что было ниже, чем у четырехслойного чистого кевлара, а также более высокое поглощение энергии (на 16 % выше, чем у четырехслойного чистого кевлара).

Авторы исследования [10] оценивали баллистические характеристики тканей из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), пропитанных суспензией 40 мас. % SiO₂/ ПЭГ 400, варьируя количество слоёв от 5 до 30. Баллистические испытания проводились с использованием снаряда Al массой 4 г и длиной 20 мм со скоростью от 250 до 700 м/с. По сравнению с непропитанной тканью, ткани из СВМПЭ, пропитанные

суспензией, демонстрируют более высокое поглощение энергии при любых условиях скорости снаряда, а также более высокие значения с увеличением количества слоев и скорости удара. Авторы объясняют это увеличением трения между слоями ткани, что повышает прочность против снаряда в процессе перфорации, в дополнение к увеличению времени взаимодействия в процессе проникновения между слоями. Это имело место для пропитанных и непропитанных образцов с 20 и 30 слоями ткани, при скоростях удара более 500 м / с. Противоположный эффект наблюдался с самым тонким образцом из пяти слоев, который оказался неэффективным при скорости удара выше 450 м / с.

В работе [11] авторы исследовали баллистические характеристики однослойных непропитанных кевларовых тканей и пропитанных 70 мас. % SiO_2 /ПЭГ 200. Баллистические испытания проводились с использованием сферических снарядов диаметром 8 мм со средней скоростью 144 м/с.

Авторы получили зависимость между остаточной скоростью и различными скоростями падения для сухого и пропитанного кевлара. Пропитанная ткань показала более высокий баллистический предел, около 10 %. Также наблюдения показали рассеивание энергии пропитанного образца выше, чем сухого кевлара. Таким образом, авторы указали, что пропитка суспензией кевлара в более высоких концентрациях, выгодно с точки зрения баллистических характеристик при скоростях ниже 200 м/с.

Обсуждение.

Из работ можно отметить, что частицы кремнезема, смешанные с ПЭГ 200, в значительной степени использовались в арамидных тканях и давали приемлемые результаты. Есть также работы [12] в которых используются различные материалы, такие как B_4C и оксид графена, которые были применены для улучшения характеристик загущения при сдвиге, обеспечиваемых SiO_2 / ПЭГ, где достигнуты еще более высокие эксплуатационные характеристики. Такое же улучшение было обнаружено в тех работах, в которых был выбран СВМПЭ, который практически не анализировался как часть системы баллистических панелей, пропитанных загущающейся жидкостью.

Исходя из анализа открытых источников, желательной тенденцией будущих научных исследований является использование различных комбинаций материалов для получения композита с применением дилатантных суспензий. Полученные на данный момент результаты подтверждают потенциальную возможность применения таких суспензий, для повышения баллистической прочности тканей, что является простым и экономичным решением для производства мягкой брони.

Список использованных источников.

1. Кобылкин, И. Ф. *Материалы и структуры лёгкой бронезащиты: учебник* / И.Ф. Кобылкин, В.В. Селиванов. – М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 191 с.
2. The numerical simulation of the mechanical failure behavior of shear thickening fluid/fiber composites: A review / X. Zhang [et al.] // *Polymers for Advanced Technologies*. – 2022 (33), 20–33.
3. Wagner, N. J. Protective fabrics utilizing shear thickening fluids (STFs) / N. J. Wagner, E. D. Wetzel // *The 4-th Conference of Safety and Protective Favrics. USA*. – 2004.
4. Плиско, Т. В. Структура и свойства дисперсий диоксида кремния в полиэтиленгликоле-400 / Т. В. Плиско, А. В. Бильдюкевич, В. М. Зеленковский // *Доклады Национальной академии наук Беларуси: май-июнь*. – 2015 (59), № 3, 51–55.
5. Effect of SiO_2 particle size and length of poly(propylene glycol) chain on rheological properties of shear thickening fluids / A. Antosik [et al.] // *Arch. Metall. Mater.* – 2016 (61), № 3, 1165–1168.
6. Игнатова, А. В. Обработка поверхности арамидной ткани для управления поглощением энергии удара в слоистых композитах / А. В. Игнатова, С.Б. Сапожников, В. М. Зеленковский // *Композиты и наноструктуры*. – 2015 (7), № 4, 231-240.
7. Fabric Impregnation with Shear Thickening Fluid for Ballistic Armor Polymer Composites: An Updated Overview / M.R. Pereira [et al.] // *Polymers*. – 2022 (20), № 14. P. 1–32.
8. An experimental study on ballistic impact response of jute reinforced polyethylene glycol and nano silica based shear thickening fluid composite / V. Mahesh [et al.] // *Defence Technology*. – 2022 (18), № 3, 401-409.

9. High-velocity impact performance of shear-thickening fluid/kevlar composites made by the padding process / S. Yeh [et al.] // Polym. Compose. – 2019 (40), № 8, 3040-3049.
10. Ballistic impact performance of UHMWP fabric impregnated with shear thickening fluid nanocomposite / V.D. Mishra [et al.] // Compos. Struct. – 2022 (281).
11. Intralayer interfacial sliding effect on the anti-impact performance of STF/Kevlar composite fabric / J. Zhang [et al.] // Compos. Part A Appl. Sci. Manuf. – 2021 (145).
12. Ballistic impact performance of multi-phase STF-impregnated Kevlar fabrics in aero-engine containment / L. Liu [et al.] // Thin-Walled Struct. – 2020 (157).

РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ПОРИСТОГО АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ МЕТОДОМ ТЕМПЛАТНОГО СИНТЕЗА

А.А. Бондарук^{1*}, А.А. Роткович¹, С.А. Герман^{1,2}, Д.И. Тишкевич¹, А.Н. Котельникова¹,
А.В. Труханов¹

¹ГО «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению»,
Минск, Беларусь, bondaruk625@gmail.com

²УО «Белорусский национальный технический университет», Минск, Беларусь

Цель

Получение и исследование микроструктуры композиционного материала на основе пористого анодного оксида алюминия (ПАОА) и гексаферрита бария, полученного методом темплатного синтеза в матрицах на основе наноструктурированного ПАОА.

Материалы и методы

Экспериментальные образцы формировались из алюминиевой фольги (99,99 %) толщиной 100 мкм и имели геометрические размеры 75×50 мм². Подготовку поверхности подложек осуществляли методом химической отмытки в $\text{CrO}_3 : \text{H}_2\text{SO}_4$ (1 : 100) в течение 5 мин, затем травления в 10 % растворе NaOH при $T = 40$ °С с продолжительностью 3 мин, далее проводилась химическая полировка в растворе $\text{H}_3\text{PO}_4 : \text{HNO}_3$ при $T = 80$ °С в течение 1,5 мин. Пленки ПАОА получали методом двухстадийного анодирования в электролите на основе 4 % $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ при напряжении 60 В, после чего стравливали алюминий в растворе $\text{HCl}:\text{CuCl}_2:\text{H}_2\text{O}$ и травили барьерный слой 15 мин в 5 % H_3PO_4 [1].

При изготовлении гексаферрита бария методом золь-гель в качестве катионных источников использовались нитраты металлов, а в качестве мономеров для формирования полимерной матрицы - лимонная кислота и этиленгликоль. $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ и лимонную кислоту растворяли в дистиллированной воде в соответствии с мольным соотношением 1:12:26. Затем получали чистый раствор и перемешивали его на водяной бане 3 часа при 100°С, чтобы вызвать этерификацию [2].

В качестве темплатного способа внедрения гексаферрита бария в поры использовалось два метода: центрифугирование и воздействие ультразвуком. При центрифугировании образец помещался в центр центрифуги, затем сверху наносилось с помощью дозатора несколько капель приготовленного раствора и запускался при 1500 об/мин. Образцы, которые были погружены в ультразвуковую ванну, помещались в чашку Петри, где находилось количество 15 мл золь-гель раствора. Образцы находились под действием ультразвука на протяжении 10 мин. После того, как матрицы были получены, поверхность подвергалась механической обработке для удаления кристаллов гексаферрита бария с поверхности, далее отправлялись на отжиг в муфельную печь на 4 часа при 800 °С.

Микроструктура и морфологические свойства массивов нанопроволок $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ были охарактеризованы несколькими методами: исследование морфологии матриц с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с использованием Carl Zeiss

EVO10 и количественный анализ состава с использованием приставки Oxford Instrumets для энергодисперсионной спектроскопии.

Результаты и обсуждение

На рис. 3 представлены СЭМ изображения матриц нанопористого анодного оксида алюминия с пористой стороны и стороны барьерного слоя, которые выступали в качестве темплата для формирования гексаферрита бария методами центрифугирования (рис. 3 а, в) и ультразвука (рис. 3 б, г). На вставках рис. 3 а и б видно, что на поверхности центрифугированного образца присутствует лишь некоторая часть гексаферрита бария, в отличие от результатов энергодисперсионного анализа изображения рис. 3б, где отмечено, что пленка $BaFe_{12}O_{19}$ покрывает всю поверхность мембраны из-за чего поры практически незаметны. Результаты СЭМ со стороны барьерного слоя (рис. 3 в, г) центрифугированного образца показали, что большее количество нанопроволок из гексаферрита бария встроено в каналы пор шаблонов. Длина и диаметр нанопроволок соответствуют размеру пор шаблонов. На изображении барьерного слоя образца (рис. 3 г), обработанного ультразвуком, присутствует лишь некоторая часть кристаллов магнитного материала.

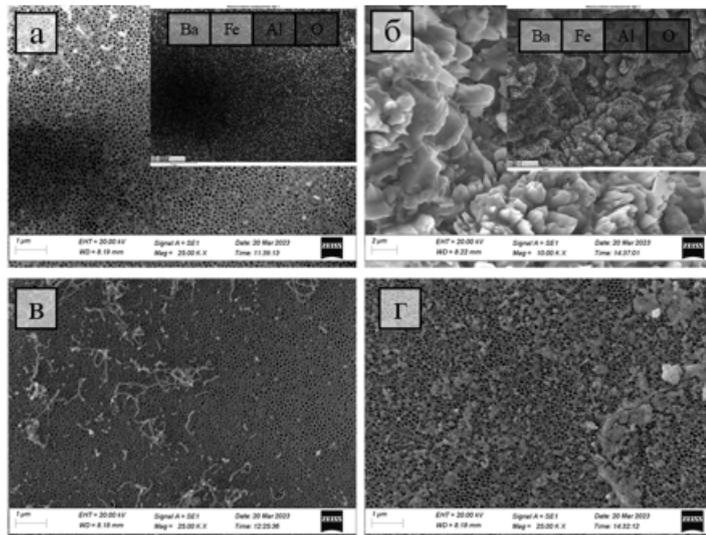


Рис. 1. СЭМ-изображения мембран со стороны пористого (а, б) и барьерного (в, г) слоя анодного оксида алюминия, заполненных $BaFe_{12}O_{19}$ после центрифугирования (а, в) и погружения в ультразвуковую ванну (б, г).

Выводы

Метод золь–гель-синтеза и темплатного получения наноматериалов были использованы для нового способа получения наночастиц $BaFe_{12}O_{19}$ в матрицах на основе пористого анодного оксида алюминия. Результаты исследования микроструктуры композитного материала ПАОА- $BaFe_{12}O_{19}$ показали, что поры однородны и высокоупорядочены, размер которых составляет 80-90 нм, что позволяет получать магнитные нанопроволоки и пленки на основе гексаферрита бария, которые потенциально могут быть использованы для создания высокоплотной магнитной памяти одноэлектронных устройств, биосенсоров и нанoeлектродов.

Ссылки на использованные источники

1. Pullar, R. C. Novel aqueous sol–gel preparation and characterization of barium M ferrite, $BaFe_{12}O_{19}$ fibres / R. C. Pullar, M. D. Taylor, A. K. Bhattacharya // Journal of Materials Science. – 1997. – № 32. – P. 349–352.
2. Liu, W. The effect of the vacuum extraction and the Fe/Ba ratio on the phase formation of barium ferrite thin film synthesized by sol–gel method / W. Liu, J.-M. Wu // Materials Chemistry and Physics. – 2001. – № 69. – P. 148–153.

ФИЛЬТРУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ПОЛИДИСПЕРСНЫХ ПРОДУКТОВ ПРОЦЕССА ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

Д.В. Брель, В.Ю. Шумская

ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого Национальной академии наук Беларуси», Гомель, Беларусь; brel.dmitriy@mail.ru

Введение.

Качественная подготовка сжатого воздуха – основа длительной безаварийной работы пневмосистем. В технологических процессах компрессорного оборудования загрязнителями являются твердые частицы, а также вода и компрессорное масло [1].

Для эффективного отделения жидких аэрозолей необходима разработка комбинированных систем, включающих коалесцентный слой с гидрофобным фильтрующим материалом, обеспечивающим высокую скорость стекания уловленной жидкости. Известны различные способы формирования гидрофобных покрытий на поверхности ВПМ, которые требуют высоких энергозатрат [2-3]. Представляет интерес получение гидрофобного фильтрующего материала (ГФМ) из полидисперсных частиц политетрафторэтилена (ПТФЭ), образующихся после изготовления волокнисто-пористого материала «Грифтекс» методом лазерной абляции [4].

Цель работы

Разработать технологические принципы получения гидрофобного фильтрующего материала (ГФМ) из полидисперсных продуктов ПТФЭ, оценить морфологию, гидрофобные и фильтрационные характеристики.

Материалы и методы исследований.

В качестве материала для нанесения пористого слоя использовали полидисперсные (0,6 – 400 мкм) продукты газодинамической вытяжки расплава политетрафторэтилена ПТФЭ, измельченные до однородной массы. В качестве подложки использовали сетчатую ткань из полиэтилентерефталата (ПЭТФ). Роль связующего выполнял мелкодисперсный (5-20 мкм) полиэтилен (ПЭ), предварительно нанесенный и приплавленный к поверхности подложки.

Для оценки степени гидрофобности определяли краевой угол смачивания (КУС) с использованием капель дистиллированной воды, глицерина и 1-бромнафталина, а также уровень удерживаемого водяного столба по ГОСТ 51553-99. Капиллярные свойства изучали по методу непрерывного измерения массы жидкости, капиллярно поднятой образцом [5].

Фильтрационные характеристики оценивали на лабораторном стенде [6] (ИММС НАН Беларуси). В качестве аэрозоля использовали смесь воды и диоктилтерефтолата (ДОТФ). Исследовали комбинации различных материалов: ВПМ на основе полипропилена (ПП) марки МБ, ГФМ, в качестве дренажного слоя использовали ВПМ из ПП марки ФВП.

Морфологию поверхности, изучали на растровом электронном микроскопе (РЭМ) «VEGA II LSH» («Tescan Instruments Analytical», Чехия).

Результаты и их обсуждение.

Анализ морфологии поверхности исследуемого покрытия свидетельствует о высокой степени развитости поверхности, равномерности и практически полном перекрытии ячейки ПЭТФ-подложки (рисунок 1). Установлено, что частицы ПТФЭ закрепляются в расплаве ПЭ.

При изучении капиллярных свойств обнаружено, что на исходном материале подложки наблюдается существенный капиллярный подъем, в то время как на образцах с нанесенным расплавом ПЭ+ПТФЭ имеется незначительный подъем жидкости или вовсе отсутствует.

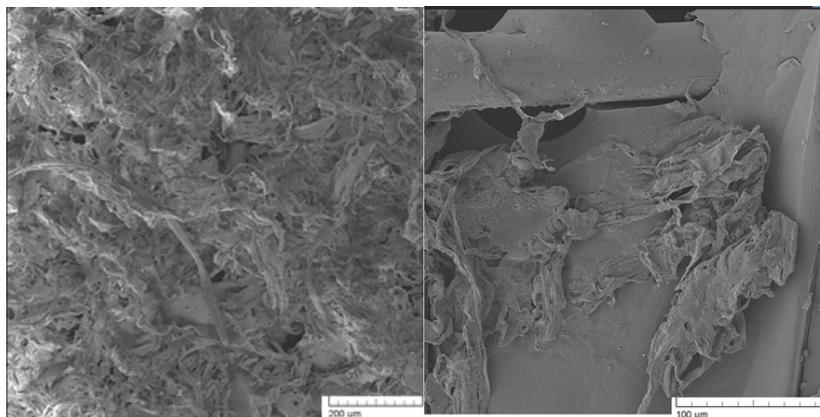


Рис. 1. Морфология ГФМ

Анализ значений ККУС показал, что материал обладает достаточно высокими отталкивающими свойствами по отношению ко всем трем тестовым жидкостям ($130,1^0$ для капель воды, $120,5^0$ для глицерина, $122,7^0$ для 1-бромнафталина). Испытания уровня водяного столба показали, что разработанный материал способен выдерживать высоту водяного столба до 160 мм. в.ст.

Оценка фильтровальных характеристик показала, что разработанная волокнисто-пористая система (ВПС) (ГФМ+МБ+ФВП) имеет эффективность фильтрации 93,4 % в диапазоне размеров частиц 5...10 мкм и 99,4 % при размерах частиц >10 мкм, в то время как ВПС без использования ГФМ имеет эффективность по аналогичным диапазонам измеряемых частиц в 84,3 % и 97,1 % соответственно.

Работа выполнена по ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии», подпрограмма «8.4 Многофункциональные и композиционные материалы», задание № 4.2.2, НИР 3.

Вывод.

В ходе исследований установлено, что разработанный ГФМ, представляющий собой ПЭТФ-сетку с покрытием из ПЭ+ПТФЭ, обладает гидрофобными свойствами, а также при комбинировании с МБ, является достаточно эффективным фильтровальным слоем.

Список использованных источников

1. Пневмопривод бурового и нефтедобывающего оборудования : учеб. пособие / Д.И. Шишлянников [и др.]. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2020. – 111 с.
2. Перепелкин, К.Е. Химические волокна: развитие производства, методы получения, перспективы : монография / К.Е. Перепелкин. . – Спб.: РИО : СПГУТД, 2008. – 354 с.
3. Ершов, И.П. Модификация синтетических волокон и нитей. Обзор / И.П. Ершов, Е.А. Сергеева, Л.А. Зенитова, И.Ш. Абдуллин // Вестник Казанского технологического университета. - 2012. - Т. 15, № 18. - С. 136-143.
4. Гракович П.Н. Иванов Л.Ф., Калинин Л.А., Рябченко И.Л., Толстопятов Е.М., Красовский А.М. Лазерная абляция политетрафторэтилена // Российский химический журнал. 2008. Т. 52, № 3. С. 97–105.
5. Способ определения капиллярности лент, тканей, нитей и нетканых материалов и устройство для его осуществления»: заявка ВУ а2024110 / В.А. Стратанович, Л.Ф. Иванов, П.Н. Гракович – 15.05.2024.
6. Шумская, В.Ю. Повышение эффективности волокнисто-пористых многослойных полимерных фильтроматериалов для газотранспортного оборудования: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.16.09. / В.Ю. Шумская. – М., – 2023. – 166 л.

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПОЛНИТЕЛЯ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИЭФИРЭФИРКЕТОНА

А.С. Брундуков, И.С. Шилько

ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси, Гомель, Беларусь; alexeybrundukov@gmail.com

Цель

Изучение влияния концентрации наполнителя на теплофизические свойства полиэфирэфиркетона, полученного методом холодного прессования и спеченного в свободном состоянии.

Введение

Полиэфирэфиркетон (ПЭЭК) является современным конструкционным термопластом, обладающим высокими эксплуатационными характеристиками, благодаря чему находит широкое применение на предприятиях нефтехимической и газоперерабатывающей отрасли [1].

В поршневом компрессорном оборудовании из ПЭЭК изготавливают детали газовых клапанов, условия эксплуатации которых являются экстремальными. Это связано с тем, что детали, изготовленные из композитов на его основе способны эксплуатироваться в присутствии химически активных сред при температурах выше 200 °С [2] и ударном многоцикловом нагружении, в то время как другие конструкционные термопласты работают на пределе своих эксплуатационных характеристик.

Для улучшения физико-механических характеристик в ПЭЭК добавляют различные армирующие наполнители, такие как углеволокна и стекловолокна (СВ). Введение наполнителей в полимерную матрицу сопровождается изменением процессов структурообразования, что влияет на конечные свойства получаемых композитов. В связи с этим актуальным является изучение зависимости теплофизических характеристик от концентрации наполнителя.

Материалы и методы исследования

Образцы из стеклонаполненного ПЭЭК получали методом холодного прессования с последующей термической обработкой. Исходным сырьём являлся порошок ПЭЭК «PrimeTec® 10PF» (Velox, Германия) со средним размером частиц 75 мкм. В качестве армирующего наполнителя применяли неапретированное СВ диаметром 14 мкм и длиной 50 мкм.

Степень кристалличности и температуры фазовых переходов определяли методом дифференциальной сканирующей калориметрией (ДСК) на приборе DIAMOND DSC, «PerkinElmer» (США) при помощи пакета программного обеспечения «NETZSCH Proteus-80». Для расчёта степени кристалличности χ_c композитов от значений, определенных программным методом, отнимали процент наполнения.

Плотность образцов определяли методом гидростатического взвешивания по ГОСТ 15139–69 на аналитических весах GX-1000 с погрешностью $d=0,001$ грамма.

Результаты и обсуждение.

Для определения степени кристалличности значение энтальпия плавления полностью кристаллического ПЭЭК $\Delta H_m^{100\%}$ принимали 130 Дж/г [3]. На рис.1 представлены кривые ДСК анализа ненаполненного ПЭЭК и стеклонаполненных композитов на его основе:

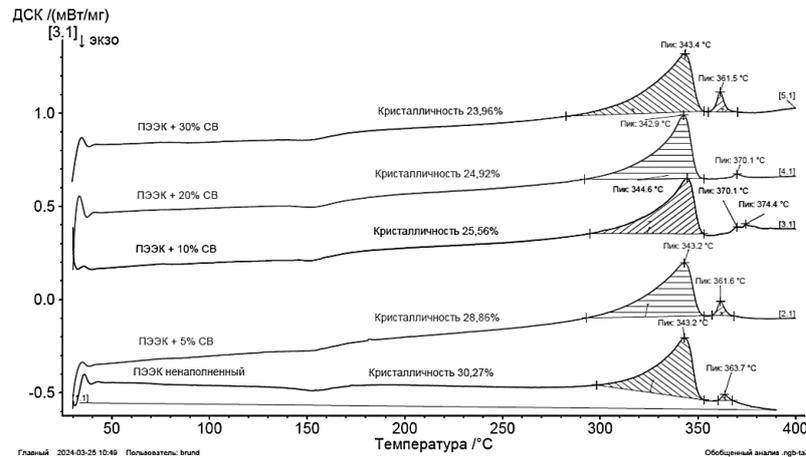


Рис. 1. Кривые ДСК анализа ПЭЭК и стекланополненных композитов на его основе

Кривые имеют схожий вид и характерную для ПЭЭК картину двойного пика плавления [4]. В табл.1 представлены основные теплофизические характеристики ПЭЭК и его стекланополненных композитов.

Таблица 1. Теплофизические характеристики ПЭЭК и стекланополненных композитов на его основе

Материал	Температура плавления $T_{пл1}$, °C	Температура второго пика плавления $T_{пл2}$, °C	Степень кристалличности χ_c , %	Плотность ρ , г/см ³
Незаполненный ПЭЭК	343,2	363,7	30,27	1,29
ПЭЭК +5 мас.% СВ	343,2	361,6	28,86	1,33
ПЭЭК +10 мас.% СВ	344,6	370,1...374,4	25,56	1,37
ПЭЭК +20 мас.% СВ	342,9	370,1	24,92	1,43
ПЭЭК +30 мас.% СВ	343,4	361,5	23,96	1,53

Выводы

Установлено, что для ПЭЭК, полученного методом холодного прессования с последующим свободным спеканием, сохраняется раздвоение пика плавления, при этом положение первого остается практически без изменений. На положение второго пика концентрация СВ оказывает влияние, а именно при наполнении 10...20 мас. % наблюдается наибольший его сдвиг в область больших температур.

С увеличением концентрации СВ степень кристалличности снижается с 30 % для незаполненного ПЭЭК, до 24 % для наполненного 30 мас. %. При этом плотность композитов возрастает и достигает 1,53 г / см³ при максимальной концентрации СВ, что соответствует уровню импортных материалов и свидетельствует об отсутствии пор.

Ссылки на использованные источники

1. WANG P. Effects of FDM-3D printing parameters on mechanical properties and microstructure of CF/PEEK and GF/PEEK / WANG P., ZOU B., DING S., LI L., HUANG C. // Chinese Journal of Aeronautics – 2021. – vol. 34 – no. 9 –pp.236–246.
2. Lamorinière S. Carbon nanotube enhanced carbon Fibre-Poly(ether ether ketone) interfaces in model hierarchical composites / Lamorinière S., Jones M.P., Ho K., Kalinka G., Shaffer M.S.P., Bismarck A. // Composites Science and Technology – 2022. – vol. 221 – P.109327.
3. Doumeng M. A comparative study of the crystallinity of polyetheretherketone by using density, DSC, XRD, and Raman spectroscopy techniques / Doumeng M., Makhlof L., Berthet F., Marsan O., Delbé K., Denape J., Chabert F. // Polymer Testing – 2021. – no. 93 – P.106878.
4. Bas C. Crystallization and melting behaviors of poly(aryletheretherketone) (PEEK) on origin of double melting peaks / Bas C., Battesti P., Albérola N.D. // Journal of Applied Polymer Science – 1994. – vol. 53 – no.13 – pp.1745–1757.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИОЗОНЫ СЛАБОУСНОВНОГО АНИОНИТА АН-31 В РАВНОВЕСИИ С ТРЕХКОМПОНЕНТНЫМИ ПИТАТЕЛЬНЫМИ РАСТВОРАМИ «NO₃⁻ - SO₄²⁻ - H₂PO₄⁻»

Н.В. Вонсович^{1,2}, Е.Г. Косандрович¹, Л.Н. Шаченкова¹, А.П. Езубец¹

¹ГНУ «Институт физико-органической химии НАН Беларуси», Минск, Беларусь;
natasha_ya_vonsovich@tut.by

²Университет НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Введение

Перспективным подходом в развитии высокотехнологичного растениеводства является ионитопоника – технология, при которой питательные вещества подаются растениям из специального субстрата посредством ионного обмена.

Ионообменные субстраты представляют собой смеси ионитов, содержащих все питательные вещества, необходимые для роста растений, в высокой концентрации и безвредной форме. Искусственные почвы БИОНА, разработанные в Институте физико-органической химии НАН Беларуси, были испытаны и дали отличные результаты при выращивании более 150 видов различных растений. Субстраты позволяют стабилизировать минеральное питание растений в течение длительного времени, исключить необходимость периодических удобрительных подкормок, улучшить качество выращиваемых растений, их внешний вид и ускорить рост [1].

Для разработки и эффективного использования ионитных субстратов необходимы знания ионообменных свойств полимеров, входящих в их состав [2]. Ионит, как компонент искусственной почвы, должен иметь такой ионный состав, при контакте с которым слабоминерализованных поливных растворов за счет ионообменных процессов образуется изначально заданный при получении питательный раствор для выращивания растений. Составы известных питательных растворов удобно представлять на треугольных диаграммах в виде области, которая получила название биозона. Каждой точке биозоны питательных растворов соответствует точка биозоны ионита. Знание последних используется при производстве искусственных почв для задания полимеру необходимого ионного состава [3].

Экспериментальное определение биозоны слабоосновного анионита АН-31 (ПАО «Уралхимпласт», РФ) являлось целью работы.

Материалы и методы

Анионит АН-31, полученный поликонденсацией эпихлоргидрина и полиэтилен-полиамиона в присутствии аммиака, обладает гелевой структурой с функциональными вторичными и третичными алифатическими аминогруппами.

Для выяснения границ биозоны анионита были выбраны 9 точек на границе и 1 точка в центре биозоны растворов (рис., заштрихованная область). Исследуемый полимер в динамических условиях насыщался питательными растворами №№ 1–10 (суммарная концентрация анионов 20 мэкв/л, рН = 6,5) до установления равновесия с ними. После центрифугирования полученных образцов в течение 15 мин при 4000 об/мин из ионита вытесняли сорбированные анионы раствором 0,4 н (NH)₄CO₃. Аликвоту элюата выпаривали на водяной бане до сухого остатка, который растворяли в дистиллированной воде. В полученных растворах определяли ионный состав методом капиллярного электрофореза на системе «Капель-104Т» и пересчитывали на анионный состав фазы ионита.

Все анализы проводились в содержащих остатки фосфорной кислоты растворах. В связи с тем, что ионный состав последних изменяется в зависимости от рН, для получения сопоставимых результатов было принято решение пересчитывать фосфор, вытесненный из

матрицы анионита, на преимущественно поглощаемую растениями форму иона H_2PO_4^- .

Результаты и их обсуждение

Полученные результаты в виде эквивалентных долей были нанесены на диаграмму составов (рис., точки 1*–10*). На рисунке видно, что положение биозоны ионита не совпадает с положением биозоны питательных растворов и смещено в область низкого содержания NO_3^- . При выбранных экспериментальных условиях насыщенная реализованная емкость АН-31 не превышала 5,5 мэкв/г при пересчете на Н/ОН-форму ионита, что составляет 57 % от полной ионообменной емкости ионита. Максимальное содержание нитратов – наиболее потребляемых растениями ионов – составило 1–1,2 мэкв/г.

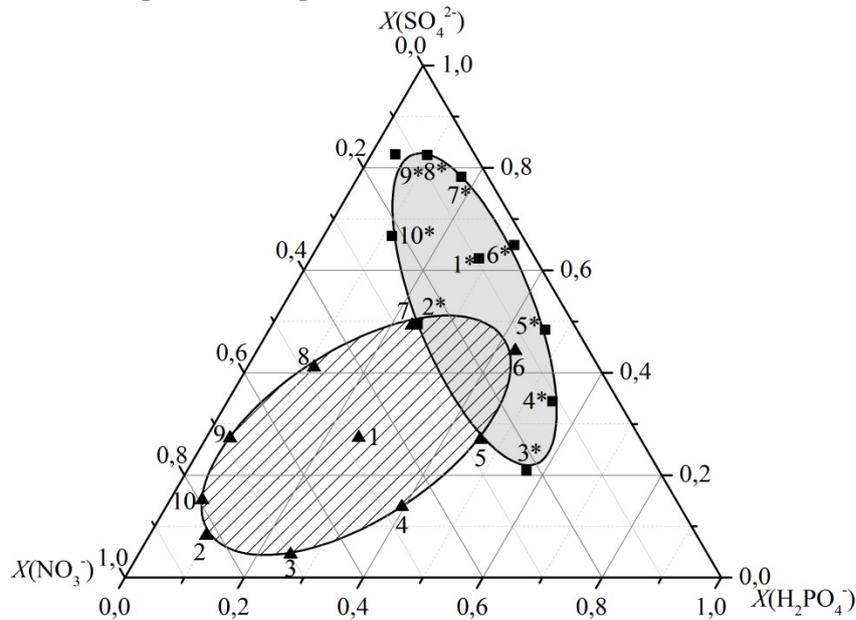


Рис.1. Диаграмма ионных составов питательных растворов по анионам (заштрихованная область) и равновесного им анионита АН-31 (серая область)

Выводы

Для анионита АН-31 в многокомпонентных растворах, содержащих биоанионы (SO_4^{2-} , H_2PO_4^- , NO_3^-), наблюдается высокая селективность по сульфат- и дигидрофосфат-ионам. Количество сорбированного ключевого элемента для роста растений – азота – достаточно высокое, что свидетельствует о перспективности исследованного анионита в качестве компонента искусственных почв.

На основе полученных результатов было приготовлено несколько новых питательных субстратов для растений с заменой анионообменного компонента на ионит АН-31. В биологическом эксперименте по выращиванию тест-растения – салат листовой (*Lactuca sativa L.*) сорта Афицион – лучшие результаты показал субстрат, соответствующий равновесному составу точки 10* на рисунке 1. Его производительность не уступала контрольному субстрату БИОНА-111®.

1. Красинская Т. А., Кухарчик Н. В. Основные характеристики субстратов, применяемых в сельском хозяйстве // Плодоводство. – 2011 (23), 402–419.
2. Матусевич В. В., Хирсанова И. Ф., Лукашевич Л. И., Солдатов В. С. Влияние кислотности и концентрации питательного раствора на биозоны ионитных субстратов // Докл. акад. наук Беларуси. – 1997 (41), № 2, 64–67.
3. Солдатов В. С., Перышкина Н. Г., Хорошко Р. П. Ионитные почвы. – Минск : Наука и техника. – 1978.

БИОЦИДНЫЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ТЕРПЕНОИДНОМАЛЕИНОВЫХ АДДУКТОВ

Е.И. Гапанькова, И.А. Латышевич

ГНУ «Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси», Минск, Беларусь;
elenagapankova@gmail.com

Проблема повреждения материалов микроорганизмами (биоповреждение) в современном мире актуальна для различных отраслей промышленности. Биоповреждение приводит к снижению экономической ценности товаров и, как следствие, происходит уменьшение сроков эксплуатации изделий, что напрямую зависит от свойств, состояния и особенностей использования данного материала, агрессивности микроорганизмов и продолжительности их воздействия, а также условий взаимодействия в системе материал – микроорганизм.

Для борьбы с различными типами бактерий, грибами и другими микроорганизмами используют универсальные реагенты – биоциды, основным составляющим которых являются соединения, способные подавлять жизнеспособность микроорганизмов или препятствовать их размножению, чтобы не допустить деградацию свойств как внутри материала, так и на его поверхности.

В современных реалиях на мировом рынке остро востребованы биоциды нового поколения – препараты, относящиеся к «зеленой» науке, создание которых является актуальной задачей современности.

Смоляные кислоты и терпеновые углеводороды обладают ценными биоцидными свойствами, для повышения эффективности которых нами проведено химическое модифицирование их аминами различных классов: алифатическими, ароматическими, гетероароматическими [1].

Целью данного исследования являлось изучение влияния химических модификаторов (амины различных классов) терпеноидномалеиновых аддуктов на их биоцидные свойства.

Синтез модифицированных терпеноидномалеиновых аддуктов осуществляли в две стадии. На стадии 1 получали терпеноидномалеиновые аддукты, содержащие смоляные кислоты и терпеновые углеводороды в соотношении от 30 : 70 до 70 : 30 мас. %. Скипидарные растворы терпентина обрабатывали 2,5-фурандионом при температуре 190 ± 5 °С в течение 8–9 ч. В результате реакции Дильса-Альдера из основных компонентов получали аддукт α -терпинена и малеопимаровую кислоту. На стадии 2 в реакционную массу вводили расчетное количество амина и вели синтез при температуре 180 ± 5 °С в течение 3 ч.

Состав полученных биоцидных добавок контролировали методом ИК-спектроскопии. ИК-спектры получали на ИК-Фурье спектрометре «Protégé 460» фирмы «Nicolet» (США) со спектральным разрешением 4 см^{-1} , исследуя образцы биоцидов в виде таблеток, спрессованных с мелкодисперсным КВг.

В ИК-спектрах терпеноидномалеиновых аддуктов, обработанных аминами исчезают полосы поглощения С=О связи свободных карбоксильных групп кислот ($1735, 1708 \text{ см}^{-1}$) и появляются полосы С=О связи амидных групп ($1633, 1524 \text{ см}^{-1}$). Широкая полоса в области 3354 см^{-1} обусловлена растяжением колебаний системы N–H, присутствующей в амидной группе.

На основе синтезированных образцов приготовлены пропиточные составы для защиты древесины. Содержание фунгицидных добавок варьировали от 20 до 30 мас. %. В качестве пленкообразующего компонента использовали полимерную добавку, а в качестве растворителя – бензол. Биозащитные свойства составов по отношению к плесневым и деревоокрашивающим грибам испытывали в соответствии с ГОСТ 30028.42006 «Средства защитные для древесины, экспресс-метод оценки эффективности против деревоокрашивающих и плесневых грибов». Грибостойкость пропитанных образцов

древесины по отношению к дереворазрушающим грибам оценивали по ГОСТ 16712–95 «Средства защитные для древесины. Метод испытания токсичности». Критерием оценки биостойкости служила средняя потеря массы образцов после воздействия домового гриба.

Впервые доказано, что химические модификаторы (амины различных классов) позволяют значительно повысить биоцидную активность терпеноидномалеиновых аддуктов – канифолетерпеномалеиновых состава 30/70 – 70/30.

1. Латышевич И.А., Гапанькова Е.И., Козлов Н.Г., Глевицкая Т.А. Биоцидные добавки (обзор) // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2024 (95), вып. 69, 59–68.

ВЛИЯНИЕ ТИПА ПРЕПРЕГА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЛЫЖ

Е.И. Гапанькова, И.А. Латышевич

ГНУ «Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси», Минск, Беларусь;
elenagapankova@gmail.com

Цель и объекты

Целью работы являлось сравнение эксплуатационных характеристик спортивно-беговых пластиковых лыж, изготовленных с применением различных типов препрегов, разработанных в ИФОХ НАН БЕЛАРУСИ. В качестве объектов выступали пластиковые лыжи, препрег-лента, препрег-флис и двуслойный однонаправленный лабораторный опытный образец препрега (схожий по конструкции с препрегом производства ООО «Соболь» (РФ)).

Материалы и методы

Для приготовления эпоксидного связующего использовали следующее сырьё: смола эпокси-диановая марки ЭД-20 (ГОСТ 10587-84), терпеноидный отвердитель («Лабораторно-технологический регламент на производство отвердителя эпоксидной композиции для изготовления препрега ЛТР-233-2019», $T_p = 62,5^\circ\text{C}$, $KЧ = 278,1 \text{ мг КОН / г}$), смола с карбоксильными группами – сополимер винилхлорида, винилацетата и дикарбоновой кислоты (техническая информация, $\eta = 35\text{--}55 \text{ мПа}\cdot\text{с}$), ацетон (ГОСТ 2768-84), этиловый эфир уксусной кислоты (ГОСТ 22300-76), ускоритель отверждения эпоксидных смол УП-606/2 (ТУ У 6-00209817.035-96).

Для производства препрегов в качестве армирующих наполнителей применяли директ-рвинги ЕС 16 1200 52С и строительный стеклохолст (40 г/м^2).

Контроль эксплуатационных показателей пластиковых лыж включает в себя определение основных показателей согласно известным ГОСТ и «Методы контроля качества технологических параметров лабораторных образцов препрегов М-281-2022»: масса; стрела прогиба; положение центра тяжести; жесткость средней части и прочность при изгибе; остаточный прогиб; жесткость передней и задней частей; усталость при циклическом нагружении.

Результаты и их обсуждение

Изготовленные пластиковые лыжи прошли полную обработку: торцовка, фрезерование, циклевка, нарезание желоба, шлифование с нанесением структуры, без фотоотверждаемого покрытия. Лыжи имеют правильную форму.

В качестве лыж сравнения изготовлены пластиковые лыжи с применением препрега ООО «Соболь» (РФ) (№№ 550 и 553) и отечественных препрегов (препрег-лента и препрег-флис) производства ОАО «Полоцк-Стекловолокно» (РБ) (№№ 551, 552, 555 и 556).

Результаты проведенных измерений и испытаний приведены в сводной таблице.

Завышенные значения показателя «Стрела прогиба» чаще всего обусловлены особенностями геометрии и износом пресс-форм. Для иных случаев, имеющих отклонение от нормативного значения, данный показатель зависит от качества и количества армирующих слоев препрега, используемых при склеивании лыжной заготовки. Зная конструктивные особенности формирования лыжного пакета, данный показатель может быть скорректирован до нормативного значения.

На «Остаточный прогиб» и «Индекс жесткости FA» оказывают влияние применяемые стальные пластины, уложенные на среднюю часть профилированных плит пресса, которые формируют весовой прогиб. На верхнем этаже пресса расположена более толстая пластина, что позволило получить более высокие значения показателя «Индекс жесткости FA».

Таблица 1. Результаты измерений и испытаний

№ лыж	Применяемые препреги	Масса лыжи, г	Стрела прогиба, мм.	Положение центра тяжести, мм	Жесткость средней части, Н / мм	Индекс жесткости FA, Н	Остаточный прогиб, мм	Разрушающая нагрузка, Н	Жесткость		
									задней части, Н / мм	передней части, Н / мм	
525	препрег-лента/препрег-флис	682	29,4	851	154	285	0,38	2607	2,02	2,18	
526		692	29,4	854	178	459	1,09	2751	2,18	2,20	
527		662	27,9	851	157	331	0,64	2483	2,39	1,99	
528		655	30,5	854	152	370	0,83	2214	2,20	2,32	
529		647	29,8	853	151	398	0,99	2410	1,88	2,13	
530		645	27,9	863	145	309	0,54	2064	2,07	2,11	
531		640	33,9	844	148	433	1,13	2058	2,04	2,30	
532		643	27,5	862	140	328	0,25	2192	2,56	2,20	
533		659	30,2	856	150	296	0,44	2283	2,07	2,10	
534		655	31,7	858	147	404	0,99	2507	2,26	2,44	
535		652	31,0	862	139	352	0,72	1944	2,01	2,39	
536		655	29,0	865	139	297	0,47	2007	1,97	2,50	
537		628	31,6	861	136	313	0,65	2085	1,95	2,30	
538		672	32,5	855	163	441	1,11	2766	1,92	2,33	
539		662	34,9	856	163	445	1,04	2467	2,03	2,33	
540		679	26,0	850	172	376	0,74	2957	2,30	2,27	
541		двуслойный однонаправленный препрег	685	27,0	842	147	389	0,84	1918	2,40	2,13
542			693	31,2	851	150	377	0,77	2085	2,43	2,40
543	693		26,8	854	164	287	1,30	2489	2,07	2,33	
544	719		25,5	843	180	417	0,92	2048	2,50	2,43	
545	678		26,8	847	152	447	1,16	2081	1,97	2,27	
546	707		32,6	855	154	439	1,11	2207	2,17	2,47	
547	693		30,8	852	169	508	1,40	2143	2,10	2,43	
548	705		24,1	841	159	470	1,18	2109	2,30	2,47	
549	653		28,7	847	144	346	0,70	1926	2,23	2,03	
550	659		27,2	855	143	415	0,99	1879	2,23	2,40	
551	630		29,7	863	139	354	0,67	1865	2,20	2,33	
552	688		28,2	862	152	389	0,92	2104	2,17	2,47	
553	679		28,5	861	147	356	0,75	1925	2,07	2,67	
554	655		26,8	862	127	388	0,93	1808	1,80	2,27	
555	646		31,3	865	119	354	0,74	1979	1,70	1,93	
556	681		26,9	865	142	378	0,84	1990	1,97	2,70	
НОРМА			не более 30			не менее 300	0,6–1,7	2060	1,66–2,66	1,33–2,0	

Лыжи, изготовленных с применением двуслойного однонаправленного препрега и препрега производства РФ имели более низкие значение показателя «Разрушающая нагрузка». Зоны разрушения (зоны с повышенными деформациями) хорошо проявлялись,

благодаря побелению соответствующих участков декоративного слоя на основе термопластичного полимера, что позволило установить характер разрушения. Значения разрушающей нагрузки средней части лыж напрямую зависят от расположения шиповых соединений древесной части среднего клина.

Жесткость задней и передней частей лыж завышена для большинства экспериментальных лыж, что является следствием применяемой технологии сборки лыжного пакета.

Заключение

Таким образом, применение в конструкции лыжи двуслойного однонаправленного препрега либо связки препрег-лента – препрег-флис не оказывает влияния на эксплуатационные характеристики получаемых изделий. Применение двуслойного однонаправленного препрега позволяет увеличить производительность за счет изменения принципа сборки лыжного пакета (полное оборачивание).

ЭКЗОТЕРМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМЫ Fe-Ni, МОДИФИЦИРОВАННЫХ Cu

Ю.А. Зизико, В.А. Манкевич

ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси», Минск, Беларусь; egorova.y_a@mail.ru

Одним из наиболее активно развивающихся методов получения наноматериалов является синтез материалов методом горения растворов. Метод заключается в горении реакционных сред, созданных растворением исходно твердофазных химических компонентов в жидких средах. С помощью этого метода получают широкий круг материалов: наноразмерные оксиды, от простых бинарных составов до комплексных легированных фаз, чистые металлы и сплавы с различными физическими и химическими свойствами [1-4].

Цель

Получение порошковых материалов системы Fe-Ni, модифицированных Cu, в режиме экзотермического синтеза.

Материалы и методы

В качестве исходных компонентов использовались следующие соединения: нитрат никеля (II) – $Ni(NO_3)_2$, нитрат железа (III) – $Fe(NO_3)_3$, глицин – $C_2H_5NO_2$. В качестве инертного газа использовался азот.

Синтез проводился тремя различными способами: термический нагрев на воздухе (ТН-Ох), термический нагрев в инертной атмосфере (ТН- N_2), с использованием микроволнового излучения (MW-Ох).

Результаты и их обсуждение

Результаты рентгенофазового анализа порошков, синтезированных в системе Fe-Ni при модифицировании Cu, в количестве 10 масс.%, соотношением восстановителя к окислителю равным 2,5 % и способами инициирования реакции представлены на рис. 1.

Из дифрактограмм, приведенных на рис. 1, следует, что при использовании глицина в качестве восстановителя в условиях термического нагрева на воздухе (ТН-Ох) образуются оксиды железа и металлы. При термическом нагреве в инертной атмосфере (ТН- N_2) наблюдается формирование металлов с кубической кристаллической решеткой. Использование микроволнового излучения (MW-Ох) приводит к образованию аморфного материала.

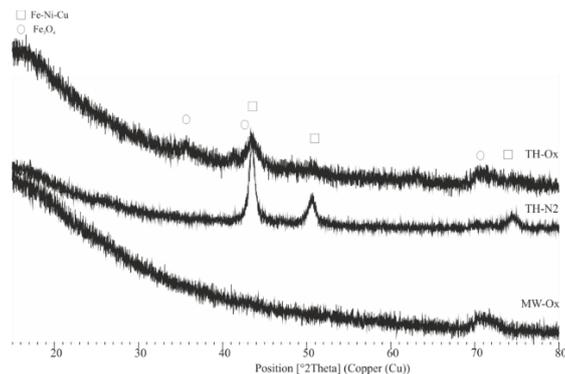
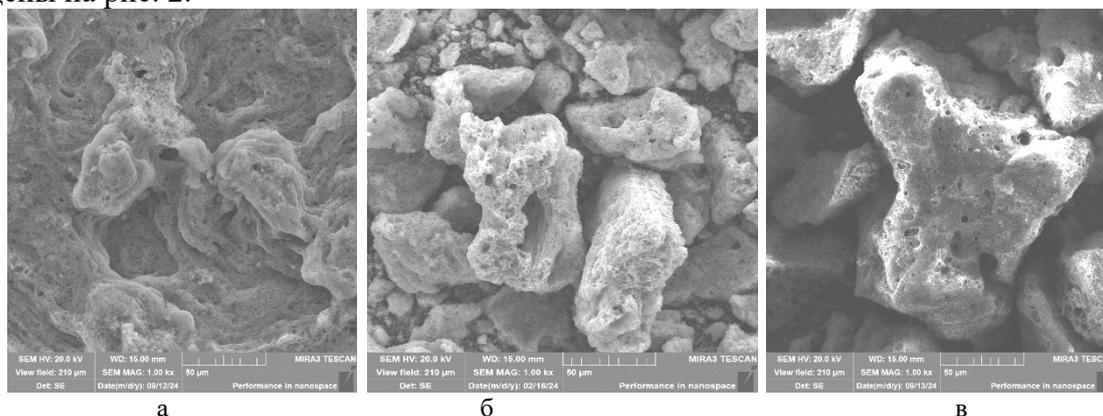


Рис. 1. Дифрактограммы порошков, модифицированных Cu

Таким образом, наиболее оптимальным способом иницирования реакции синтеза металлических порошков является инертная атмосфера. При других способах иницирования реакции в результате синтеза наблюдается формирование аморфной фазы или большая примесь оксидов железа.

Структуры материалов порошков, синтезированных различными способами, приведены на рис. 2.



а

б

в

а – TH-Ox, б – TH-N₂, в – MW-Ox

Рис. 2 Структура материалов порошков, модифицированных Cu

Как следует из рис. 2, синтезированные порошки имеют высокоразвитую пористую «пенноподобную» структуру при любом способе иницирования реакции.

Из проведенных исследований, установлено, что фазовый состав материалов на основе системы Fe-Ni, модифицированных Cu, представлен металлом с кубической кристаллической решеткой. Во всех случаях иницирования реакции синтеза наблюдается формирование высокопористой структуры материалов.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № T23M-071).

Ссылки на использованные источники

1. Huczko, A. Self-propagating high-temperature synthesis (SHS) of crystalline nanomaterials / A. Huczko [et al.] // Journal of Crystal Growth. – 2014. – V. 401. – P. 469–473.
2. Aruna, S.T. Combustion synthesis and nanomaterials / S.T. Aruna, A.S. Mukasyan // Current Opinion in Solid State and Materials Science. – 2008. – V. 12. – P. 44–50.
3. Podbolotov, K. B. Effect of Synthesis Conditions on the Phase Composition and Structure of Nickel-Based Microspheres Prepared by Exothermic Synthesis from a Glycine-Nitrate Solution / K. B. Podbolotov [et al.] // Inorganic Materials. – 2020. – V.56, № 5. – P. 473–481.
4. Khort, Alexander One-Step Solution Combustion Synthesis of Cobalt Nanopowder in Air Atmosphere: The Fuel Effect / Alexander Khort [et al.] // Inorganic Chemistry. – 2018. – V.57, №3. – P.1464-1473.

РОЛЬ НАНОГЛИНЫ В ФОРМИРОВАНИИ СТРУКТУРЫ СМЕСЕЙ ПОЛИАМИДА И МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

М. А. Карпенко¹, Ю.М. Кривогуз², А. Н. Скороходов¹, А. А. Даниленко¹

¹УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»,
Гомель, Республика Беларусь

²ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси»,
Гомель, Республика Беларусь; yurikriv@tut.by

Введение. В последнее десятилетие ассортимент термопластичных композитов технического назначения, изготавливаемых из смесей промышленно важных полимеров, значительно расширился. Смешение двух и более термопластов стало эффективным способом получения новых материалов, обладающих требуемыми свойствами [1]. Для Республики Беларусь, располагающей собственными достаточно крупными производствами полиамида 6 (ПА6) и полиолефинов (ПО), особое значения представляют смесевые композиции ПА6 с ПО. Смесей ПА6/ПО обладают улучшенной технологичностью, повышенной морозостойкостью и ударпрочностью. Эффект действия ПО при совмещении с ПА6 значительно усиливается благодаря функционализации ПО путем прививки к их макромолекулам активных функциональных групп. Постоянно возрастающие требования со стороны производителей и потребителей стимулируют поиск новых подходов и приемов по совершенствованию структуры и улучшению свойств смесей ПА6 с функционализированными ПО (ФПО).

Дополнительные возможности по улучшению свойств и созданию новых типов высокоэффективных материалов возникают при введении наночастиц в расплавы полимерных смесей. В нанокompозитах с многофазными полимерными матрицами могут быть существенно улучшены механические, термические, химические, барьерные, огнезащитные и другие свойства при обеспечении модификации и стабилизации морфологии смесей. В работе [2] показана эффективность применения нанонаполнителей, в частности, органо-модифицированных слоистых глинистых силикатов для модифицирования смесей ПА/ФПО. Однако роль наноглин в формировании структуры смесевых композитов изучена крайне слабо.

Цель работы – исследование влияния наноглины на особенности структуры смесей ПА/ФПО.

Материалы и методы исследований. В качестве полимерной матрицы для получения композитов использовали ПА6 (полиамид 6 для изделий, контактирующих с пищевыми продуктами, производства ОАО «Гродно Азот», ТУ РБ 500048054.037-2002). Для создания композита на основе ПА6 применяли ФПО производства ИММС НАН Беларуси (ТУ ВУ 400084698.170-2008), а также Na⁺-монтмориллонит марки Cloisite 30B (Cl30B) производства Southern Clay Products Inc., США.

Нанокompозиты на основе ПА6, ФПО и Cl30B получали методом компаундирования в двухшнекового экструдера TSSK-35/40 с однонаправленным вращением шнеков. Перед компаундированием гранулят ПА6 предварительно высушивали до остаточной влажности не более 0,1%. Органоглину сушили в вакууме непосредственно перед компаундированием при температуре 110°C в течение 2 ч во избежание сорбции воды из воздуха. Температура материального цилиндра экструдера в ходе процесса компаундирования в основных смесительных секциях составляла 250°C.

Рентгеноструктурный анализ (РСА) органо-глин и ПА6 композитов осуществляли на дифрактометре RDA-2000 (фирма «GNR Analytic Instruments», Италия) в интервале углов $2\theta = 2-10^\circ$ (для анализа структуры органо-глин) и $10-30^\circ$ (для анализа структуры ПА6 и ФПО) при использовании $\text{CuK}\alpha$ -излучения ($\lambda=0,154$ нм); шаг сканирования $0,05^\circ$; время на

точку 0,5 с; напряжение 40 кВ; ток 30 мА.

Результаты и их обсуждение. Методом рентгеноструктурного анализа изучено влияние добавок органоглины Cloisite 30В (С130В) к смесям полиамида 6 (ПА6) с функционализированным полиолефином (ФПО) на кристаллическую структуру конечных нанокомпозитов.

В результате проведенных исследований было установлено, что при введении ФПО в ПА6 на рентгенограммах фиксируется два четких узких пика при $2\theta = 21,4^\circ$ и $2\theta = 23,8^\circ$. Интенсивности обоих пиков при $2\theta = 21,4^\circ$ и $23,8^\circ$ сильно зависят от фазового состава смесей ПА6/ФПО и от наличия органоглины в их объеме. Следует отметить, что во всех композитах (содержание ФПО ≤ 30 мас.%), в которых присутствует органоглина ПА6 образует дисперсную среду, величины пиков при $2\theta = 21,4^\circ$ и $23,8^\circ$ выше, чем для исходных ПА6/ФПО смесей. Видимо, добавка С130В повышает кристалличность как полиамидной, так и полиолефиновой фазы в смесях данного состава.

Таким образом, рентгеноструктурный анализ подтверждает тот факт, что структура ПА6/ФПО композиций зависит от присутствия в их составе наноглины С130В.

1. Utracki, L. A. History of Commercial Polymer Alloys and Blends (From Perspective of the Patent Literature) / L. A. Utracki // Polym. Eng. Sci. – 1995. – Vol. 35, N 2. – P. 352–417.
2. Chow, W. S. Polyamide blend-based nanocomposites: A review / W. S. Chow, Z. A. Mohd Ishak // eXPRESS Polymer Letters. – Т. 9, № 3. – 2015. – P. 211–232.

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА МОРФОЛОГИЮ СТЕКЛОНАПОЛНЕННЫХ КОМПОЗИТОВ НА БАЗЕ ПОЛИПРОПИЛЕНА

Ф.А. Карчевский¹, Ю.М. Кривогуз², Г.К. Корнеевец¹

¹УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»,
Гомель, Республика Беларусь

²ГНУ учреждение «Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси»,
Гомель, Республика Беларусь; yurikriv@tut.by

Введение. Полипропилен (ПП) – один из самых крупнотоннажных полимеров в мире. По объему производства он уступает только полиэтилену [1-3]. Выгодная совокупность свойств – высокие износостойкость, механическая прочность, теплостойкость в сочетании с химической стойкостью — делает его ценным конструкционным материалом для изготовления различных деталей и изделий, который широко применяются в станкостроении, автотракторной технике и других сферах машиностроительной отрасли. Наполнение ПП стекловолокном позволяет создавать различные композиционные материалы на его основе, благодаря чему значительно расширяются области использования данного полимера. При введении стекловолокна (СВ) в ПП повышаются механическая прочность ПП, деформационная теплостойкость, снижается усадка, улучшается технологичность при переработке и т.д.

Одной из трудностей при реализации технологии ПП/СВ композитов является обеспечение смачивания расплавом ПП поверхности СВ и интенсификация межфазной адгезии [1-3]. Для решения этой задачи в состав ПП/СВ композитов вводят модифицирующие добавки. Как правило, в качестве подобных модифицирующих добавок применяется специально функционализированный полипропилен (ФПП), который в своей структуре содержит адгезионно-активные группы и обладает повышенной текучестью расплава [4]. Однако в настоящее время вопросы влияния модифицирующих добавок на структуру, и в частности, на морфологию

стеклонаполненных ПП композитов изучены достаточно слабо, что затрудняет целенаправленный подбор модификаторов данного типа и препятствует созданию армированных композитов с улучшенными характеристиками.

Цель работы – анализ морфологии ПП/СВ композитов и исследование влияния на ее модифицирующих добавок.

Материалы и методы исследований. В работе использовали ПП (марка Бален 01030, производства ОАО «Уфаоргсинтез», ТУ 2211-074-05766563-2005 с изм.1-3). В качестве модифицирующей добавки использовали функционализированный полипропилен (ФПП), который соответствовал требованиям ТУ РБ 400084698.072-2003 и был получен по технологии реакционной экструзии, разработанной в ИММС НАН Беларуси.

В качестве СВ использовали аппретированный алюмоборосиликатный стеклорвинг марки ЕС13-2400Т-54С с диаметром моноволокон 13 мкм, («Полоцк-Стекловолокно», Беларусь). Композиты ПП с СВ и ФПП получали на экструдере «ТSSK-35/40» при температуре 240°C.

Морфологию стеклонаполненных композитов на базе ПП анализировали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на сколах образцов (брусочки для определения ударной вязкости), охлажденных в жидком азоте. Время охлаждения образцов составляло 30 мин. Исследования проводили на микроскопе «VEGA II LSH» с системой дисперсионного микроанализа INCA ENERGY 250 ADD, («Tescan»/«OXFORD Instruments Analytical», Чехия/Англия).

Результаты и их обсуждение. Проведен анализ морфологии стеклонаполненных композитов на базе ПП методом сканирующей электронной микроскопии на сколах образцов (брусочки) в жидком азоте, используемых для определения ударной вязкости.

В результате проведенного анализа было установлено, что при отсутствии добавки ФПП в рецептурном составе стеклонаполненных композитов на базе ПП поверхность СВ является гладкой без образования на ней видимых следов полимера и формирования граничных слоев. Это свидетельствует о слабом адгезионном взаимодействии между матричным полимером и поверхностью стекловолокна. Поэтому между полимерной матрицей и волокном не реализуется равномерное и полное распределение внешней нагрузки, вследствие чего достигаемые значения разрывной прочности, данного ПП композита весьма невысоки.

В случае введения добавок ФПП в состав стеклонаполненного ПП композита, на микрофотографиях сколов данных образцов отчетливо видны тяжи и вырывы матричного полимера, фрагменты которого остаются на поверхности стекловолокна и прочно с ним связаны. Наблюдаемая морфология свидетельствует о том, что применение добавки ФПП обеспечивает когезионное разрушение стеклонаполненного ПП по слоям полимера, прилегающим к поверхности СВ, что является следствием интенсификации межфазной адгезии и улучшения смачивания расплавом ПП поверхности СВ.

1. Karger-Kocsis J. Polypropylene. Dordrecht: Kluwer academic publishers, 1999. 968 p.
2. Уайт Дж., Чой Д. Полиэтилен, полипропилен и другие полиолефины / пер. с англ. под ред. Е.С. Цобкалло. СПб: Профессия, 2006. 256 с.
3. Иванюков Д. В., Фридман М. Л. Полипропилен. М.; Л.: Химия, 1974. 272 с.
4. Песецкий С. С., Макаренко О. А., Кривогуз Ю. М. Функционализация полипропилена прививкой полярных мономеров (обзор) // Материалы. Технологии. Инструменты. 2012. Т.17, № 2. С. 25–48.

ЭЛЕКТРЕТНОЕ СОСТОЯНИЕ В КОМПОЗИТАХ ПОЛИПРОПИЛЕН-ПОЛИФЕНИЛЕНСУЛЬФИД

М.А. Коваленко¹, В.Ю. Гарбарук², О.О. Мазур²

¹ГНУ «Институт механики металлополимерных систем НАН Беларуси», Гомель;

²ОДО «Научно-технический центр ЛАРТА», Гомель; v.garbaruk@outlook.com

³Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины, Гомель

Целью работы является исследование электретного эффекта в волокнисто-пористых материалах (ВПМ) и полимерных пленках из композитов на основе смесей полипропилена и полифениленсульфида.

В работе использованы полипропилен (ПП) марки 4445S ($T_{\text{пл}} = 160 \text{ }^{\circ}\text{C}$) и полифениленсульфид (ПФС) марки NHU-PPS производства ZHEJIANG NHU SPECIAL MATERIALS CO.LTD ($T_{\text{пл}} = 230 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Для получения смеси использовали полимеры в порошкообразном и гранулированном виде. Для наиболее равномерного смешения компонентов использовали метод двухшнековой экструзии (экструдер SuPlast 25/2). Экструдированный полимерный прут охлаждали и дробили, а гранулы использовали для изготовления плёнок методом горячего прессования и для получения ВПМ методом аэродинамической вытяжки волокон из расплава (melt blowing). Обработку образцов в коронном разряде проводили при напряженности электрического поля 5 кВ/см. Электретные свойства полимерных композитов оценивали двумя методами: по изменению эффективной поверхностной плотности заряда (ЭППЗ) и методом термоактивационной токовой спектроскопии по токам термостимулированной деполяризации (ТСД) [1]. Полярность и величину ЭППЗ определяли с помощью измерителя параметров электростатического поля ИПЭП-1.

ЭППЗ ($\sigma_{\text{эф}}$) – одна из основных характеристик электретов, которая характеризует как величину поверхностного заряда, так и величину распределённого в образце объёмного заряда. Ниже приведены диаграммы значений ЭППЗ в образцах ВПМ (рис. 1, а) и в пленочных образцах (рис. 1, б).

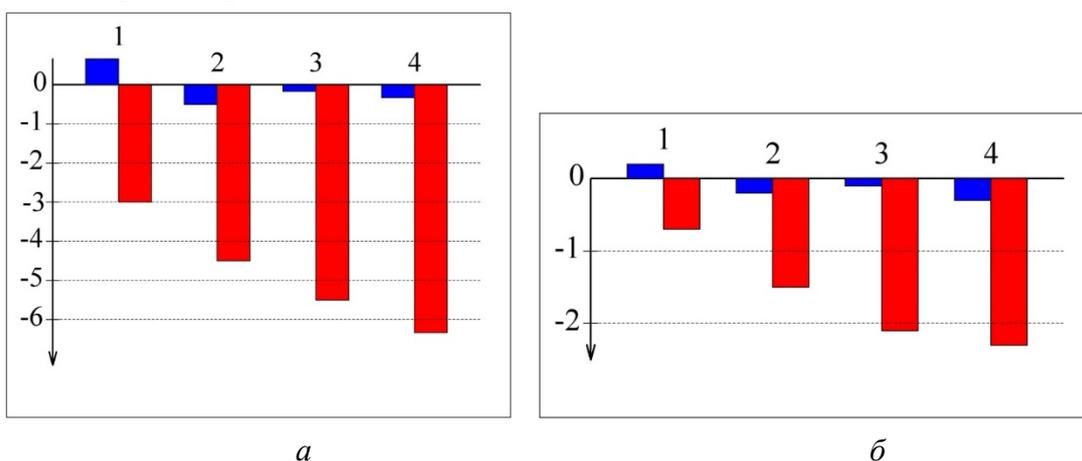


Рис. 1. Диаграммы значений ЭППЗ ($\mu\text{Кл}/\text{м}^2$) до (синие столбики) и после (красные столбики) поляризации образцов ВПМ (а) и пленок (б): номера 1, 2, 3 и 4 соответствуют содержанию ПФС в композиции ПП+ПФС, соответственно 0, 10, 20 и 35 масс. %

Установлено, что величина ЭППЗ образцов ВПМ до обработки в коронном разряде колеблется в диапазоне от $-0,2$ до $+0,7 \text{ мкКл}/\text{м}^2$ (рис. 1, а). Это — так называемый технологический заряд, который обусловлен механоактивацией полимерного материала при изготовлении образцов. После обработки в коронном разряде зафиксирован

существенный рост ЭППЗ, при этом с увеличением содержания ПФС в композиции от 10 до 35%, ЭППЗ растёт по абсолютной величине до 3,0 и 6,2 мкКл/м².

Величина технологического заряда плёночных образцов из композиции ПП+ПФС лежит в диапазоне от $-0,12$ до $-0,3$ мкКл/м² (рис. 1, б). Максимальное значение ЭППЗ после обработки в коронном разряде составляет $-2,3$ мкКл/м², что значительно меньше, чем у образцов из ПВМ.

Объяснить это различие можно следующим образом. Структура ПВМ содержит большое количество воздушных включений — пор (межволоконное пространство). Локальные электрические поля в этих порах могут значительно превышать напряженность внешнего электрического поля, достигая величины электрического пробоя воздуха. Это приводит к резкому увеличению числа носителей заряда, которые адсорбируются на волокнах, вызывая дополнительную поляризацию материала и рост ЭППЗ.

Для установления механизмов поляризации композиционных материалов проводили термостимулированную деполяризацию пленочных образцов. На рис. 2 представлены спектры токов ТСД образцов на основе ПП с различным содержанием ПФС. Более высокоамплитудная кривая соответствует неполяризованным образцам, нижняя — поляризованным. На всех спектрах, соответствующих неполяризованным образцам, наблюдаются два релаксационных максимума. Первый — в области 50–60 °С с интенсивностью около 1 пА. Второй — в области 160–170 °С с интенсивностью 1,2–1,5 пА. После поляризации образцов интенсивности максимумов существенно увеличиваются, кроме того, происходит их сдвиг в область высоких температур. Возможно, низкотемпературный максимум определяет процесс релаксации заряда, накопленного на границе раздела матрицы и наполнителя, которые характеризуются различными значениями ϵ . Второй максимум находится в области плавления ПП и соответствует высвобождению носителей заряда с низкоэнергетических ловушек.

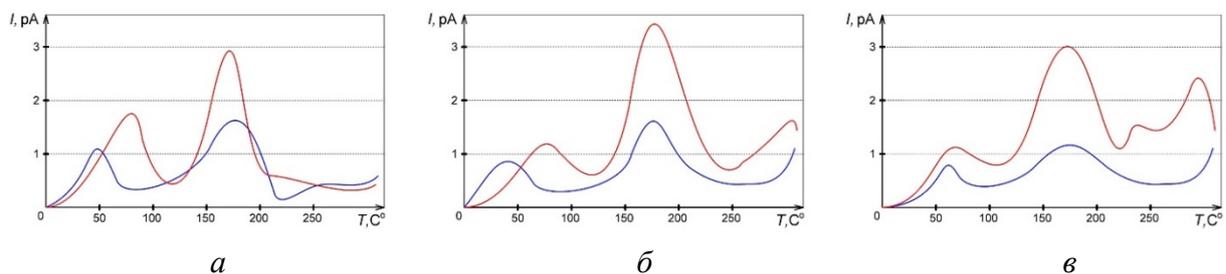


Рис. 2. Спектры токов ТСД образцов с содержанием ПФС 10% (а), 20% (б), 35% (в)

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что добавление полифениленсульфида в полипропилен приводит к изменению электретоного состояния композита. При этом эффективная поверхностная плотность заряда имеет отрицательный знак, что свидетельствует о преобладании гомозаряда в образцах полимерных композитов, поляризованных в коронном разряде [2]. Анализ спектров токов термостимулированной деполяризации позволяет судить о механизмах релаксации зарядов в композитах на основе смесей полипропилена и полифениленсульфида.

1. Гороховатский, Ю.А. Термоактивационная токовая спектроскопия высокоомных полупроводников и диэлектриков / Ю.А. Гороховатский. – М.: Наука, 1991. – 248 с.
2. Гольдаде В.А., Зотов С.В., Шаповалов В.М., Юдин В.Е. Электретный эффект в полимерных нанокompозитах (Обзор) / Полимерные материалы и технологии, 2019. – Т. 5, № 2. – С. 6-18.

Работа выполнена в рамках темы 4.2.2 (НИР 2) ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии», подпрограмма «Многофункциональные и композиционные материалы» на 2021–2025 гг.

ЭЛЕКТРЕТНЫЕ ПЛЕНКИ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА, ПОЛУЧЕННЫЕ ПО РАСТВОРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

М.А. Коваленко

ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси»,
Гомель, Беларусь, mpri@mpri.mail.ru

Введение

К электретам относятся диэлектрики, длительно сохраняющие поляризованное и / или заряженное состояние после снятия внешнего воздействия и создающие квазипостоянное электрическое поле в окружающем пространстве. Создаваемое электретом поле оказывает разнообразное влияние на многие физические и биологические процессы [1].

Исследования показали, что полилактид (PLA) обладает низкими электретными свойствами [2]. Поэтому с точки зрения применения PLA в качестве электретного материала перспективным является создание на его основе композитов, включающих электрически активные ультра- и нанодисперсные наполнители. Поскольку отличительной особенностью PLA является биологическая совместимость и биоразлагаемость [3], использование биосовместимых наполнителей даёт возможность получить многофункциональные электретные материалы с возможностью применения их в качестве упаковки пищевых продуктов, посуды, медицинских фильтров, имплантатов т.п.

Цель работы

Изучение закономерностей формирования электретного заряда в композитах PLA.

Материалы и методы исследования

Существует несколько методов получения пленочных материалов из полилактида. Основные из них – горячее прессование, экструзионный и растворный методы. Каждый из них обладает рядом достоинств и недостатков и применяется в зависимости от назначения полимерных пленок. В настоящей работе использован метод получения плёнок из раствора PLA марки 4043D в диоксане. В качестве наполнителя использовали наноглину – монтмориллонит (ММТ) с содержанием 5 % масс. В колбу заливали и доводили до кипения диоксан. После начала кипения растворителя засыпали заранее взвешенные количества дисперсного ММТ и заранее высушенного PLA в виде гранул. После полного растворения полилактида смесь при помощи мерного цилиндра разливали на стеклянные подложки. Аналогично изготавливали пленки из ненаполненного PLA. Сушку образцов проводили при температуре 60 °С до полного отверждения плёнок. После изготовления часть образцов обрабатывали в отрицательном коронном разряде при температуре 20 °С в течение 15 минут при напряженности поля 5 кВ/см. Электретные свойства образцов оценивали по эффективной поверхностной плотности заряда (ЭППЗ). Полярность и величину ЭППЗ определяли с помощью измерителя параметров электростатического поля ИПЭП-1 (МНИПИ, Минск, Беларусь).

Результаты и их обсуждение

Предварительная оценка образцов показала, что после высыхания пленки имеют толщину 100–130 мкм и сохраняют высокую эластичность, не свойственную образцам, полученным методом горячего прессования. При этом они обладают достаточно высокой механической прочностью, отсутствием хрупкости, хотя при полном удалении растворителя становятся жёсткими и хрупкими. Отмечено, что агломератов частиц ММТ при наполнении образцов 5 % масс. визуальнo и при увеличении $\times 1000$ не обнаружено. Однако по сравнению с образцами, полученными методом горячего прессования, для пленок, полученных по растворной технологии, характерна внутренняя пористость.

Одной из особенностей метода изготовления плёнок поливом из раствора является возможность системы «растворитель — наполнитель — полимер» длительно находиться в равновесном зарядовом состоянии. В связи с этим эффективная поверхностная плотность технологического заряда у подобных образцов должна стремиться к нулю. При этом из-за перестройки структуры PLA (перекристаллизации полимера) после растворения с последующей сушкой, а также из-за диспергирования ММТ при нагревании в жидкой среде в сформированном электретьном материале может образоваться большое количество незаполненных ловушек заряда. Это ведет к существенному росту заряда в образцах (рис. 1).

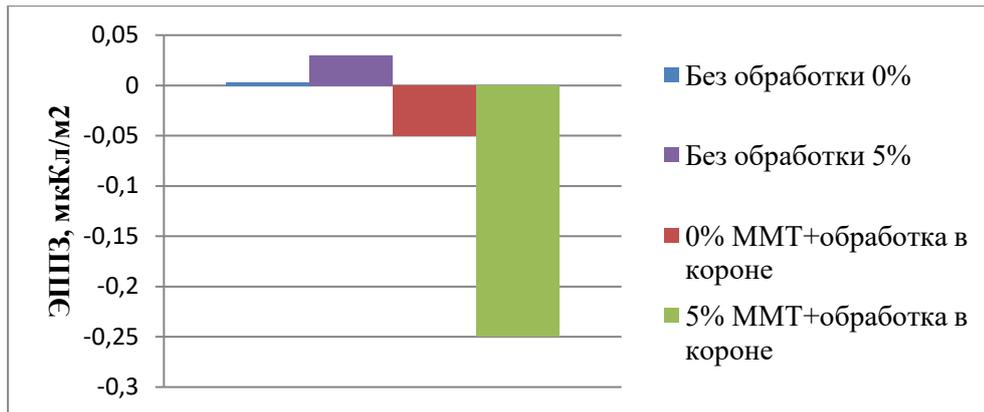


Рис. 1. Значения ЭППЗ образцов PLA (содержание ММТ 0 и 5 % масс.) до и после обработки в коронном разряде

Необработанные плёнки имеют низкий заряд поверхности, лежащий в пределах погрешности используемого прибора. После обработки в коронном разряде композиционные образцы приобретают значительный отрицательный заряд, что может свидетельствовать о формировании глубоких энергетических ловушек в образцах при их изготовлении. Обработанные в коронном разряде образцы, не наполненные ММТ, приобретают отрицательный заряд, что может свидетельствовать о наличии ловушек заряда в сформированной структуре полимера даже при отсутствии дисперсного наполнителя. Данное свойство не характерно для плёночных образцов PLA, полученных методом горячего прессования.

Заключение

Наличие ММТ в пленочных образцах PLA приводит к существенному росту приобретенного и накопленного электретьного заряда. Это, вероятно, обусловлено поляризацией Максвелла–Вагнера, реализующейся на границах раздела фаз в системе «связующее — наполнитель».

Работа выполнена в рамках темы 4.2.2 (НИР 2) ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии», подпрограмма «Многофункциональные и композиционные материалы» на 2021–2025 гг.

Ссылки на использованные источники

1. Губкин А. Н. Электреты. — М.: Наука. — 1978.
2. Коваленко М. А. Термостимулированные токи в нанокompозитах на основе полилактида / Актуальные вопросы физики и техники: XI Республиканская научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов, посвященная 100-летию со дня рождения академика Белого Владимира Алексеевича (Гомель, 21 апреля 2022 г.): сборник материалов: в 2 ч. / М-во образования Республики Беларусь, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. — Гомель, 2022, Ч. 1 — С. 64—66.
3. Макаревич А. В., Пинчук Л. С., Гольдаде В. А. Электрические поля и электроактивные материалы в биотехнологии и медицине. — Гомель: ИММС НАН Беларуси, 1998.

АНТИРАДИКАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА РАНЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ УГЛЕРОДНОЙ ТКАНИ

С.Н. Лемешонок¹, Л.Н. Филиппович¹, Ж.В. Игнатович¹, А.А. Сарымсаков², Х.Э. Юнусов², М.М. Мирхолисов², А.А. Рогачев¹

¹ ГНУ «Институт химии новых материалов НАН Беларуси», Минск, Беларусь; e-mail: ichnm-lpp@mail.ru

² ГНУ «Институт химии и физики полимеров Академии наук Республики Узбекистан», Ташкент, Узбекистан

В настоящее время существующие типы перевязочных материалов на основе целлюлозы, углерода, синтетических полимеров не обеспечивают требуемый комплекс свойств: высокие сорбционные свойства и паропроницаемость, механическая прочность, низкая адгезия к раневым поверхностям и антибактериальная активность. Углеродные материалы – перспективная основа для иммобилизации различных биологически-активных веществ. Последние исследования в биомедицине показывают важную роль окислительного стресса в патогенезе различных заболеваний. Нарушение системы антиоксидантной защиты организма приводит к накоплению активных форм кислорода радикальной и нерадикальной природы и создает серьезную нагрузку на организм [1]. Введение компонентов на основе полифенолов придают материалам антирадикальную способность, что значительно повышает лечебные свойства раневой повязки [2].

Материалы и методы.

При изготовлении перевязочных материалов использовали сорбент угольный тканевый марки АУТ-М (УМ) (плотность 195 м²/г) производства ОАО «СветлогорскХимволокно», Беларусь.

Для исследования свойств раневых материалов были приготовлены образцы углеродного материала (УМ), модифицированного 5 %-ми водными растворами хитозана пищевого (производства РФ) [УМ/хтз], содержащие следующие добавки (мас. %): экстракт тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.) (4) [УМ/хтз-тысячелистник]; экстракт ромашки аптечной (*Matricaria chamomilla*) (6,6 %) [УМ/хтз-ромашка].

Определение сорбционной емкости проводили в соответствии с ГОСТ Р 53498-2019, используя бычий сывороточный альбумин (БСА). Исследование морфологии покрытий проводили с использованием растрового электронного микроскопа JCM-6000PLUS Neoscope с ЭДС детектором (JEOL, Япония).

Оценку антирадикальной активности (АРА) проводили деколоризационным способом [3]: радикал-катионы АВТС•+ предварительно генерировали путем добавления к раствору АВТС с концентрацией 7 ммоль / л пероксидисульфата калия (концентрация 2.5 ммоль / л). Для достижения максимальной концентрации АВТС•+ раствор выдерживали в темноте 16 ч при комнатной температуре. Конечную концентрацию радикал-катионов АВТС•+ в рабочей смеси готовили разбавлением 0,9 % раствором хлорида натрия таким образом, чтобы поглощение на длине волны 734 нм составляло 0.7-0.8 единиц оптической плотности.

В кварцевую кювету вносили 3 мл раствора АВТС•+ и образец перевязочного материала массой 10 мг. Записывали кинетические кривые обесцвечивания АВТС•+ при $\lambda = 734$ нм.

Процент ингибирования АВТС•+ (доля, на которую снижается концентрация свободных радикалов в системе под действием исследуемого вещества) рассчитывали по формуле:

$$\% \text{ ингибирования} = \frac{A_1 - A_2}{A_1} * 100,$$

где A_1 – оптическая плотность раствора АВТС•+ на длине волны 734 нм без добавления исследуемого образца, A_2 – оптическая плотность раствора АВТС•+ через 6 мин после добавления исследуемого образца.

Результаты.

Полученные раневые материалы имеют пористую структуру покрытия (рис.1.а), сорбционной емкостью составляет 60-65 мкл / см².

При введении исследуемых образцов в систему АВТС•+ оптическая плотность раствора постепенно уменьшается (рис.1б), то есть происходит восстановление катион-радикала до исходной молекулы. Это обусловлено поглощением свободных радикалов фенольными соединениями, входящими в состав экстрактов тысячелистника и ромашки, которые высвобождаются из образцов.

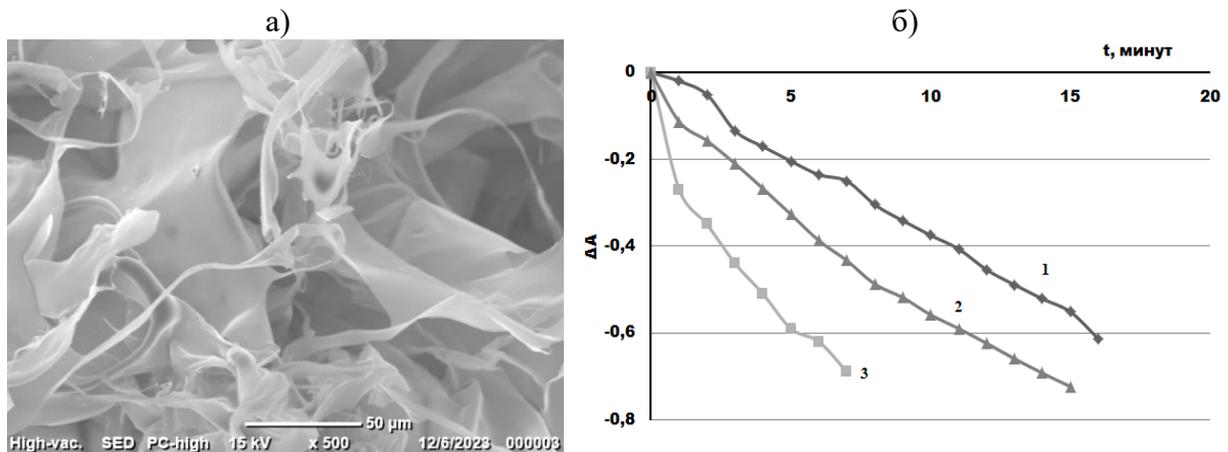


Рис 1. СЭМ-изображения образца УМ / хтз (а) и кинетические кривые обесцвечивания АВТС•+ при $\lambda = 734$ нм в присутствии образцов УМ / хтз (1), УМ / хтз-ромашка (2), УМ / хтз-тысячелистник (3)

Углеродный материал, модифицированный хитозаном проявляет умеренную антиоксидантную активность, процент ингибирования составляет 20,4 %. Введение в состав раневых покрытий экстрактов тысячелистника и ромашки значительно увеличивают АРА в 2-3 раза (% ингибирования 75,8 и 37,4 % соответственно), благодаря наличию в экстрактах терпеновых, фенилпропаноидных, стероидных и флавоноидных соединений, имеющих высокую антиоксидантную активность: 4(10)-гуйена, цинеола, (-)-камфоры, производных апигенина, лютеолина и кверцетина, кумаринов [4].

Таким образом, показано, что раневые материалы на основе углеродной ткани, модифицированной хитозаном с добавками полифенольных соединений, обладают высокой сорбционной емкостью и проявляют выраженную антирадикальную активность.

Работа выполнена при финансовой поддержке международного проекта Узбекистан - Беларусь, договор с БРФФИ № Т23УЗБ-059 от 15.11.2023 г. «Разработка фундаментальных основ создания модифицированной углеродной ткани и производных целлюлозы с целью получения медицинских материалов с комплексными свойствами».

1. Kumar V., [et al.]. Role of oxidative stress in various diseases: Relevance of dietary antioxidants // *The Journal of Phytopharmacology* – 2015, 4 (2), 126-132.
2. Ославский А. И. Сорбционные средства и методы в комплексном лечении гнойных ран (обзор литературы) // *Журнал Гродненского государственного медицинского университета*. – 2016, № 3, 30 – 37.
3. В. В. Одарюк, И. Д. Одарюк, Л. В. Каниболоцкая, А. Н. Шендрик. Антирадикальная способность фенольных антиоксидантов по отношению к катион-радикалу 2,2'-азино-бис (3-этилбензтиазолин-6-сульфоновой кислоты) // *Вісник Донецького національного університету. Сер. А: Природничі науки*. – 2014, № 2, 121-125.
4. Курченко В.П. [и др.] Состав биологически активных веществ экстрактов цветов тысячелистников аборигенной флоры Беларуси, Казахстана и России, их антиоксидантные свойства и токсичность // *Экобиотех*. – 2019, Т. 2, № 3, 286-292.

ГЕМОСТАТИЧЕСКИЕ ПОВЯЗКИ НА ОСНОВЕ КАОЛИНА

С.Н. Лемешонок, Е.В. Авдеева, Ж.В. Игнатович, А.Ю. Сидоренко, А.А. Рогачев

ГНУ «Институт химии новых материалов НАН Беларуси», Минск, Беларусь; ichnm-lpp@mail.ru

Местные гемостатические средства относятся к «щадящим» средствам остановки кровотечения, цель которых состоит в имитации специфических процессов естественного гемостаза, их ускорения или в быстром формировании фибринового сгустка с использованием другого механизма [1]. В настоящее время эффективными способами совершенствования гемостатиков является создание материалов на основе производных каолина. Использование неорганических алюмосиликатов связано с их способностью к абсорбции воды из крови, что приводит к концентрированию факторов свёртываемости. Взаимодействие с элементами крови сопровождается высвобождением ионов кальция, который, в свою очередь, участвует в активации фактора свёртывания крови XII [2, 3].

Материалы и методы.

В качестве основы кровоостанавливающих повязок использовали нетканое полотно (НП) «Спанлейс». Этилцеллюлозу (ЭЦ), поливиниловый спирт марка 11/2 (ПВС), 6-аминокапроновую кислоту (АК) использовали без дополнительной очистки. Каолин (пр-ва РБ) предварительно модифицировали соляной кислотой по методике, описанной в [4].

На нетканое полотно методом распыления послойно наносили ЭЦ (из 0,5-2 % спиртового раствора) или ПВС (из 0,5-2 % водного раствора), которые служили связующим слоем, затем каолин (из 5-15 % спиртового раствора). Сушили при комнатной температуре на воздухе.

Исследование морфологии покрытий проводили с использованием растрового электронного микроскопа JCM-6000PLUS Neoscope с ЭДС детектором (JEOL, Япония).

Результаты.

Исходное нетканое полотно представлено волокнами, которые имеют однородную гладкую поверхность. В процессе модифицирования растворами ЭЦ и ПВС на поверхности волокон, образуется равномерное полимерное покрытие, которое незначительно увеличивает их толщину и служит связующим слоем для закрепления частиц каолина, большая часть которых остается на лицевой поверхности волокон (рис. 1).

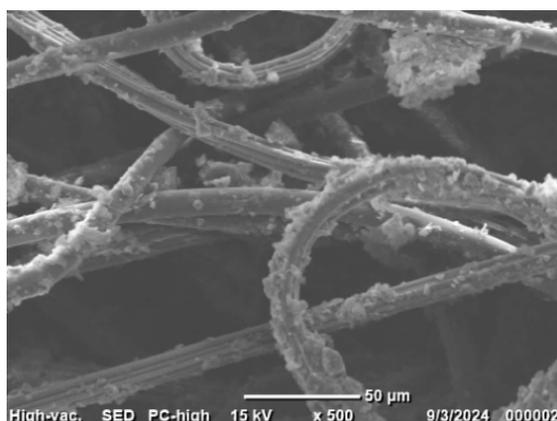


Рис 1. СЭМ-изображения материала НП/ЭЦ/каолин

Полученные материалы продемонстрировали наличие гемостатических свойств, поскольку имеют меньшее время необходимое для образования сгустка в сравнении с контрольной группой без применения кровоостанавливающих препаратов.

Таким образом, показана возможность создания местного гемостатического средства на основе каолина белорусского месторождения.

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биооргхимия». Задания 2 подпрограммы «Создание новых наукоемких отечественных материалов различного функционального назначения на основе лесохимического и растительного сырья» (Лесохимия-2)

1. Будко Е.В., Черникова Д.А., Ямпольский Л.М., Яцюк В.Я. Местные гемостатические средства и пути их совершенствования // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. – 2019, (27), №2, 274-285.
2. Elsbahy M., Hamad M. A. Design and preclinical evaluation of chitosan/kaolin nanocomposites with enhanced hemostatic efficiency // Mar. Drugs. – 2021, (19), 50, 1-16.
3. Trabattoni D. [et al.]. A new kaolin-based haemostatic bandage compared with manual compression for bleeding control after percutaneous coronary procedures // Eur Radiol. – 2011, 21, 1687–169.
4. A.Yu. Sidorenko [et al.]. Preparation, acid modification and catalytic activity of kaolinite nanotubes in α -pinene oxide isomerization // *RSC Adv.* – 2024, 14, 25079–25092.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОКСИДИРОВАНИЯ НА ТЕРМОДИФФУЗИОННОЕ НАСЫЩЕНИЕ УГЛЕРОДОМ СТАЛИ 08А

В.А. Лешок

УО «Белорусский национальный технический университет», Минск, Беларусь; leshok.vlad@bntu.by

Цель

Целью настоящего исследования является изучение влияния предварительно сформированного оксидного слоя на поверхности стали 08А при последующем термодиффузионном насыщении углеродом (цементация).

Материалы и методы

Для изучения динамики изменения поверхностных свойств термодиффузионных слоев на стали 08А использован метод сравнения двух технологий: 1 – образцы, подверженные стандартной порошковой цементации, применяемой в широком спектре машиностроительных предприятий Республики Беларусь; 2 – образцы, подверженные предварительному целенаправленному формированию оксидных слоев в приповерхностных участках, с последующей цементацией (режим, состав насыщающей смеси соответствует п. 1).

Оксидирование проводилось в окислительной атмосфере термической печи СНО 12.15/11 при температуре 300–700 °С. Шаг варьирования составлял 50 °С. Время выдержки на каждой точке измеряемой температуры – 30 минут. Твердофазная цементация проводилась в насыщающей смеси, состоящей из древесного угля и карбоната бария, при 950 °С, с временем выдержки 180 минут. С целью сужения факторов, влияющих на окислительно-восстановительные процессы, применялась сталь марки 08А, которой соответствует минимальное содержание примесей и легирующих элементов.

Результаты и их обсуждение

Окислительная атмосфера термического оборудования при повышенных температурах вызывает на поверхности изделий газовую коррозию. Окислительные процессы, проходящие на поверхностях металлов и сплавов, в результате воздействия газовой коррозии часто рассматривается в промышленности как негативное явление. От которого стремятся избежать, путём применения различных методов защиты: создание защитной атмосферы, возведение вакуума и т. д. Но стоит отметить наличие специфической области

машиностроительного профиля, в которой преднамеренно воздействуют окислительной атмосферой на поверхность металлов и сплавов на их основе [1]. К примеру, создание оксидных покрытий, применение окалина, создание оксидных выпрямителей и катализаторов и т. д. Цель данной обработки варьируется в зависимости от требуемых специальных свойств.

Воздействие окислительной печной атмосферы при повышенных температурах вызывает образование на поверхностях стальных изделий оксидов железа трёх видов, отвечающих диаграмме состояния «Fe–O» [2]: FeO – вюстит, Fe₂O₃ – гематит, Fe₃O₄ – магнетит. Адсорбируясь на поверхности, диффундируя в приповерхностные слои стальных изделий, повышается концентрация кислорода в твердом растворе α -Fe. При достижении концентрации кислорода к стехиометрическому содержанию в оксиде, происходит фазовое превращение твердого раствора внедрения в оксиды.

Окисление поверхности металлов и последующее высокотемпературное восстановление окисных пленок приводит к изменению структуры и энергетического состояния поверхностных слоёв изделий [3]. Термодиффузионное насыщение стали углеродом (цементация) при повышенных температурах проходит по механизму восстановления образованных окисных пленок на стальных изделиях. Таким образом, актуальными являются разработки по управлению окислительно-восстановительным процессом при термодиффузионном упрочнении.

В зависимости от температуры окисления, образцы, прошедшие предварительное окисление, можно разделить на три группы. В интервале температур 300...350 °С на поверхности образцов обнаруживаются цвета побежалости различного цветового спектра. Интервал температур 400...550 °С характеризуется образованием черного оксида с хорошей адгезией к поверхности. При 600...700 °С обнаруживаются трещины в оксидном слое, происходит его частичное отслоение.

При последующей выдержке в цементационной атмосфере отмечается формирование большей глубины науглероженного слоя у образцов, прошедших предварительное окисление (таблица 1). Достижение регламентированной глубины цементованного слоя при данной температуре происходит быстрее для деталей, имеющих на своей поверхности оксидную пленку. Лучшим температурным режимом предварительного окисления является интервал 450...550 °С при котором интенсификация порошковой цементации составляет 12...15%.

Таблица 1. Оценка влияния температуры предварительного окисления на толщину цементованного слоя

Температура предварительного окисления - t, °С	Толщина цементованного слоя - h, мкм	Относительное увеличение толщины цементованного слоя - ϵ , %
300	849	5
350	857	6
400	881	9
450	906	12
500	930	15
550	932	15
600	881	9
650	849	5
700	841	4

Интенсификация процесса насыщения углеродом объясняется исходя из механизма протекания окислительно-восстановительных процессов. Образованная оксидная пленка разрыхляет приповерхностные объемы на глубину, больше, чем размеры самой пленки. Причиной является извлечение катионов металла к поверхности и обратная диффузия

вакансий к центральной части изделия. Образующиеся вакансии могут быть заняты углеродом при последующем насыщении. Также, при восстановлении оксидов на поверхности образуется активированный слой железа, который является катализатором реакции распада угарного газа, характеризующей время цементации в целом. Тем самым, происходит интенсификация процесса образования активных атомов углерода, приводящим к повышению их поверхностной концентрации.

Ссылки на использованные источники

1. Алимов, В.И. Продукты окисления на стали как интенсификаторы химико-термической обработки / В.И. Алимов, А.П. Штычно, М.В. Афанасьева // Наукові праці ДонНТУ. – 2007. – № 9. – С. 208–211.
2. Хансен, М. Структуры двойных сплавов / М. Хансен, К. Андерко. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1962. – 720 с.
3. Девочкин, О.В. Науглероживание поверхностных слоев металла при восстановлении интерференционно-окрашенных окисных пленок / О.В. Девочкин, Е.С. Воронцов // Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Под. ред. Л.С. Ляховича: сборник научных статей – Минск, 1974. – С. 93–94.

АНАЛИЗ КОМБИНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ

В.А. Лешок

УО «Белорусский национальный технический университет», Минск, Беларусь; leshok.vlad@bntu.by

Цель

Целью данной работы является установить закономерности при объединении технологий предварительной поверхностной пластической деформации и ионно-плазменного азотирования.

Материалы и методы

Для нанесения поверхностной пластической деформации образцам из стали 40ХМФА, диаметром 30 мм и длиной 50 мм, применялась дробеструйная обработка. Дробь представлена прошедшими термическую упрочняющую обработку шариками из стали ШХ15. Диаметр шариков составлял 0,5 мм, скорость вылета – 55 м/с.

Ионно-плазменное азотирование проводили на установке «ИПА 0.361». Средой для термодиффузионного насыщения была выбрана смесь газов азота, аргона и водорода. Насыщение проводили при температуре 550 °С в течении 3 часов.

ДюрOMETрические исследования проводились на микротвердомере ПМТ-3М по методу Виккерса. Нагрузка на алмазный индентор составляла 50 г. Для исключения статистической ошибки, одной точке исследования соответствует 5 измерений.

Результаты и их обсуждение

Для установления закономерностей применения предварительной поверхностной пластической деформации (ППД) и ионно-плазменного азотирования (ИПА) были рассмотрены 2 группы образцов. Первая подвергалась стандартному ИПА по режимам, применяемым на предприятиях. Вторую группу образцов подвергали ППД, а после ИПА. Режимы ИПА одинаковы для первой и второй группы образцов.

Установлено, что дробеструйная обработка второй группы образцов по данным режимам создаёт степень деформации в приповерхностных объёмах 25...35 %. Что, ожидаемо, повысило микротвердость с 280...290 HV 0,05 до 300...320 HV 0,05. Повышение

микротвердости в 20...30 HV 0,05 является следствием образования структуры наклёпа с повышенной плотностью дислокаций относительно недеформированного сырого состояния стали 40ХМФА.

ДюрOMETрические исследования первой группы образцов (рис. 1, кривая 1) показывают, что микротвердость слоя «светлого азотирования», представленного нитридами железа, составляет 580...590 HV 0,05. Микротвердость приповерхностных нитридных слоев второй группы образцов (рис. 1, кривая 2) после термодиффузионного насыщения составляет 670...680 HV 0,05. Анализируя повышение микротвердости в случае применения ППД ($\Delta HV_{\text{ППД}}=20...30$) и объединения режимов ППД и ИПА ($\Delta HV_{\text{ППД+ИПА}} = 90$), можно прийти к выводу, что предварительная ППД до ИПА не аддитивно микротвердость приповерхностной зоны.

Распределение микротвердости по сечению образцов показало, что повышение микротвердости в случае комбинирования процессов ППД и ИПА присутствует на глубину до 10 мкм. При движении вглубь исследуемых образцов наблюдается соответствие в дюрOMETрических показателей.

Сравнивая температуры рекристаллизации, стали 40ХМФА ($t_{\text{рек}}=708...991$ °С) и термодиффузионного насыщения ($t_{\text{ипа}} = 550$ °С), можно прийти к выводу, что деформированная структура сохраняется в приповерхностных участках образцов при всём временном интервале азотирования. Протекают только начальные стадии рекристаллизационных процессов: возврат и полигонизация. Это приводит к сохранению повышенной концентрации дислокаций.

Известно [1–4], что повышение концентрации дислокаций в приповерхностных участках приводит к активации поверхности. Активированная поверхность позволяет ускорить сорбционные и диффузионные процессы, за счет уменьшения энергии активации. Следствием вышесказанного является повышение концентрации азота в приповерхностных слоях.

Повышение микротвердости приповерхностных участков изделий после комбинации предварительной ППД и ИПА объясняется двумя причинами. Первая обуславливается частичным сохранением наклёпанной структуры. Вторая характеризуется повышенным содержанием насыщаемого элемента – азота.

Подводя итог вышесказанному, можно предположить, что проведение предварительной поверхностной пластической деформации до термодиффузионного насыщения интенсифицирует процесс ионно-плазменного азотирования.

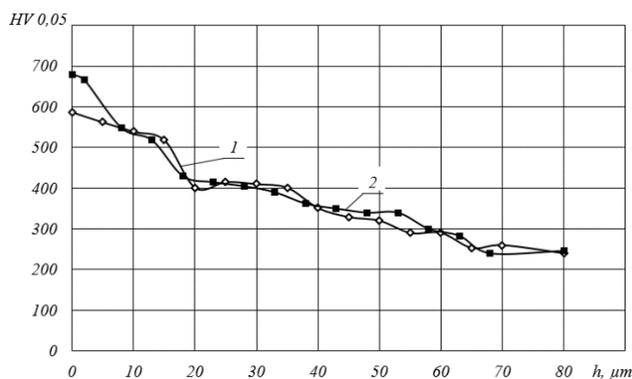


Рис. 1. Распределение микротвердости при: 1) ионно-плазменном азотировании, 2) предварительной поверхностной пластической деформации и ионно-плазменном азотировании

Ссылки на использованные источники

1. Скаков, Ю.А. Высокоэнергетическая пластическая деформация, диффузия и механохимический синтез / Ю.А. Скаков // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2004. – № 4. – С. 3–12.
2. Бокштейн, С.З. Диффузия и структура металлов / С.З. Бокштейн. – М.: Металлургия, 1973. – 208 с.

3. Ковалевская, Ж.Г. Структура и свойства поверхностных слоев и покрытий при модифицирующей ультразвуковой обработке: дис. ... докт. техн. наук: 05.16.09 / Ж.Г. Ковалевская. – Томск, 2018. – 334 с.
4. Минкевич, А.Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов / А.Н. Минкевич. – М.: Машиностроение, 1965. – 491 с.

МИКРОСТРУКТУРА ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ С КОЛЬМАТИРУЮЩЕЙ ДОБАВКОЙ

В.А. Манкевич, А.Т. Волочко

ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси», Минск, Беларусь; man_veronika@mail.ru

Введение. Микроструктура цементного камня представляет собой сложную систему, включающую различные фазы и составляющие компоненты [1-3]. Со временем структура бетона меняется из-за продолжающейся гидратации цемента. Объем кристаллических новообразований растет, а пористость уменьшается.

Цель работы – анализ особенностей микроструктуры цементного камня с кольматирующей добавкой после 1-28 суток твердения.

Материалы и методы. Для получения образцов использовался портландцемент ОАО «Красносельскстройматериалы» ЦЕМ I 42,5Н, соответствующий требованиям ГОСТ 31108-2020. В качестве кольматирующей добавки в работе использовался сульфат алюминия ГОСТ 12966-85. Образцы цементного камня изготавливались из цементной композиции нормальной густоты. Добавка вводилась в количестве 1,5 % в состав смеси (1 состав), а также проводилась поверхностная обработка сульфатом алюминия (2 состав). Анализ особенностей поверхности образцов проводился на оптическом микроскопе «Микро – 200 Vert» и электронном микроскопе «Tescan Mira – 3».

Результаты и обсуждения. В начальной стадии твердения наблюдалось появление макропор, мелких и капиллярных пор, которые возникали в результате взаимодействия воды и компонентов цемента. После первых суток твердения были зафиксированы поры диаметром от 66 до 270 мкм. Микроструктура включала кристаллические образования различной формы, неравномерно распределенные по поверхности образца.

На четвертые сутки твердения отмечалось появление игольчатых новообразований этtringита размером 2 – 35 мкм внутри пор и на поверхности образцов (рис. 1). В образцах, подвергнутых поверхностной обработке раствором сульфата алюминия, количество игольчатых кристаллов и кристаллоагрегатов в виде друз было значительно больше. При получении образцов 1 состава сульфат алюминия оказывал ускоряющий эффект на гидратацию силикатных фаз, тем самым повышая прочность на сжатие в первые сутки твердения с 20 до 28 – 30 МПа в сравнении с бездобавочным образцом.

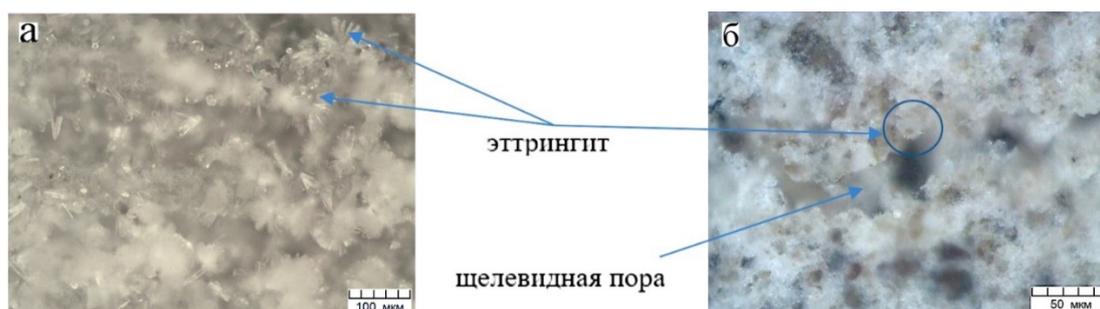


Рис. 1. Микроструктура поверхности образцов после 4 суток твердения:
а - 2 состав; б - 1 состав

На 14-ые сутки структура изменялась значительно (рис. 2). Количество игольчатых кристаллов и друз уменьшилось. В образцах 1 состава наблюдалось появление призматических и кубических кристаллов размерами по длине от 20 до 50 мкм, по ширине 15 – 25 мкм. В образцах 2 состава такие кристаллы имели размер 7 – 20 мкм по длине и 5 – 10 мкм по ширине.

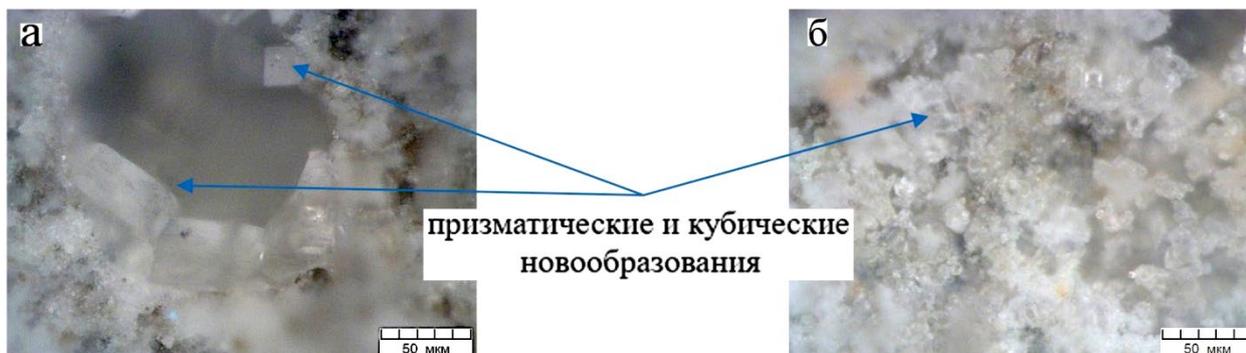


Рис. 2. Микроструктура поверхности образцов после 14 суток твердения:
а) 1 состав; б) 2 состав

После 28 суток твердения микроструктура (рис. 3) была представлена в виде иголок, пластинчатых кристаллов $\text{Ca}(\text{OH})_2$, шарообразных образований гидросиликатов кальция (C-S-H) и сросшихся новообразований. Наблюдалось наличие волокнообразных кристаллов размером до 19 мкм в пространстве пор.

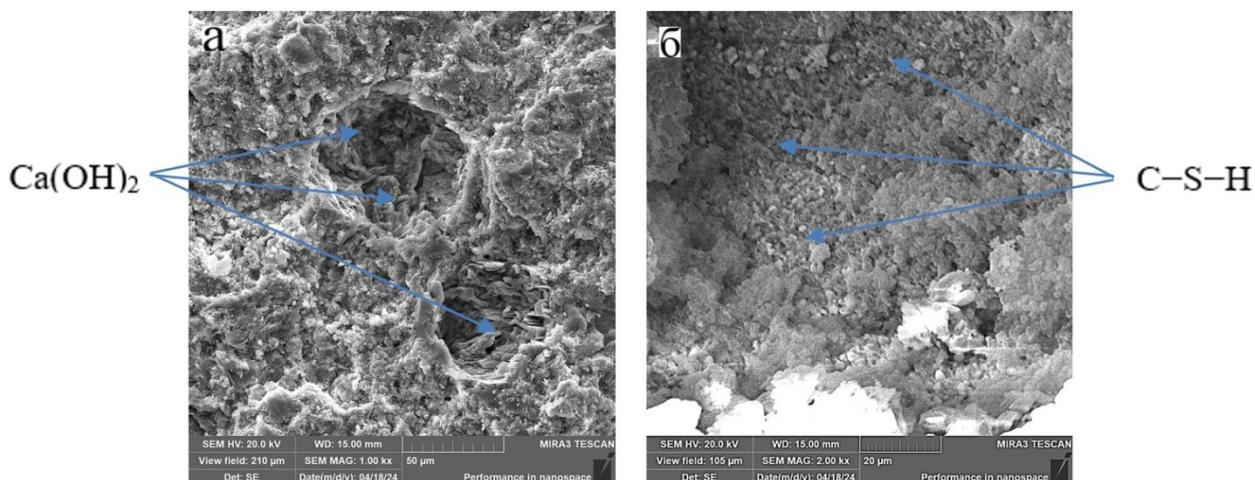


Рис. 3. Микроструктура поверхности образцов после 28 суток твердения:
а - 1 состав; б - 2 состав

Исследовался элементный состав цементного камня. Содержание химических элементов на поверхности образцов 1 состава, мас. %: O – 39,01, Mg – 0,12, Al – 0,66, Si – 2,37, S – 0,76, K – 1,11, Ca – 54,35, Fe – 1,66. Содержание химических элементов в поре образцов 1 состава мас. %: O – 45,47, Mg – 0,53, Al – 1,70, Si – 7,15, S – 1,59, K – 1,24, Ca – 40,33, Fe – 1,98. Содержание химических элементов образцов состава 2, мас. %: O – 54,62, Al – 2,83, Si – 2,17, S – 0,08, K – 2,26, Ca – 37,2, Fe – 0,84. Отмечено, что в порах образцов 1 состава наблюдалось в 2 раза большее содержание соединений с алюминием, серой и кремнием. В ходе рентгенофазового анализа были обнаружены такие фазы, как $\text{Ca}(\text{OH})_2$, алит, белит, гидросиликаты кальция. При введении сульфата алюминия отмечалось снижение значения водопоглощения с 7,9 % до 4,5 %.

Выводы. Добавление сульфата алюминия в состав цементных композиций приводит к изменению микроструктуры цементного камня. Добавка увеличивает интенсивность образования игольчатых кристаллов, за счет увеличения сульфат ионов, тем самым уменьшая сроки схватывания цемента и повышая прочность в первые сутки твердения на 40 – 50 % до значений 28 – 30 МПа. В процессе реакций взаимодействия сульфата алюминия с компонентами гидратации цемента образуются соединения, создающие пространственные структуры, способные коагулировать поры цементного камня, оказывая положительное влияние на водопоглощение цементного камня, снижая его на 40 % до значения 4,5 %.

1. Габидулин, М.Г. Структурная организация цементного камня / М. Г. Габидуллин [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 1. – С. 53-58.
2. Кузьменков, М. И. Вяжущие вещества и технология производства изделий на их основе: учеб. пособие для студентов по специальности "Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий" вузов / М. И. Кузьменков, Т. С. Куницкая. – Минск: БГТУ, 2003. – 213 с.
3. Гидролиз и твердение минеральных вяжущих веществ: учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» специализаций 1-48 01 01 07 «Технология строительных материалов на основе вяжущих веществ», 1-48 01 01 14 «Химическая технология вяжущих материалов» / А. А. Мечай, О. Е. Хотянович, А. А. Сакович. – Минск: БГТУ, 2012. – 72 с.

ЭЛЕКТРОПРОВОДНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА БАЗЕ ПОЛИАМИДА 6 ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

Н.А. Марусенко, С.П. Богданович

ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси», г. Гомель,
Беларусь; Sennatar@mail.ru

Введение. Весьма перспективным направлением современного полимерного материаловедения является создание полимерных композиционных материалов с регулируемым уровнем электрического сопротивления и пригодных для переработки в изделия методом 3D-печати, в том числе и для получения элементов электрических схем. В особенности привлекательным является использование для этих целей крупнотоннажно выпускаемых термопластов (полиамидов, полиолефинов, полиэфиров) и недорогих электропроводящих наполнителей легкодоступных в Республике Беларусь и странах СНГ [1]. К трудностям получения подобного рода композитов можно отнести необходимость сочетания ими комплекса свойств: текучести, позволяющей обеспечить требуемое истечение материала из сопла 3D-принтера, прочности спаев расплава, определяющей прочность соединения капель расплава при печати, и, как результат, механическую прочность последующего изделия, электропроводности. Выше сказанное и послужило основанием для выполнения настоящих исследований.

Цель. Получение композиционного материала на базе полиамида 6, обладающего пониженным электрическим сопротивлением и потенциально пригодным для переработки методом 3D-печати.

Материалы и методы исследований. В качестве полимерной матрицы использовали алифатический полиамид (ПА 6) марки гроднамид 27 ТУ ВУ 500048054.009-2001, а в качестве модификатора технический углерод (ТУ) марки N 339 ГОСТ 7885.

Композиты получали экструзионным компаундированием на экструзионно-грануляционной линии на базе двухшнекового экструдера, а образцы – литьем под давлением на горизонтальном термопластавтомате.

По действующим стандартам определяли следующие показатели свойств: модуль

упругости при растяжении (E_p), предел прочности ($\sigma_{пр}$), максимальное относительное удлинение при разрыве ($\epsilon_{рр}$), ударную вязкость по Шарпи без надреза (a), объемное (ρ_v) и поверхностное (ρ_s) электрические сопротивления, показатель текучести расплава (ПТР).

Результаты и их обсуждение.

В рамках исследования был изготовлен ряд композиционных материалов с различным содержанием ТУ. Было установлено, что наиболее привлекательным комплексом важнейших эксплуатационных и технологических свойств оказался композит, содержащий 35 % технического углерода. Показатели свойств для которого составили $E_p > 2,1$ ГПа, $\sigma_{пр} > 40$ МПа, для образцов без спая $\epsilon_{рр} > 30$ %, без надреза образцы не разбивались, ПТР > 10 г/10 мин, $\rho_v < 40$ Ом·см, $\rho_s < 60$ Ом/□.

Уровень ПТР, определенный при температуре 230 °С, позволяет предположить, что полученный материал будет не только хорошо формоваться в прутки для 3D-печати, но и в последующем удовлетворительно экструдироваться через сопло принтера. Основные показатели механических свойств имеют величину, достаточную, чтобы удовлетворять большинству требований для деталей электротехнического назначения. Уровень объемного и поверхностного электрических сопротивлений позволяют по данному показателю отнести полученный композит к полупроводникам.

Выводы. Показана возможность получения композитов на базе полиамида 6, обладающих электрическим сопротивлением уровня полупроводниковых материалов. Указанный показатель может легко варьироваться путем изменения концентрации проводящего наполнителя. Достигнутый комплекс технологических и прочностных характеристик позволяет считать разработанный композит перспективным для переработки методом 3D-печати.

1. Богданович, С.П., Марусенко Н.А. Игнатович С.В., Рогачев А.А. Перспективные композиционные материалы на основе полиамида 6 и технического углерода для технологии послойного наплавления // Полимерные материалы и технологии. – 2024, Т.10, № 2, 40–48.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ МОРФОЛОГИИ И ФАЗОВОЙ СТРУКТУРЫ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДА 6 И ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫХ ПОЛИОЛЕФИНОВ

В.Д. Мельников¹, Ю.М. Кривогуз², М.В. Шкуратов¹

¹УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»,
Гомель, Республика Беларусь

²ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси»,
Гомель, Республика Беларусь; yurikriv@tut.by

Введение. Развитие в последние десятилетия отечественного машиностроения продиктовало необходимость создания полимерных композиционных материалов (ПКМ) с улучшенным комплексом свойств на базе полимерного сырья, выпускаемого химической промышленностью Республики Беларусь. В связи с этим особый интерес представляют смеси полиамида 6 (ПА6) с полиолефинами (ПО) [1]. Для практического освоения подобного рода материалов необходимо решить проблему совместимости ПА6 и ПО. В настоящее время предлагаемые способы решения данной задачи, основанные на введении блок-сополимеров и других компатибилизаторов, усложняют рецептурный состав, технологию производства и повышают стоимость подобных композиций. Значительно большей перспективностью характеризуется подход, базирующийся на реализации физико-химических взаимодействий на границе раздела фаз в данных смесях посредством

использования функционализированных ПО (ФПО), содержащих в своей структуре привитые адгезионно-активные функциональные группы [2]. Поскольку составы подобных материалов являются «ноу хау» фирм-разработчиков, то для дальнейшего расширения возможностей и перспектив применения смесевых систем ПА6/ФПО потребовалось выполнение систематических исследований по определению характера влияния природы и концентрации компонентов на структуру ПА/ФПО смесей.

Цель работы – анализ фазовой структуры и морфологии смесей на основе полиамида 6 и модифицированных полиолефинов.

Материалы и методы исследований. В работе в качестве базовых компонентов ПКМ использовали полиамид 6 (ПА6; марка для контакта с пищевыми продуктами; ТУ РБ 500048054.009–2001), полиэтилен высокой плотности (ПЭВП, марка 276-73; производство ОАО «Казаньоргсинтез», РФ), изотактический ПП (марка Бален 01030; производство ОАО «Уфаоргсинтез», РФ). В качестве модифицирующей добавки использовали функционализированный полиэтилен высокой плотности (ФПЭВП) и функционализированный полипропилен (ФПП), которые соответствовали требованиям ТУ РБ 03535279.027–97 и ТУ РБ 400084698.072-2003 и были получены по технологии реакционной экструзии, разработанной в ИММС НАН Беларуси.

Для получения полиамидных смесей гранулированные компоненты (ПА6, исходные ПО или ФПО) смешивали между собой в двухлопастном смесителе. Гранулят ПА6 предварительно высушивали до остаточной влажности не более 0,1 %. Далее полученную механическую смесь, включающую ПО или ФПО, подвергали соэкструзии в расплаве. Температура в основных зонах смешения материального цилиндра двухшнекового экструдера TSSK-35/40 для смесей на основе ПА6 составляла 245 – 250 °С.

Морфологию и фазовую структуру смесевых материалов анализировали методом растровой электронной микроскопии на сколах образцов (бруски для определения ударной вязкости), охлажденных в жидком азоте. Время выдержки образцов в жидком азоте составляло 30 мин. Исследования проводили на сканирующем электронном микроскопе VEGA II LSH с системой дисперсионного микроанализа INCA ENERGY 250 ADD, «Tescan/OXFORD Instruments Analytical» (Чехия/Англия). Метод РЭМ использовали также для анализа топографии поверхностей разрушения образцов (бруски 80x10x4 мм) после их испытаний по определению ударной вязкости.

Результаты и их обсуждение. Методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) на сколах образцов (бруски для определения ударной вязкости), охлажденных в жидком азоте, исследована морфология и фазовая структура смесей ПА6 с ФПО.

В результате исследования морфологии и фазовой структуры полиамидных смесей методом РЭМ было показано, что совмещение ПА6 с исходным ПЭВП и ПП приводит к образованию выраженной двухфазной системы. В данных композитах фаза ПО слабо связана с матричным ПА6, имеет четко выраженную границу раздела и агрегирована в относительно крупные, отличающиеся по размеру, сферические образования (5 – 8 мкм), что свидетельствует о несовместимости полимерных компонентов.

Существенные изменения в морфологии смесевых систем происходят при смешении ПА6 с ФПЭВП и ФПП. В этих смесевых композитах за счет интенсификации межфазного взаимодействия отдельные частицы ФПО становятся трудноразличимыми, а фазовая структура приобретает квазиоднородный характер. Подобные изменения фазовой структуры характерны для аналогичных смесей ПА6 с другими типами ФПО. Уменьшение размера частиц дисперсной фазы, образованной ФПО, приводит к увеличению ее удельной площади и формированию прочных связей между полимерными компонентами. В результате этого обеспечивается гомогенность смесевых композиций, благодаря чему удается в смесях с ПА6 в полной мере реализовать модифицирующую способность ФПО, содержащих в своей структуре привитые адгезионно-активные группы.

1. Песецкий, С. С. Функционализированные полимеры и сополимеры олефинов и их применение в составах полимерных композитов / С. С. Песецкий, Ю. М. Кривогуз // Перспективные материалы и технологии; под ред. В. В. Клубовича. – Витебск : Изд-во УО «ВГТУ», 2013. – Глава 23. – С. 473–495.
2. Песецкий, С. С. Функционализация полипропилена прививкой полярных мономеров (обзор) / С. С. Песецкий, О. А. Макаренко, Ю. М. Кривогуз // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2012. – Т. 17, № 2. – С. 25–48.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ФОРМОВАНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФРИКЦИОННЫХ КОМПОЗИТОВ

В.К. Меринов

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

Введение. Задача повышения эксплуатационных характеристик изделий является актуальной и важной задачей современного материаловедения. Одним из методов управления характеристиками полимерных композитов является использование наполнителей различной природы и размерности [1-2]. Имеются работы по применению методов энергетического воздействия на композиты, например, МИО или низкотемпературной плазмы [3]. В тоже время уровень и стабильность эксплуатационных характеристик композитов закладывается также и на стадии их изготовления [4-5]. Управление технологическими режимами и выбор оптимальных параметров технологического процесса является важной задачей при получении изделий гарантированного уровня качества [6].

Цель работы – исследование влияния режимов формования на физико-механические характеристики фрикционных полимерных композитов.

Материалы и методы исследования. В качестве термостойкой полимерной матрицы композитов использовали политетрафторэтилен (ПТФЭ) (ГОСТ 10007). В качестве терморезактивного компонента полимерной матрицы – N,N'-(фенилен-1,3)бисмалеимид в количестве 18 мас. %. Наполнителями композитов служили оксиды металлов, базальтовое волокно и дисперсный углерод. Термообработку фрикционных полимерных композитов проводили в вентилируемой электропечи при температуре $(375 \pm 5)^\circ\text{C}$. Время выдержки при температуре определяли из расчета 5 мин на 1 мм толщины изделия. Охлаждение изделий проводили в печи.

Теплостойкость композитов определяли методом Вика на приборе FWV 633.10. Твердость композитов определяли по методу Бринелля путем вдавливания шарика диаметром 5 мм в поверхность плоскопараллельного образца на приборе НР 250. Диаметр отпечатка с точностью до 0,01 мм измеряли на микроскопе МИР-12.

Результаты исследования и обсуждение. Отформованные изделия подвергались термообработке, время выдержки при максимальной температуре термообработки и скорость нагрева являются важными технологическими факторами, влияющими на эксплуатационные характеристики фрикционных композитов. На рисунках 1-2 приведены результаты исследования зависимости твердости и теплостойкости по Вика полимерных композитов от времени выдержки при максимальной температуре во время термообработки

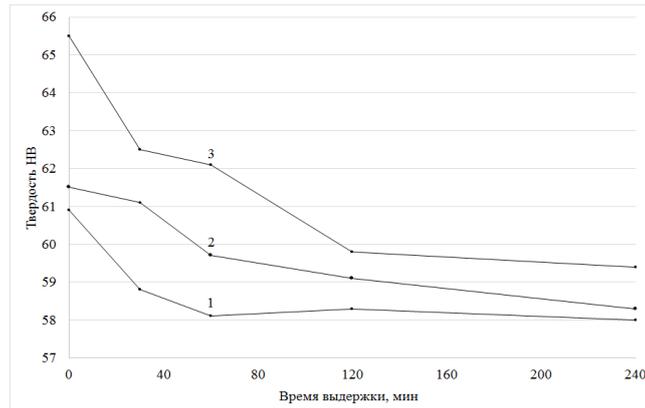


Рис. 1. Зависимость твердости композитов от времени выдержки при максимальной температуре термообработки при различной скорости нагрева: 1 – 1 град/мин; 2 – 2 град/мин; 3 – 4 град/мин.

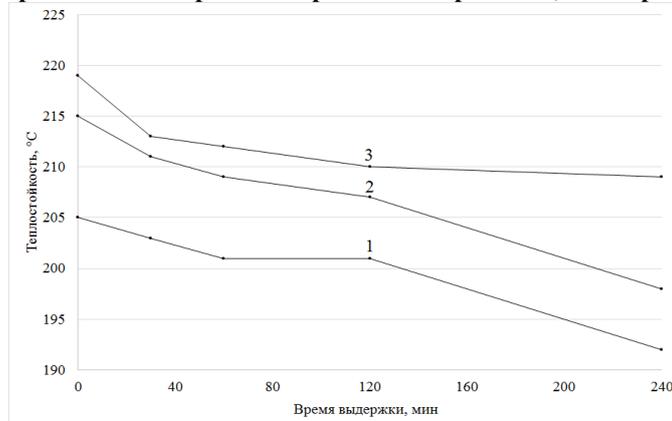


Рис. 2. Зависимость теплостойкости по Вика композитов от времени выдержки при максимальной температуре термообработки при различной скорости нагрева: 1 – 1 град/мин; 2 – 2 град/мин; 3 – 4 град/мин.

Установлено, что увеличение времени выдержки при максимальной температуре во время термообработки приводит к снижению твердости и теплостойкости композитов, термообработанных при различных скоростях нагрева. Так твердость композитов, выдержанных при максимальной температуре в течение 240 мин., при скоростях нагрева 4 град/мин., 2 град/мин., 1 град/мин., ниже, чем у композитов, охлаждение которых началось сразу по достижению максимальной температуры, на 9,3 %, 5,2 %, 4,8 % соответственно. Теплостойкость композитов, выдержанных при максимальной температуре в течение 240 мин., при тех же скоростях нагрева ниже, чем у композитов без выдержки на 4,7 %, 7,9 %, 6,3 % соответственно. Показано, что повышение скорости нагрева приводит к увеличению твердости и теплостойкости композитов. Так увеличение скорости нагрева с 1 град / мин. до 4 град / мин. привело к повышению твердости композитов, охлаждение которых началось сразу по достижению максимальной температуры, на 7 %. С увеличением времени выдержки выше 120 мин. это различие становится статистически незначимой. Теплостойкость композитов при увеличении скорости нагрева увеличилась на 6-8 % во всем диапазоне выдержки композита при максимальной температуре.

Заключение. Установлено, что увеличение скорости нагрева и уменьшение времени выдержки при максимальной температуре во время термообработки приводит к незначительному повышению твердости и теплостойкости по Вика полимерных композитов, что, возможно, объясняется интенсификацией процесса сшивки N,N'-(фенилен-1,3)бисмалеинмида в структуре композита с образованием тонкого поверхностного слоя («скорлупы») твердого материала.

- 1 Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология / [Кербер М. Л. и др.]; под общ. ред. Берлина А. А. – Санкт-Петербург: Профессия, 2008. – 557 с.
- 2 Дисперсно-наполненные полимерные композиты технического и медицинского назначения / Б. А. Люкшин [и др.]; ответственный редактор А. В. Герасимов; Российская академия наук, Сибирское отделение [и др.]. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2017. – 308 с.
- 3 Влияние обработки в магнитном поле на трибоакустические характеристики медьсодержащих полимерных фрикционных композитов / В.П. Сергиенко, С.Н. Бухаров, А.Г. Анисович, В.К. Меринов, Н.С. Абед, А.Р. Алексиев // Трение и износ. 2024 Т.45, № 3. С 187-198.
- 4 Зерщиков К.Ю., Гайдадин А.Н. Влияние технологических факторов на размерную стабильность изделий из фторопласта и композитов на его основе. Пластические массы. 2018. – № 3. – С. 26-29
- 5 Юсубов, Ф. Ф. Влияние технологических параметров прессования на физические свойства многокомпонентных композитов / Ф. Ф. Юсубов // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 3. – С. 214-218.
- 6 Управление качеством изделий из фрикционных композитов на стадии изготовления / В.П. Сергиенко // Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы, сварка: сб. докл. 11-го Междунар. симп., Минск, 10-12 апреля 2019 г. / Нац. акад. наук Беларуси [и др.]; редкол.: А.И. Ильющенко (гл. ред.) [и др.]. – Минск: Белорусская наука, 2019. – С. 617-625.

ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ПОЛИУРЕТАНА И ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

А.Н. Радюк

УО «Витебский государственный технологический университет», Витебск, Беларусь; ana.r.13@mail.ru

Введение. Для ДПК содержание древесной массы может достигать от 40 % до 60 %, а для экструдированных пластиков – до 70 % масс. С практической точки зрения установлено, что явное снижение текучести оценивается при увеличении нагрузки волокнами. Они препятствуют литью под давлением смесей с содержанием волокна более 65 %. На основании данных, приведенных в [1] полиуретановую матрицу, можно модифицировать наполнителями до 70 % и оценивать влияние содержания наполнителя на физико-механические свойства композита, при этом в зависимости от конкретного состава можно установить и целевое назначение материалов для низа обуви: для подошв, набоек, стельки и прочее. Так как формула изобретения предусматривает получение только качественных изделий, отвечающих требований ТНПА, то максимальное наполнение полиуретановой матрицы составляет 30 %.

Цель работы – разработка и оптимизация рецептурных составов композитов и технологии их получения при наполнении полиуретановой матрицы до 30 % древесными волокнами.

Так как в работе [2] исследовалась возможность наполнения полиуретановой матрицы древесными волокнами в количестве до 5 мас. % и оптимизация состава и технологии при малом содержании наполнителя, то в данной работе предусмотрено наполнение свыше 5 мас. %.

Материалы и методы исследования. В соответствии с операциями технологической схемы получения гранулята и материалов, а также состава композиции, приведенных в работе [2] были получены образцы материала (отливки) и определены их физико-механические характеристики при следующих условиях испытаний: скорость движения разъемов исследовательского комплекса «Instron 5657» 500 мм / мин, рабочая длина 40 мм, толщина лопатки 2 мм.

Результаты и их обсуждение. Общая тенденция полученных результатов может быть охарактеризована четырьмя аспектами:

- 1) значительная разбежка данных по всем позициям;
- 2) рост прочности с наполнением – с 5,61 МПа (для 5 мас. %) до 11,08 МПа (для 30 мас. %);

3) падение эластичности по показателю относительного удлинения – с 187 % (для 5 мас. %) до 62 % (при 30 мас. %);

4) рост максимальной нагрузки, прилагаемой для разрыва образца – с 66 Н (для 5 мас. %) до 143 Н (для 30 мас. %).

Эти данные укладываются в наиболее общие представления об изменении физико-механических свойств полимеров, армированных волокнистыми структурами.

Заключение. По результатам проведенного исследования можно отметить, что частицы ДВ оказывают заметное воздействие на структурообразование экструдированного композита на основе вторичного полиуретана. Заметное снижение остаточной деформации начинает наблюдаться при значительном (выше 10 мас. %) наполнении древесными волокнами, технологичность процесса грануляции при этом незначительно снижается. В связи с этим принципиальная возможность получения при двушнековой экструзии экструдата с наполнением 30 мас. % древесными волокнами является доказанной.

1. Композиция для деталей низа обуви : пат. ВУ 5190 / А. Н. Буркин, Г. С. Этин, К. С. Матвеев. – Оpubл. 30.06.2003.
2. Структура и свойства композиционных материалов с использованием в качестве наполнителя древесного волокна / А.Н. Буркин, А.Н. Радюк, В.М. Шаповалов, С.В. Зотов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности, 2024, Т.65, №1. С. 37–42.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОДЛОЖКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА Cu/a-C ПОКРЫТИЙ

К.А. Саховский

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь; sakhovskij.kirill.07@gmail.com

Цель работы

Установить зависимость механических свойств (твердость, модуль упругости) Cu/a-C покрытий от условий и режимов термообработки.

Методика нанесения покрытий

Углеродные покрытия осаждали из сепарированных потоков импульсной углеродной плазмы на кремниевые подложки с предварительно осажденными Cu слоями. Подслои меди формировали методом магнетронного распыления медной мишени с использованием магнетрона постоянного тока. В качестве сепаратора плазменного потока, разделяющего ионную и нейтральную компоненты (макрочастицы, капли, осколки графитового катода) использовали электромагнитный фильтр, выполненный в виде криволинейного соленоида с углом поворота плазменного потока на 90 градусов. Отличительной особенностью данного соленоида является его включение в электрическую схему блока питания импульсного генератора углеродной плазмы, при этом возникающее в соленоиде транспортирующее поле является импульсным и возникает в момент импульсного разряда. Геометрически фильтр выполнен в виде части тора с внутренним диаметром 95 мм и длиной 380 мм.

В [1 – 3] были установлены особенности формирования структуры аморфных углеродных покрытий, осажденных из импульсных потоков углеродной плазмы на Cu подслои, формируемые методом КИБ (конденсация в условиях ионной бомбардировки). Ионно-плазменные методы, к которым относятся методы магнетронного распыления, позволяют получать тонкопленочные материалы с контролируемым структурно-фазовым составом, и за счет высокой энергии ионов, образующих плазменный поток, обеспечивать

высокую прочность адгезионного соединения к различным подложкам. Как правило, методами магнетронного распыления возможно получать покрытия на основе металлов и их соединений [4].

В качестве подложек использовали полированные пластины монокристалла кремния (100) толщиной 0,5 мм. Перед нанесением покрытий подложки промывали с использованием органических растворителей (ацетон, спирт) в ультразвуковой ванне при температуре 50 °С, с последующей промывкой в дистиллированной воде и сушке на воздухе. После размещения подложек в вакуумной камере и ее откачки до остаточного давления $3 \cdot 10^{-3}$ Па, проводили их очистку с использованием тлеющего разряда. Для формирования покрытий использовались катоды диаметром 80 мм и толщиной 6 мм, изготовленные из меди (М0). Парциальное давление Ag в рабочей камере составляло $4 \cdot 10^{-2}$ Па.

Выбор в качестве подслоя меди определён следующими причинами: учитывая химическую инертность меди по отношению к углероду, введение медных слоев в структуру алмазоподобных покрытий обусловит изменение их свойств, проявление структурных и фазовых эффектов. Согласно [1] медь, не вступая в химическое взаимодействие с углеродом, влияет на изменение отношения графит/алмазной фазы, размер и степень упорядоченности графитовых кластеров в покрытиях [4, 5], также способствует интенсификации диффузионных процессов между слоями [6 – 8].

Полученные результаты и их обсуждение

Измерение механических параметров (твёрдость, модуль упругости) покрытий проводили с использованием наноиндентора «НаноСкан 4D» производства ФГБНУ «ТИСНУМ» (г. Троицк, РФ) с использованием индентирования по стандартной методике (ISO 14577) с однократным нагружением и разгрузением.

В таблице 1 приведены результаты исследования механических свойств покрытий после термообработки на воздухе и в вакууме полученные в режиме динамического анализа, которые характеризуют усредненное значение твёрдости покрытий при глубине индентирования 50 нм, т.е. показывают композиционную твёрдость «углеродный слой - подслоя».

Таблица 1 – Механические свойства покрытий, после отжига на воздухе и в вакууме при различной температуре

Покрытие	Твёрдость H, ГПа	Модуль упругости E, ГПа	H/E	H ³ /E ²
Без термообработки				
Cu/a-C	5,5	140,4	0,039	0,008
Температура термообработки (150 ± 20) °С				
Cu/a-C	3,8	147,9	0,025	0,003
Температура термообработки (350 ± 20) °С				
Cu/a-C	4,4	151,8	0,028	0,003
Температура термообработки (350±20) °С в вакууме				
Cu/a-C	4,8	156,3	0,031	0,004

Анализ значений твёрдости и модуля упругости показал, что режим термообработки оказывает влияние на их значения, так при температуре отжига 150 °С на воздухе наблюдается снижение твёрдости Cu/a-C покрытий, что связано как с протеканием процессов термоокислительной деструкции углеродного слоя, так и с изменением структуры подслоя [9,10].

1. Пилипцов, Д.Г. Композиционные углеродные покрытия, осажденные из импульсной катодной плазмы / Д.Г. Пилипцов [и др.]. – 2020. – М.: Радиотехника. – 283 с.

2. Synthesis of diamond-like carbon film on copper and titanium interlayer by vacuum cathode arc evaporation / Bing Zhou [et al.] // *Applied Mechanics and Materials*. – 2012. – Vol. 189. – P. 167 – 171.
3. Bonding structure and mechanical properties of carbon nitride bilayer films with Ti and TiN interlayer / Bing Zhou [et al.] // *Surface and Interface Analysis*. – 2014. – Vol. 345 – 346. – P. 460 – 475.
4. Берлин, Е.В. Получение тонких пленок реактивным магнетронным распылением / Е.В. Берлин, Л.А. Сейдман. – 2014. – М.: Техносфера. – 256 с.
5. Nanoindentation testing on copper/diamond-like carbon bi-layer films / N. Dwivedi [et al.] // *Current Applied Physics*. – 2011. – Vol. 12. – P. 247–253.
6. Crystallite size dependence of the coefficient of thermal expansion of metals / Y. Kuru [et al.] // *Applied Physics Letters*. – 2007. – Vol. 90. – P. 243113 (1–3).
7. Structure and optical properties of Cu-DLC composite films deposited by cathode arc with double-excitation source / B. Zhou [et al.] // *Diamond and Related Materials*. – 2016. – Vol. 69. – P. 191 – 197.
8. Investigation of properties of Cu containing DLC films produced by PECVD process / N. Dwivedi [et al.] // *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. – 2012. – Vol. 73. – P. 308 – 316.
9. Utilising H/E to predict fretting wear performance of DLC coating systems [Electronic resource] / S. J. McMaster // *Tribology Intern*. – 2023. – Vol. 185.
10. Dwivedi, N. Superhard behaviour, low residual stress, and unique structure in diamond-like carbon films by simple bilayer approach / N. Dwivedi, S. Kumar, H. K. Malik // *J. of Appl. Physics*. – 2012. – Vol. 112, № 2. – P. 023518-1 – 023518-15.

ИОНООБМЕННЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ КРЕМНЕЗОЛЕЙ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Ю.А. Столбунова, И.М. Кимленко

УО «Белорусский государственный университет», Минск, Беларусь; juliastolbonova7@gmail.com

В настоящее время основным материалом для производства микрoeлектронных устройств является кремний. При этом к качеству поверхности кремниевых пластин при создании микросхем предъявляются высокие требования. Наиболее эффективным методом получения гладкой поверхности пластин является химико-механическое полирование с использованием полирующих суспензий на основе наноразмерных частиц диоксида кремния [1]. Известны различные методы синтеза зольей кремниевой кислоты, но в промышленности чаще всего применяется метод ионного обмена, при этом известны различные модификации данного процесса [2, 3].

Цель

Изучение возможности применения ионитов различного типа для получения кремнезольей.

Материалы и методы

В качестве исходных материалов для получения зольей диоксида кремния использовали жидкое натриевое стекло с массовой долей SiO_2 30 % и рН 9, сульфокатиониты КУ-2-8, ФИБАН К-1, сульфоуголь LANXESS. Ионный обмен осуществляли в статических и динамических условиях. Исследование свойств полученных систем проводили методами турбидиметрии, спектрофотометрии, ИК-спектроскопии, лазерной дифракции, вискозиметрии.

Результаты и их обсуждение

С целью получения чистых коллоидных композиций на основе диоксида кремния проведена предварительная очистка ионитов от остаточных примесей и изучена возможность использования для этого растворов кислот различной силы и основности. Получены коллоидные дисперсии диоксида кремния, устойчивые в течение нескольких месяцев. Методом лазерной дифракции установлена однородность полученных систем по дисперсному составу. Показано, что ИК-спектры ксерогелей, образовавшихся из зольей,

отличаются от ИК-спектра исходного жидкого стекла. В ИК-спектрах исследованных систем обнаружены полосы, в целом характерные для аморфного гидроксированного кремнезема.

Определены реологические характеристики полученных образцов. На рисунке 1 в качестве примера приведена частотная зависимость комплексной вязкости кремнезоля, полученного с помощью катионита ФИБАН К-1. Величина комплексной вязкости описывает ответ материала на приложенные напряжения и дает понимание, как влияет состав, концентрация частиц и условия на его стабильность [4].

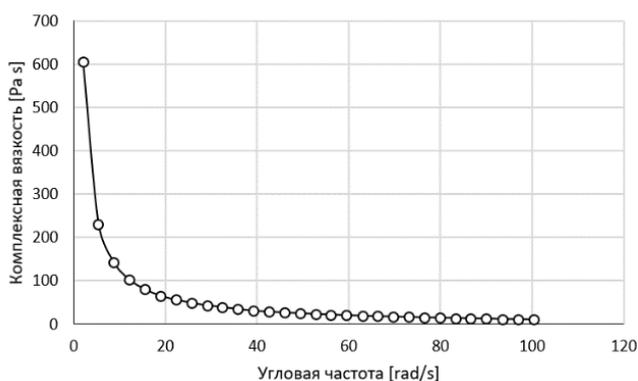


Рис. 1. Частотная зависимость комплексной вязкости кремнезоля, полученного с помощью катионита ФИБАН К-1

Результаты исследования позволят в дальнейшем оптимизировать условия получения коллоидных дисперсий диоксида кремния ионообменным методом. Следует отметить, что достоинствами метода ионного обмена являются простота, возможность непосредственного получения золь без длительных операций диализа и промывки, а также повторного использования ионитов после их регенерации.

1. Косенок Я. А., Гайшун В. Е., Тюленкова О. И. Исследование приповерхностного нарушенного слоя в пластинах монокристаллического кремния после химико-механической полировки // Проблемы физики, математики и техники. — 2018 (37), № 4, 25—29.
2. Шабанова Н. А., Саркисов П. Д. Основы золь-гель технологии нанодисперсного кремнезема. — М.: ИКЦ «Академкнига». — 2004.
3. Косенок Я. А., Гайшун В. Е., Васьекевич В. В. [и др.]. Концентрированные композиции на основе наноразмерных частиц диоксида кремния, полученные по ионообменной технологии // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. — 2022, № 3, 55-61.
4. Малкин А. Я. Основы реологии. — ЦОП Профессия. — 2018.

Работа выполнена в рамках ГПНИ Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорхимия» (подпрограмма «Химические процессы, реагенты и технологии», НИР № г.р. 20211554).

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МЕЖФАЗНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В СМЕСЯХ ПОЛИАМИДА 6 С АЛИФАТИЧЕСКИМ ПОЛИКЕТОНОМ

В.Н. Усова, Ю.М. Кривогуз

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

Введение. В последние годы проявляется устойчивый интерес к исследованию свойств смесей полиамида 6 (ПА6) с алифатическим поликетеном (АПК) [1, 2], где АПК выступает в роли модифицирующего компонента, за счет комплекса его уникальных свойств. Смешение ПА6 с другими полимерами является привлекательным способом получения

новых материалов, однако большинство ПА смесей являются несовместимыми. Вследствие присутствия в структуре макромолекул АПК кетонных $-C=O$ групп, а у ПА – аминных и амидных групп, у данных полимеров имеются предпосылки для достижения удовлетворительной совместимости за счет реализации межфазных взаимодействий при их смешении в расплаве. Однако к настоящему времени вопросы совместимости ПА с АПК изучены достаточно слабо: отсутствуют комплексные исследования особенностей структуры и свойств смесей ПА6 с АПК с последующим установлением их связи с совместимостью, вследствие чего затрудняется целенаправленная разработка новых материалов на основе смесей ПА и АПК.

Цель работы – анализ совместимости ПА6 и АПК, изучение межфазных взаимодействий между данными полимерными компонентами и структуры смесей ПА6 с АПК.

Материалы и методы исследований. В настоящей работе базовыми объектами исследования служили ПА6 (марка для контакта с пищевыми продуктами, производства ОАО «Гродно-Азот», РБ) и АПК (марка M710F, производства фирмы «Hyosung Corporation», Ю. Корея).

Получение бинарных смесей ПА6 с АПК осуществляли с применением экструзионно-грануляционной линии на базе двухшнекового экструдера TSSK 35/40 с однонаправленным вращением шнеков. Температурный режим в основных зонах смешения материального цилиндра экструдера составлял порядка 240 °С, а частота оборотов шнека 350 об / мин.

Исследования методом релаксационной спектроскопии проводили с помощью обратного крутильного маятника конструкции ИММС НАН Беларуси при опорной частоте 1 Гц. Использовали образцы в виде пластин размером 50 × 4 × 1 мм.

Анализ кристаллической структуры материалов осуществляли с помощью дифференциально сканирующего калориметра DSC 214 Polyma (Netzsch-Gerätebau GmbH, Германия). Масса навески — 7 мг, скорость нагрева и охлаждения в токе азота — 10 °С / мин.

ИК-спектральный анализ исследуемых материалов осуществляли на ИК-спектрометре с Фурье-преобразованием Nicolet 5700 (USA). Запись спектров осуществляли при разрешении 4 см⁻¹ и количестве сканирований 30.

Результаты и их обсуждение. С помощью релаксационной спектроскопии показано, что изученные смеси ПА6/АПК имеют одну температуру стеклования, расположенную на температурной шкале между T_g исходных ПА6 и АПК. Установлено также, что в данных смесях пик β-релаксации ПА6, ответственный за локальное движение мелкомасштабных структурных единиц основной цепи и боковых ответвлений, обобществляется с β-пиком АПК. На этом основании сделаны выводы о совместимости ПА6 и АПК на сегментальном и мелкомасштабном уровне. Показано взаимовлияние полимерных компонентов в смесях ПА6/АПК на динамический модуль сдвига, которое проявляется в зависимости модуля от концентрации полимеров в исследуемых смесях и выходе величины модуля сдвига смеси в диапазоне положительных температур (особенно вблизи температур стеклования) за пределы, ограниченные значениями модулей исходных ПА6 и АПК.

Методом ДСК-анализа обнаружено замедление процессов кристаллизации ПА6 и АПК в их смесях, что, вероятно, обусловлено формированием обширных межфазных (переходных) слоев, в которых вследствие межмолекулярных взаимодействий затрудняется кристаллизация полимерных компонентов.

Анализ ИК-спектров в области 3000–3800 см⁻¹ позволил предположить образование водородных связей между полиамидными –NH группами и карбонилами –C=O, входящими в состав АПК, что способствует росту совместимости полимерных компонентов исследуемых смесей.

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (грант № T24M-016).

1. High impact strength of aliphatic polyketone/polyamide 6 blends induced by a chemical reaction / Hong Gu Kwon [et al.] // Journal of Elastomers and Plastics. – 2023. – Vol. 55, №4. <https://doi.org/10.1177/00952443231158781>.
2. High impact properties of Polyketone/Polyamide 6 alloys induced by characteristic morphology and water absorption / Atsushi Asano [et al.] // Macromolecules. – 2009. – Vol. 42, № 24. – P. 9506–9514. <https://doi:10.1021/MA901428z>.

ОЦЕНКА ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ПОЛИПРОПИЛЕНА И НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ МЕТОДОМ КАПИЛЛЯРНОЙ ПОРОМЕТРИИ

В.Ю. Шумская¹, В.Ю. Гарбарук²

¹ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси»,
Гомель, Беларусь, viktoriya-shumsk@mail.ru

²ОДО «Научно-технический центр ЛАРТА», Гомель, Беларусь

Введение

Фильтрующий материал (ФМ) является одним из важнейших элементов любой фильтрующей системы [1–3]. Технологии производства ФМ постоянно развиваются, благодаря чему растет эффективность работы фильтрующих элементов (ФЭ). Ранее ФМ производились преимущественно из натуральных составляющих: целлюлозы, шерсти, хлопка. На смену им пришли синтетические полимеры: из полипропилена, полиамида, полиэфира и др. В настоящее время на рынке появился новый вид ФМ — металлический войлок из нержавеющей стали (МВН), изучение пористой структуры которого представляет научный интерес.

Выбор ФМ имеет важное значение для получения требуемого результата процесса фильтрации. Основными определяемыми эксплуатационными характеристиками для ФМ и ФЭ являются эффективность фильтрации и перепад давления. Однако при выборе ФМ для конкретного применения, ориентация только на фильтрационные характеристики может привести к ошибочным выводам при прогнозировании процесса фильтрации. Поэтому, при проектировании фильтров, необходимо определять такие характеристики пористой структуры ФМ как размер пор, распределение пор по размерам и газопроницаемость.

Цель

Исследование пористой структуры волокнисто-пористого фильтрующего материала из полипропилена (ВПФМ ПП) и металлического войлока из нержавеющей стали (МВН) — методами капиллярной порометрии и растровой электронной микроскопии.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования использовали: МВН из нержавеющей стали AISI 316L («Xinxiang Aida Machinery», КНР) с указанной производителем номинальной толщиной фильтрации 3 мкм, 5 мкм и 10 мкм (МВН-3, МВН-5 и МВН-10 соответственно) и толщиной 0,65 мм, металлического войлока сформированного на металлической сетке с ячейкой 0,4×0,4 мм (МВНС) общей толщиной 1 мм с аналогичной толщиной фильтрации, а также ВПФМ ПП толщиной 1 мм, изготовленный в ОДО «Научно-технический центр ЛАРТА» по технологии аэродинамической вытяжки расплава из ПП Vorflow HL512FB («Vorealis», Австрия) с номинальной толщиной фильтрации 15 мкм.

Морфологию поверхности образцов исследовали методом РЭМ на приборе «Vega II LSH» («Tescan», Чехия). Размер пор, распределение пор по размерам, газопроницаемость проводили методом газожидкостной порометрии на приборе «POROLUX™ 500» («IB-FT», Германия) [4]. В качестве смачивающей жидкости использовали состав Porefil («IB-FT», Германия) с поверхностным натяжением 16 дин/см.

Результаты и их обсуждение

Определено, что структура исследуемых материалов сформирована хаотично уложенными волокнами цилиндрической формы, без дефектов, в местах пересечений волокна соединены между собой. Визуально оценена различная плотность упаковки волокон. Диаметры волокон МВН и МВНС с толщиной фильтрации 3 мкм, 5 мкм, 10 мкм находятся в диапазонах 10–15 мкм, 16–20 мкм, 20–22 мкм соответственно, а у ВПФМ ПП 20–25 мкм.

Таблица 1. Характеристики пористой структуры МВН и ВПФМ ПП

Образец	Максимальная пора, мкм	Средняя пора, мкм	Минимальная пора, мкм	Коэффициент газопроницаемости, мкм ²	Интервал размера пор, через которые проходит 90 % потока, мкм
МВН-3мкм	10,39	4,181	3,434	4,495	6,3-4
МВНС-3мкм	10,72	3,425	2,743	5,156	5,7-3,4
МВН-5мкм	16,33	5,845	4,565	4,100	10-5,5
МВНС-5мкм	16,31	4,921	3,948	7,257	10-4
МВН-10мкм	19,05	10,08	8,481	7,429	16-9
МВНС-10мкм	19,03	8,645	5,659	9,674	14-8
ВПФМ ПП	57,09	26,65	5,222	19,640	45-12

Установлено, что образцы МВН-3 и МВН-5 имеют более широкое распределение пор по сравнению с МВН-10. Среди всех исследуемых материалов на основе металлического войлока наибольший процент потока 60 %, проходящий через основную пору размером 4,08 мкм, у МВН-3, что обусловлено более плотной упаковкой волокон и большим количеством волокон на единицу толщины материала. Для МВНС наблюдается тенденция к снижению процента потока, проходящего через основную пору, в 2 раза — более широкий интервал распределения размеров пор со смещением в сторону меньших размеров.

По данным табл. 1 видно, что коэффициент газопроницаемости для материалов с толщиной очистки 3 мкм и 5 мкм в 1,6–1,8 раз ниже, чем для 10 мкм. Отмечено, что формирование металлического войлока на сетке снижает газопроницаемость в 1,1–1,8 раз. Установлено, что при различном размере и распределении основных пор у образцов МВН-3 и МВН-5, практически одинакова зависимость газопроницаемости от давления и незначительная разница в значениях коэффициента газопроницаемости, порядка 9 %.

При сравнении пористой структуры ВПФМ ПП с МВН-10, имеющих сопоставимые толщину (0,75 мм) и диаметр основных волокон (20–25 мкм), отмечено более широкое распределение пор по размерам у материала на основе ПП. Установлено, что у ВПФМ ПП 90 % потока проходит через поры в диапазоне 45–12 мкм, а у МВН-10 90 % потока проходит через поры в диапазоне 16–9 мкм. Сравнение значений газопроницаемости показывает, что ее величина больше у ВПФМ ПП, так при давлении в 0,1 бар через этот материал проходит поток 182 л / мин, а через материал МВН-10 с сопоставимым диаметром волокна — 130 л / мин. Аналогичная разница определена и для коэффициента газопроницаемости 19,64 мкм² и 7,429 мкм² соответственно.

Вывод

Полученные данные позволяют предположить, что фильтры из МВН, в сравнении с ВПФМ ПП, будут иметь более высокую эффективность фильтрации, но в тоже время и более высокий перепад давления. Результаты работы могут быть использованы при проектировании и изготовлении различных фильтров.

Работа выполнена по ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии», подпрограмма «8.4 Многофункциональные и композиционные материалы», задание № 4.2.2, НИР 3.

Ссылки на использованные источники

1. Charvet A., Gonthier Y., Bernis A., Gonze E. Filtration of liquid aerosols with a horizontal fibrous filter // Chemical Engineering Research and Design, 2008, vol. 86, is. 6, pp. 569–576.
2. Bitten J. F., Fochtman E. G. Water distribution in Fibrous bed coalescers // Journal of Colloid and Interface Science, 1971, vol. 37, is. 2, pp. 312–317.
3. Басманов П. И., Кириченко В. Н., Филатов Ю. Н., Юров Ю. Л. Высокоэффективная очистка газов от аэрозолей фильтрами Петрянова. Москва. : Наука, 2002. 193 с.
4. Инструкция по эксплуатации порометр POROLUX 500: IB-FT GmbH по состоянию на 25.11.2021. Берлин, Германия, 2021. 130 с.

ФОРМОВОЧНЫЕ СВОЙСТВА ТЕКСТИЛЬНЫХ ОСНОВ ИСКУССТВЕННЫХ КОЖ

В.Д. Борозна

УО «Витебский государственный технологический университет», Витебск, Беларусь, wilij@mail.ru

Введение. Обувная промышленность является одной из динамично развивающейся отраслей с высоким уровнем конкуренции. С целью обеспечения постоянного спроса на обувь, производители вынуждены разрабатывать и внедрять новые технологии и материалы на всех этапах проектирования и изготовления обуви.

Для того чтобы удовлетворить спрос потребителей и улучшить потребительские свойства обуви, все больше стали применять композиционные материалы, к которым можно отнести композиционные текстильные материалы (например, мембранные материалы) и искусственные кожи.

Обувь является сложным инженерным объектом, который строится по принципу иерархичности (рис. 1).

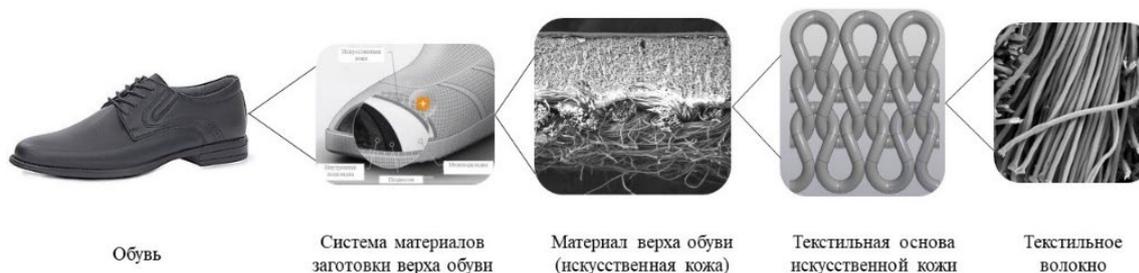


Рис. 1. Структурные элементы обуви

Материалы верха обуви подвергаются сложным деформационным воздействиям. Они должны обеспечивать выполнение технологических операций при формовании верха обуви, а также хорошо приформовываться к стопе и сохранять заданную форму в процессе эксплуатации.

В процессе формования верха обуви материал верха подвергается деформированию до 15 % при внутреннем способе формования. На рисунке 2 указаны средние значения деформаций материала верха при формовании на поверхности обувной колодки в процессе изготовления обуви внутреннего способа формования.

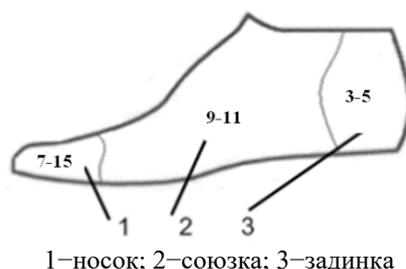


Рис. 2. Схема распределения деформаций (%) в заготовке верха при внутреннем формовании

Таким образом, плоский материал при приобретении необходимой формы на колодке испытывает различные значения продольной и поперечной деформации и поэтому должен обладать определёнными деформационными свойствами, которые обуславливают не только его способность к формованию, но и позволяют прогнозировать сохранение в дальнейшем приобретённой формы. Такие свойства материалов называют формовочными свойствами материала. Под формовочными свойствами заготовки понимают способность заготовки при правильной её установке плотно облегать поверхность колодки без перекосов и «пузырей» [1]. Функциональные свойства искусственной кожи (ИК), а именно формовочные свойства и формоустойчивость, во много зависит от макроструктуры текстильной основы.

В связи с вышесказанным **целью исследования** является изучение влияния различной макроструктуры на деформационные свойства материалов.

Материалы и методы. Объектом исследования была взята ткань с полотняным переплетением и саржевым переплетением из хлопчатобумажных и полиэфирных волокон.

Образцы материала с рабочей частью 35 мм подвергали двухосному растяжению с помощью универсального устройства к разрывной машине [2]. Перед формованием образцы подвергаются технологической обработке в соответствии с режимами, действующими в реальных производственных условиях. Выкраиваемые образцы разогревались в термостате до 120°C в течение 3 минут. Затем их вставляли в устройство и деформировались на 5 %, 10 % и 15 % с последующим измерением максимальной высоты образца, находящегося на пуансоне $h_{\text{общ}}$ (мм). После образцы выдерживают при нормальных условиях в течение 30 минут, что примерно соответствует времени от операции «фиксации формы» до «снятие обуви с колодки», а затем его освобождают из устройства и вновь выдерживают в нормальных условиях с относительной влажностью воздуха 60-70 % и температурой 18-22 °C не менее 24 ч. Последующие замеры высоты проводились через 24 часа после снятия образца с пуансона с помощью электронно-цифрового штангенрейсмуса с точностью до 0,01 мм, так как приблизительно через этот промежуток времени в основном завершаются релаксационные процессы в отформованном материале. По полученным значениям рассчитывались остаточное удлинение и коэффициент формоустойчивости.

Результаты и их обсуждение. Ткань с саржевым переплетением имеет более высокий коэффициент формоустойчивости при деформации на 15 %, чем ткань с полотняным переплетением. Это объясняется особенностью переплетения тканей. Саржевое переплетение имеет меньшую площадь перекрытия уточной нити основной, что позволяет структуре материала легче перестраиваться с меньшим внутренним напряжением.

Установлено, что в тканях полотняного и саржевого переплетений имеется область деформации, в которой их формоустойчивость принимает свое наивысшее значение, что свидетельствует об изменениях в макроструктуре материала и появлении псевдоустойчивого равновесия. Последнее позволяет вносить корректировки в режимы технологического процесса формования заготовок верха и тем самым обеспечивать изготовление качественной продукции, т.е. формировать потребительские свойства обуви.

Изучение макроструктуры текстильной основы и разработка рациональной структуры текстильных основ искусственных кож позволят усовершенствовать ассортимент выпускаемых искусственных кож с учетом производственных и потребительских требований.

Список использованных источников

1. Борозна, В.Д. Деформационные свойства обувных искусственных кож / В.Д. Борозна, А.П. Дмитриев, А.Н. Буркин, под общ. ред. А.Н. Буркина. – Витебск: УО «ВГТУ», 2021. – 254 с.
2. Универсальное устройство к разрывной машине для испытания на растяжение образца материала верха обуви: пат. ВУ 20437 / А. Н. Буркин, О. А. Петрова-Буркина, В. Д. Борозна, А. П. Дмитриев, Ю. М. Кукушкина, В. А. Окуневич. – Оpub. 08.06.2016.

ЭЛЕКТРОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ДИФФУЗНОГО ОТРАЖЕНИЯ КАК МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ТОНКОГО ПРИПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.Г. Киселевич, Е.А. Соснов

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),
Санкт-Петербург, России, anastasia.kiselevich@yandex.ru

Совершенствование технологий создания наноразмерных структур и нанопокровов на твердофазных матрицах, способных существенно изменять физико-химические свойства исходных материалов [1], настоятельно требует развития методов неразрушающего контроля строения и свойств тонкого приповерхностного слоя как исходной матрицы, так и наносимого тонкопленочного покрытия.

В данной работе рассмотрено применение электронной спектроскопии диффузного отражения (ЭСДО) - метода, позволяющего охарактеризовать координационное состояние атомов в тонком приповерхностном слое вещества. Толщина анализируемого слоя не превышает 5 нм [2] (а по экспериментальным данным – составляет 1,5-2 нм [3]), что делает данный метод перспективным для оценки строения и свойств поверхности функциональных материалов. В качестве объекта анализа был выбран диоксид циркония (ZrO_2), являющийся востребованным термостойким материалом-носителем каталитически активных структур. Однако особенностью ZrO_2 являются его полиморфизм и высокая дефектность анионной подрешетки материала, что делает оценку строения его приповерхностного слоя нетривиальной задачей.

Исследования осуществляли на наноразмерном порошке ZrO_2 , полученном аммиачным осаждением из раствора $ZrO(NO_3)_2$ и подвергнутом термической обработке в диапазоне температур 300-1300 °С. Фазовый состав материала контролировали методом рентгенофазового анализа. Спектры ЭСДО получены на спектрофотометре Specord M40 (Carl Zeiss, Германия) с фотометрическим шаром в диапазоне 220-700 нм с шагом 1 нм. Участки спектров в области границы фундаментального поглощения разделяли на составляющие, описываемые распределением Ферми-Дирака [4].

В результате математической обработки спектров ЭСДО установлены спектральные переходы, отвечающие нескольким координационным состояниям атома циркония. Сопоставление с результатами РФА и данными других исследователей позволило соотнести полосу фундаментального поглощения с границей ~5,05 эВ с координационным состоянием атома циркония в составе моноклинной, а ~4,65 эВ – тетрагональной полиморфной модификации ZrO_2 . Установлено формирование в запрещенной зоне ZrO_2 ряда уровней, отвечающих образованию кислородных вакансий в его составе, и предложены схемы зонной структуры обнаруженных полиморфных модификаций диоксида циркония.

Список использованных источников

1. Малыгин А. А., Малков А. А., Соснов Е. А. Структурно-размерные эффекты и их применение в системах "ядро-нанооболочка", синтезированных методом молекулярного наслаивания // Известия Академии наук. Серия химическая. – 2017. № 11, 1939-1962.

2. Крылов О. В., Киселёв В. Ф. Адсорбция и катализ на переходных металлах и оксидах. – М.: Химия, 1981. – 288 с.

3. Малков А. А., Кукушкина Ю. А., Соснов Е. А., Малыгин А. А. Синтез титаноксидных наноструктур методом молекулярного наслаивания на поверхности $\gamma-Al_2O_3$ // Неорганические материалы. – 2020. (56), № 12, 1303–1310.

4. Соснов Е. А., Малков А. А., Малыгин А. А. Новый вариант обработки электронных спектров диффузного отражения // Журнал физической химии. - 2009. (83), № 4, 746-752.

ФОРМИРОВАНИЕ КРАТЕРА ВО ВРЕМЯ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

Ковалёва Я.А.

ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси»,
Гомель, Беларусь; yara.kov99@mail.ru

Введение. Начальное тепло, выделяемое при поглощении лазерных фотонов, приводит к образованию кратера расплава в зоне взаимодействия лазера с подложкой. В дальнейшем создается высокое давление, называемое также давлением отдачи, которое выталкивает расплавленные материалы из кратера [1, 2]. В случае лазерной абляции политетрафторэтилена (ПТФЭ), такими макроскопическими материалами является «вата» [3]. Целью данной работы было изучение кинетики образования кратера образцов ПТФЭ в вакууме.

Материалы и методы. Лазерная абляция образцов ПТФЭ проводилась на вакуумной установке ВУП-4 с различным временем выдержки под непрерывным излучением CO₂-лазера средней интенсивностью 50-80 Вт/см². Использовались образцы размером 10x10x10 мм, что сравнимо с диаметром луча лазера ~8 мм. Одновременно при облучении проводился непрерывный мониторинг изменения массы образца с помощью микровесов, на которых размещался облучаемый образец. Сканирование поверхности образцов проводилось с помощью оптического 3D-сканера RangeVision Neopoint (Россия, принцип сканирования – ИК структурированный подсвет, 3D точность – до 50 мкм), расчет и исследование поверхности – в программном обеспечении сканера – RV 3D Studio.

Результаты и обсуждение. Были получены графики изменения силы давления на подложку P во время лазерной абляции (рис. 1).

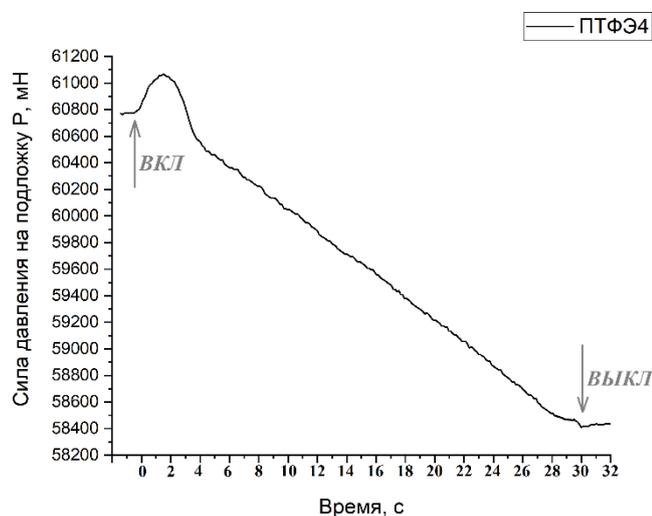


Рис. 1. Вид графика изменения силы давления на подложку P во время лазерной абляции: образец ПТФЭ 4 – время излучения 30 с.

После лазерной абляции проводилось 3D сканирование поверхности кратера полученных образцов (рис. 2).

Из полученных сканов были рассчитаны объемные характеристики и скорость роста кратера. Полученные значения представлены в таблице 1.

На первых секундах происходит разогрев поверхности ПТФЭ (инкубационный период), из-за чего скорость роста объема кратера и скорость потери массы не велики. После 5 секунды данные скорости выходят на постоянный рост.

Не смотря на существенное увеличение площади поверхности кратера и снижения

интенсивности лазерного излучения наблюдается увеличение скорости роста кратера после 30 секунд облучения. После 75 секунд наблюдается уменьшение скорости потери массы.

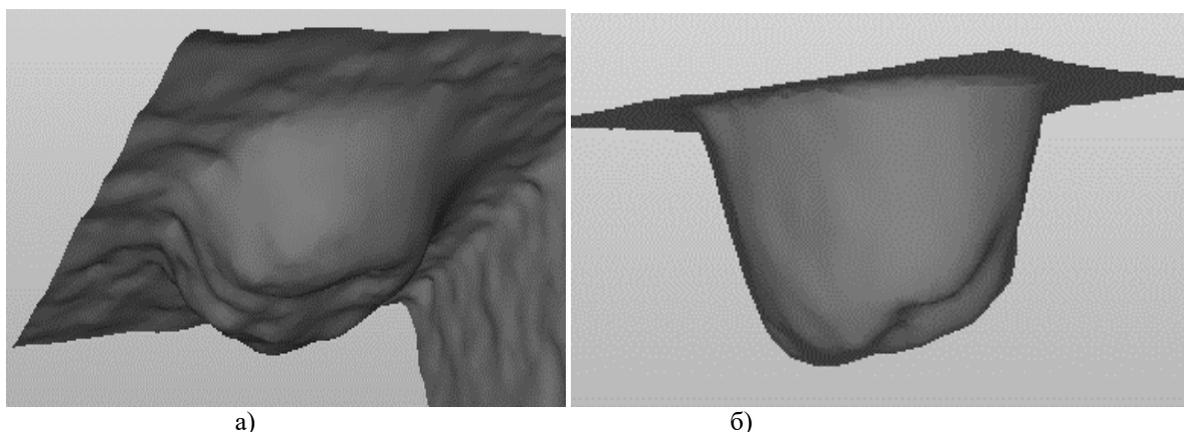


Рис. 2. Вид сканов поверхности образцов ПТФЭ после лазерной абляции: а) время излучения 45 с; б) время излучения 120 с.

Таблица 1. Значения объемных характеристик и скорости роста кратера для образцов ПТФЭ

Время облучения t , с	Объем кратера V , мм ³	Скорость роста объема кратера V_v , мм ³ /с	Потеря массы Δm , мг	Скорость потери массы V_m , мг/с	Кажущаяся плотность удаленного материала ρ , мг/мл
5	9,6	1.92	24	4.80	2.5
10	27,7	2.77	65	6.50	2.35
15	40,7	2.71	107	7.13	2.63
30	84,9	2.83	235	7.83	2.77
45	212,2	4.72	383	8.51	1.80
75	363,4	4.85	700	9.33	1.93
90	418,9	4.65	720	8.00	1,72
105	514,7	4.90	803	7.65	1,56
120	545,7	4.55	875	7.29	1.60

Соотношение массы унесенного полимера и объема кратера дает его «кажущуюся» плотность. Эта величина заведомо завышена, так как после выключения лазера часть полимера в виде «ваты» падает на образец. Первые 30 секунд эта величина соответствует ПТФЭ, но в дальнейшем резко снижается. Это означает, что объем кратера увеличивается не только за счет выноса из него полимера, но и за счет действия давления газа на стенки образца, которые к этому времени прогреваются.

Таким образом, появляется возможность прямого определения давления тетрафторэтилена в кратере в ходе абляции.

Список использованных источников

1. Brown M. S. Fundamentals of Laser-Material Interaction and Application to Multiscale Surface Modification / Brown M. S., Arnold C. B. // Laser Precision Microfabrication Springer Series in Materials Science. Berlin, Heidelberg: Springer. –2010. – С. 91–120.
2. Ahmed N., Darwish saied, Al-Ahmari A. Laser Ablation and Laser-Hybrid Ablation Processes: A Review / Ahmed N., Darwish saied, Al-Ahmari A. // Materials and Manufacturing Processes. –2015. –Т. 31. –№ 9. – С. 1121 – 1142.
3. Гракович П.Н. Лазерная абляция политетрафторэтилена / Гракович П.Н., Иванов Л.Ф., Калинин Л.А., Рябченко И.Л., Толстопятов Е.М, Красовский А.М. // Российский химический журнал. –2008. –Т. 52. – № 3. – С. 97–105.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО СКОРОСТЯМ И РАЗМЕРАМ ПОЛИДИСПЕРСНЫХ ПРОДУКТОВ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ ПТФЭ В ВАКУУМЕ

Ковалёва Я.А.

ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси»,
Гомель, Беларусь; yara.kov99@mail.ru

Введение. Обнаруженный ранее эффект аномально быстрого разложения политетрафторэтилена (ПТФЭ, Фторопласт-4, тефлон) под действием непрерывного излучения CO₂-лазера (длина волны 10.6 мкм) с выделением волокнистых частиц позволил создать новую технологию переработки ПТФЭ в уникальные пористые материалы [1, 2]. Однако процесс лазерной абляции ПТФЭ изучен далеко не полно.

Целью данной работы было получение значения размеров частиц ПТФЭ и их скоростей в газок капельном потоке, образующемся при воздействии лазерного излучения в вакууме.

Материалы и методы. Лазерная абляция образцов блочного ПТФЭ проводилась на опытно-промышленной установке для вакуумного напыления политетрафторэтилена с мощностью лазера 100 Вт по схеме на рисунке 1.

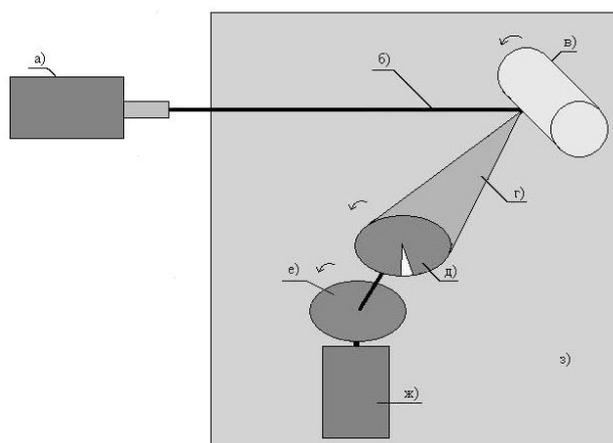


Рис. 1. Схема эксперимента: а) лазер; б) лазерное излучение; в) блок исследуемого ПТФЭ; г) поток частиц ПТФЭ; д) диск с отверстием; е) диск с осажденными частицами ПТФЭ; ж) двигатель для дисков; з) вакуумная камера.

Результаты и обсуждение. На рис. 2 показана фотография части вращающегося диска устройства для измерения скорости полета частиц, на которой хорошо видно наличие частиц двух типов: крупных, размером в несколько сот мкм, представляющих собой вытянутые тяжи расплава, и мелких, размером в несколько мкм и более, округлой формы. Образование вытянутых частиц возможно только при растягивании еще связанных со слоем полимера частицы газовым потоком. Из рис. 2 видно, что основная масса частиц имеет скорость 20-80 м / с, однако существует большое количество мелких частиц, летящих со скоростью 160-300 м/с и более. Очевидно, что скорость газа, исходящего из кратера, превышает скорость полета частиц и превышает скорость звука в воздухе.

На дисках по изображениям, полученным с помощью микроскопа на участках 3,5 x 2,5 см (50 % от области попадания основной массы частиц), было сделано разделение на крупную и мелкую фракцию. В графической программе вручную рассчитывались длина и ширина частиц с пересчетом из пикселей в микрометры.

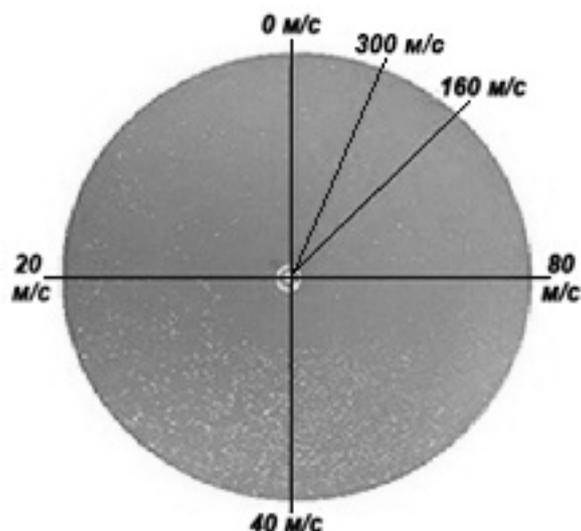


Рис. 2. Фотография диска с осажденными частицами.

Таким образом получается распределение частиц по размерам (рис. 3) на небольших областях исследуемых дисков, с разделением на крупную и мелкую фракцию. Так как множество частиц имеют одинаковые размеры (особенно мелкая фракция), можно сделать предположение, что на оставшихся областях дисков размеры будут такие же.

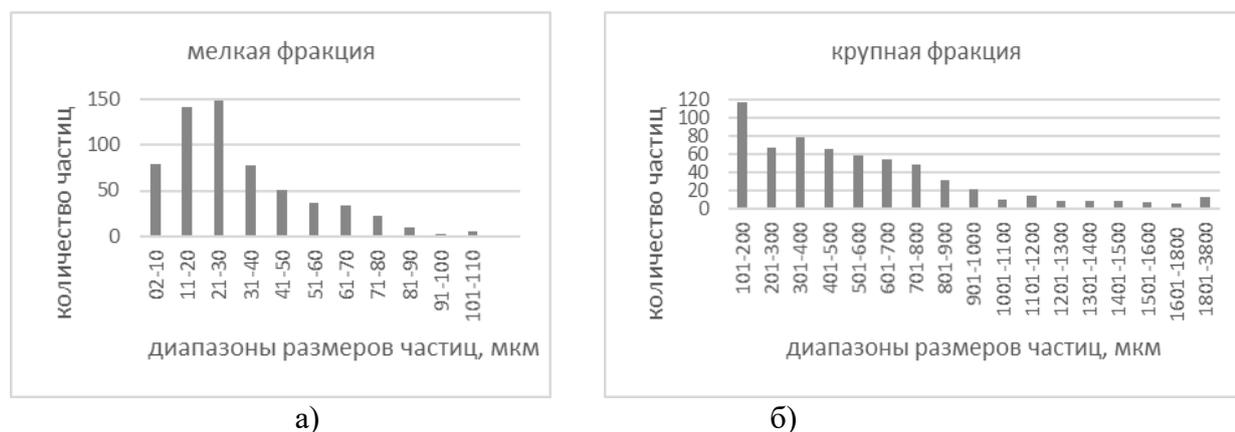


Рис. 3. Распределение количества частиц по размерам: а) мелкая фракция; б) крупная фракция

Выводы. Из полученных распределений видно, что основной размер частиц, исходя из их количества, для мелкой фракции лежит в диапазоне 2-40 мкм и разгоняется до скорости 200 м / с, для крупной фракции данный диапазон составляет – 100-800 мкм летит со скоростями от 20 до 80 м / с (основная масса частиц имеет скорость 30-60 м / с).

Проведенное исследование распределения дисперсных частиц по скоростям и размерам позволило определить зоны оседания частиц, что дает возможность формировать слой ПТФЭ различной пористости на одной подложке.

Список использованных источников

- Гракович П.Н. Лазерная абляция политетрафторэтилена / Гракович П.Н., Иванов Л.Ф., Калинин Л.А., Рябченко И.Л, Толстопятов Е.М, Красовский А.М. // Российский химический журнал. –2008. –Т. 52. –№ 3. –С. 97–105.
- Ковалёва Я.А. Изучение полёта частиц политетрафторэтилена путём лазерной абляции // Молодёжь в науке: материалы XVIII Международной научной конференции (г. Минск, 27-30 сентября 2021 г.) / Национальная академия наук Беларуси. – Минск, 2021. – С.252-254.

РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА СОЗДАНИЯ ВЫЖИГАЕМОЙ МАСТЕР-МОДЕЛИ ДЕТАЛИ «ВИЛКА» ПРИ ПОМОЩИ ТРЕХМЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А.Д. Лёвкина

УО «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого»,
Гомель, Беларусь, nastya0123@gstu.by

Основным методом изготовления деталей из металла является метод литья, так как может обеспечить точность исполнения поверхности детали, изготовление их большого количества и обеспечивает высокую повторяемость этих деталей.

Однако метод литья имеет ряд недостатков. Изготовление технологической оснастки для данного процесса (в частности, если речь идет о деталях со сложной геометрией), как и отладка самого процесса залива металла, занимает значительное количество времени. В современном обществе время для заказчика является важным и решающим критерием.

Современные технологии позволяют избежать многих производственных проблем. Если говорить об облегчении и ускорении создания технологической оснастки для деталей сложных форм – можно использовать метод литья по выжигаемым моделям, где сами выжигаемые модели производятся при помощи аддитивных технологий [1], которые позволяют создать деталь любой геометрической формы за короткий промежуток времени без потери качества детали не только различными материалами, но и с учетом различного заполнения, что непосредственно влияет на коэффициент зольности при литье.

Для проведения исследования была разработана и оптимизирована трехмерная модель детали «Вилка» в программном обеспечении (ПО) Solidworks (рисунок 1). Деталь имеет поверхности, обработку которых можно производить стандартным инструментом, присутствуют не обрабатываемые поверхности, не имеющие определенных требований.

Обрабатываемые поверхности можно выделить двух типов: простой формы и поверхности, требующие применения сложного и специального инструмента. Так же есть поверхности, имеющие определенные требования к качеству, однако их обработка, за счет сложной геометрии детали, невозможна.

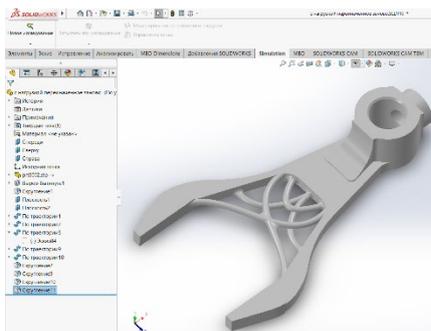


Рис. 1. Оптимизированная модель детали «Вилка»

Учитывая сложность конструкции оптимизированной детали, можно сделать вывод о том, что получить изделие на прямую методом литья невозможно - сложность конструкции детали не даст получить литейную форму, так как при извлечении образца из формы, полученная геометрия последней будет повреждена.

В связи с этим деталь будет производиться при помощи метода литья по выжигаемым моделям с учетом производства выжигаемых мастер-моделей при помощи трехмерных технологий.

3D-печать или аддитивное производство — это производственный процесс, при котором 3D-принтер создает трехмерные объекты путем нанесения материала слоями, в соответствии с цифровой 3D-моделью объекта.

Основное преимущество 3D-печати заключается в том, что детали могут иметь разную степень заполнения. С производственной точки зрения это снижает расход материала и себестоимость, а также вес конечного продукта. С точки зрения 3D печати это сильно экономит драгоценное время.

При создании выжигаемых мастер-моделей крайне важно контролировать такой параметр, как зольность [2] (массовая доля золы, содержание в процентах негорючего (на безводную массу) остатка, который создаётся из минеральных примесей топлива при его полном сгорании).

Для 3D-печати, выжигаемой мастер-модели наиболее рационально использовать такой материал, как пластик PLA [3]- материал с зольностью менее одной тысячной процента. Несмотря на это важно учесть, что при выжигании, мастер-модель должна иметь минимальное заполнение, чтобы на готовом литейном изделии не было золы. Исходя из вышесказанного выбираем плотность заполнения равной 8%. В зависимости от изменения параметра плотности заполнения, программа меняет параметр дистанция линий заполнения - 5 мм (если взять 5% заполнения, то значение дистанции будет равняться 8 мм; при проценте заполнения 6 (7) % значение дистанции будет дробным. При 5% заполнения мастер-модель может не выдержать нагрузок, оказываемых на неё при формовке).

Шаблон заполнения - зигзаг, так как он является оптимальным решением. При таком шаблоне возможность провисания материала при построении верхних слоёв и лишнего материала внутри модели минимальна.

Процент перекрытия заполнения равен 10 - небольшое перекрытие позволит стенкам надёжно соединиться с заполнением (рисунок 2).

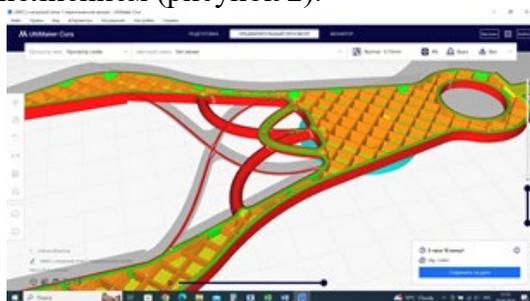


Рис. 2. Отображение внутреннего заполнения модели на 55 слое создания мастер-модели

Так же одно из основных требований к литью по выжигаемым моделям – это качество поверхности выжигаемой заготовки - она должна быть гладкой, с минимальной ребристостью. Для того, чтобы добиться такого качества были применены следующие настройки: высота слоя - 0.1 мм (чем тоньше слой, тем выше качество печати); высота первого слоя - 0.2 мм (данный параметр выбирается с учетом того, что высота первого слоя должна быть толще, чем последующие слои для обеспечения наилучшего прилипания пластика к столу); ширина линии, внешней стенки, внутренней стенки, линии дна/крышки, заполнение, поддержки – 0.4 мм (данные параметры напрямую зависят от диаметра сопла, который автоматически задается при выборе пластика из которого будет изготовлена модель).

1. Митраков Г. Н. и др. Использование аддитивных технологий при литье по выжигаемым моделям //Омский научный вестник. – 2015. – №. 2 (140). – С. 80-84.

2. Куранов А. С. ВЛИЯНИЕ ЗОЛЬНОСТИ МАТЕРИАЛА МОДЕЛИ НА КАЧЕСТВО ОТЛИВОК, ПОЛУЧАЕМЫХ ПРИ ЛИТЬЕ ПО ВЫЖИГАЕМЫМ МОДЕЛЯМ //Теория и практика современной науки. – 2023. – №. 6 (96). – С. 128-130.

3. Лысыч М. Н., Шабанов М. Л., Воронцов Р. В. Материалы, доступные в рамках различных технологий 3d печати //Современные наукоемкие технологии. – 2015. – №. 5. – С. 20-25.

ЗАВИСИМОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ АБЛЯЦИОННОЙ ПЛАЗМЫ МЕДИ ОТ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОГО ИЗУЧЕНИЯ

А.В. Марковская

УО «Белорусский государственный университет», Минск, Беларусь, markovskaaanna2@gmail.com

Введение. Температура плазмы, образовавшейся в результате лазерной абляции, влияет на её скорость распространения, а следовательно, и на количественный анализ состава вещества. Поэтому всегда нужно учитывать с веществом, состоящим из каких элементов, происходит измерение, и, исходя из этого, подбирать соответствующие параметры лазера.

Цель. Исследовать зависимость температуры T абляционной плазмы меди от времени Δt между сдвоенными лазерными импульсами и от энергии $E_{\text{имп}}$ лазерных импульсов.

Экспериментальная установка. Для исследования особенностей лазерной абляции сдвоенными импульсами, сдвинутыми друг относительно друга во времени, использовался лазерный двухимпульсный спектрометр LSS-1 (производство совместного белорусско-японского предприятия "LOTIS TII"). Основные параметры лазера: длина волны излучения – 1064 нм, частота повторения импульсов – 10 Гц, длительность импульса – 15 нс. Энергия накачки E_n изменяется от 8 до 17 Дж, энергия лазерных импульсов $E_{\text{имп}}$ – от 10 до 100 мДж, межимпульсный интервал между сдвоенными лазерными импульсами Δt – от 0 до 100 мкс с шагом 1 мкс.

Формулы. Для расчета температуры абляционной плазмы меди использовался метод Орнштейна [1]:

$$T = \frac{0,625(E_1 - E_2)}{\ln \frac{g_1 A_1}{g_2 A_2} - \ln \frac{\lambda_1}{\lambda_2} - \ln \frac{I_1}{I_2}}, \quad (1)$$

где T – температура абляционной плазмы, E_1 и E_2 – энергии возбуждённого состояния спектральных линий, g_1 и g_2 – статистические веса возбуждённых состояний, A_1 и A_2 – вероятности переходов, λ_1 и λ_2 – длины волн, I_1 и I_2 – относительная интенсивность атомных эмиссионных линий.

Результаты и их обсуждения. В результате эксперимента были получены относительные интенсивности линий меди на длинах волн $\lambda_1=510,592$ нм и $\lambda_2=521,858$ нм при различных временах Δt между сдвоенными лазерными импульсами, и по формуле (1) была вычислена температура абляционной плазмы меди. Результаты приведены на рис 1.

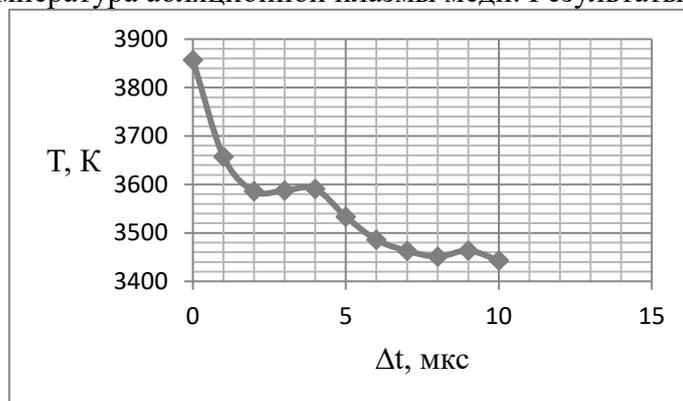


Рис. 1. Зависимость температуры абляционной плазмы меди от времени Δt между сдвоенными лазерными импульсами

Также в результате эксперимента были получены относительные интенсивности линий меди на длинах волн $\lambda_1 = 510,592$ нм и $\lambda_2 = 521,858$ нм при различных энергиях $E_{\text{имп}}$ лазерных импульсов, и по формуле (1) была вычислена температура абляционной плазмы меди. Результаты приведены на рис 2.

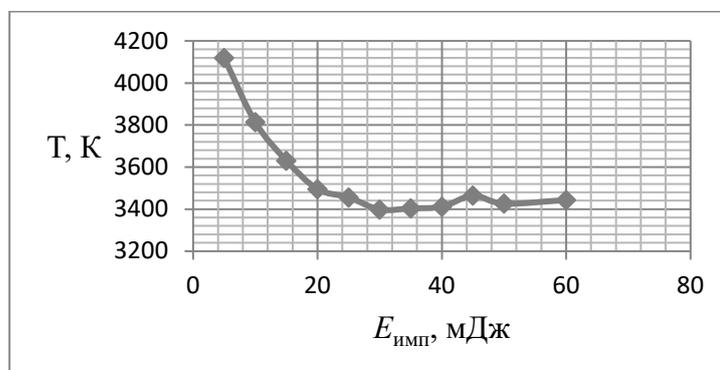


Рис. 2. Зависимость температуры абляционной плазмы меди от энергии $E_{\text{имп}}$ лазерных импульсов

Из рис. 1 и 2 видно, что температура абляционной плазмы меди уменьшается с увеличением времени Δt между двоекными лазерными импульсами и с увеличением энергии $E_{\text{имп}}$ лазерных импульсов.

Список использованных источников

1. Miziolek A.W., Palleschi V., Schechter I. Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS): Fundamentals and Applications. Cambridge: Cambridge University Press, 2006, 129-132.

ЗАВИСИМОСТЬ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛИНИИ И АБЛЯЦИОННОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ МЕДИ ПРИ ОДНОИМПУЛЬСНОЙ И ДВУХИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ

А.В. Марковская, У.К. Щерба

УО «Белорусский государственный университет», Минск, Беларусь; markovskaanna2@gmail.com

Цель. Исследовать изменение интенсивности спектральной линии и глубину абляционных кратеров меди от времени Δt между двоекными лазерными импульсами.

Экспериментальная установка. Для реализации абляции и получения спектров в работе использовался ЛАЭМС спектрометр. Его характеристики приведены в таблице 1. Оценка деструкции образца меди производилась при помощи микроинтерферометра Линника. Характеристики микроинтерферометра приведены в таблице 2.

Табл. 1. Основные аналитические характеристики спектрометра ЛАЭМС [1]

Характеристика	Величина
Спектральный диапазон	190-800 нм
Спектральное разрешение	0,5 нм
Диапазон энергии изменения импульсов	0-100 мДж
Длительность импульсов	15 нс
Диапазон изменения длительности задержки между СЛИ	1-100 мкс
Диаметр лазерного пучка на поверхности образца	50 мкм
Размер анализируемых образцов	200×200×200 мм
Точность позиционирования на поверхности образца	100 мкм
Количество определяемых химических элементов	50

Табл. 2. Основные аналитические характеристики микроинтерферометра Линника [2]

Характеристика	Величина
Диапазон измерения параметров шероховатости, мкм	0,1-0,8
Видимое увеличение микроскопа, крат	500
Визуальная насадка	монокулярная
Угол наклона окулярного тубуса, град	45
Видимое увеличение окуляр, крат	15
Линейное поле зрения в пространстве предмета, мм	0,3
Перемещение предметного столика, мм	0-10 в продольном и поперечном направлениях, вращение столика
Цена деления шкал барабанов микрометрических винтов столика, мм	0,005
Цена деления шкалы барабана микрометрического винта фокусирующего механизма, мм	0,003
Освещение	Белым или монохроматическим светом

Эксперимент. В результате эксперимента были получены относительные интенсивности линии меди на длине волны $\lambda = 521,858$ нм при различных временах Δt между двоянными лазерными импульсами. Результаты приведены на рис. 1.

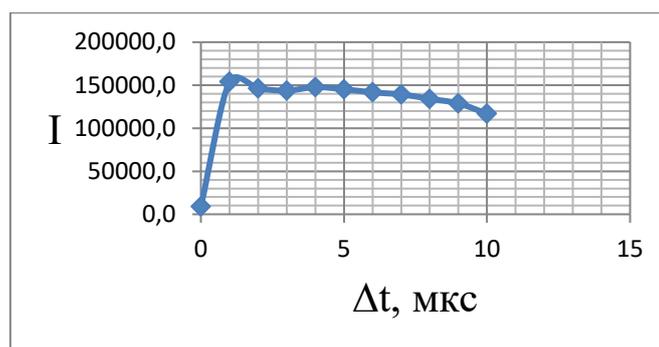


Рис. 1. График зависимости интенсивности I линии меди на длине волны $521,858$ нм от различных времён Δt между двоянными лазерными импульсами.

Также в результате эксперимента были вычислены объем и масса меди, испаренной при одноимпульсной и двухимпульсной лазерной абляции при 200 импульсах. При одноимпульсной лазерной абляции масса меди составила $4,1$ мкг, объем удаленного вещества – $4,6 \cdot 10^{-19} \text{ м}^3$, а при двухимпульсной – масса – $56,4$ мкг, объем – $6,3 \cdot 10^{-18} \text{ м}^3$.

Выводы. Результаты эксперимента показали, что при двухимпульсной лазерной абляции интенсивность линии меди на длине волны $\lambda = 521,858$ нм увеличивается, что улучшает качественный и количественный анализ веществ, содержащих медь, но при этом, как показала вторая часть эксперимента, увеличивается абляционная масса меди и объем удаленного при абляции вещества и, как следствие, увеличивается повреждение образца.

Список использованных источников

1. Воропай Е.С., Гулис И.М., Тарасов Д.С., Ермалицкая К.Ф., Самцов М.П., Радько А.Е., Зажогин А.П., Шевченко К.А., Кирсанов А.А. Лазерный атомно-эмиссионный спектрометр с ахроматической оптической системой. Журнал прикладной спектроскопии. 2021;88(3):485-492.

2. Описание микроинтерферометра Линника - <https://www.lomo.ru/production/grazhdanskogo-naznacheniya/mikroskopy/mikroskopy-tehnicheskie/mii-4m/>

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИБОРА ТАБЕРА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПОДОШВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

М.А. Нейфельд

УО «Витебский государственный технологический университет», Витебск, Республика Беларусь;
mneufeld8@yandex.by

Введение. Одним из важнейших эксплуатационных показателей обуви на сегодняшний день является определение износа подошв (износостойкость, износоустойчивость). Потребителям в меньшей степени интересен состав, из которого состоит подошва, и её физико-механические свойства, для них важно, чтобы подошва была износоустойчива. Под износостойкостью подошв понимают уменьшение её толщины в процессе носки. На износ подошв при эксплуатации обуви большое влияние оказывает масса человека, скорость ходьбы, длина шага и его периодичность, а также характер поверхности, по которой происходит износ и материал, из которого изготовлена подошва. Весь период передвижения можно описать следующими фазами:

- 1) контакт пятки с опорной поверхностью;
- 2) соприкосновение всей поверхности стопы с опорой;
- 3) отрыв пятки от опорной поверхности;
- 4) отрыв большого пальца от опорной поверхности.

Имея представление о биомеханике ходьбы, была предложена схема взаимодействия подошвы с опорной поверхностью (рис. 1), описанная в источнике [1].

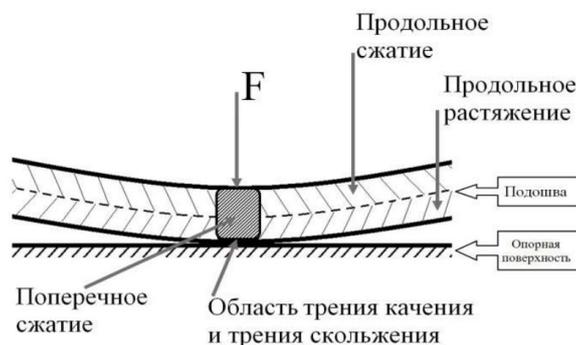


Рис. 1. Схема взаимодействия подошвы с опорой при ходьбе

Первый период носки обуви характеризуется абразивным износом подошв, после начинается усталостный износ, который связан с износом поверхностного слоя полимера и его старением, в связи с этим увеличивается площадь контакта.

С учётом выше сказанного, **целью** данного исследования является анализ достоинств и недостатков прибора Табера, для определения возможности его использования в качестве прибора для оценки износа полимерных подошвенных материалов.

Материалы и методы. В сотрудничестве с филиалом кафедры «Техническое регулирование и товароведение» на ОАО «Витебскдрев», с целью расширения области аккредитации лаборатории, было принято решение о разработке методики под полимерные материалы для подошв обуви. Прибор Табера считается одним из современных абразиметров на данный момент, который наиболее близок к износу при непосредственной эксплуатации подошв. Безусловно, для приближенного к эксплуатации износа, было бы корректно изменить положение образца с положением абразива.

Схема действия прибора представлена на рисунке 2.

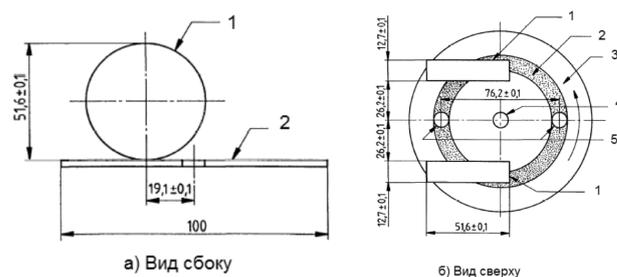


Рис. 2. Схема установки для испытаний:

1 – абразивное полотно, закреплённое на прорезиненных кругах; 2 – зона истирания; 3 – испытуемый образец; 4 – отверстие; 5 – зона прилегания вакуумных сопел

Материалы, применяемые в настоящее время в обувной промышленности, могут иметь разную структуру (пористую или монолитную) и это влияет на их физические свойства (табл. 1).

Таблица 1. Физические свойства подошвенных материалов

Материал	Плотность, г / см ³	Твёрдость, усл. ед.
Пористая резина [2]	0,2-0,55	34-60
Непористая резина [2]	1,3-1,55	70-85
Контрольная резина	1,43	82

В связи с различной структурой материалов, площадь контакта взаимодействия с опорной поверхностью будет различной. С уменьшением твёрдости и плотности материала, площадь контакта увеличивается, а удельное давление на единицу площади поверхности подошвы уменьшается, с увеличением – площадь контакта уменьшается, а удельное давление на единицу площади увеличивается. В связи с этим износ у разных по структуре материалов тоже разный.

Результаты и их обсуждение. Немаловажным аспектом для изучения возможности использования прибора Табера для испытания полимерных подошвенных материалов является определение итогового показателя оценки износа. На сегодняшний день нормируемое значение есть только при определении износа по методу Грассели на приборе МИ-2 по ГОСТ 426-77 «Резина. Метод определения сопротивления истиранию при скольжении». Независимо от структуры материала согласно ГОСТ 10124 и ГОСТ 12632 сопротивление истиранию должно быть не менее 2,5 Дж / мм³. При проведении испытаний на приборе Табера результатом испытания являлась потеря массы образца, выраженная в граммах на 1000 оборотов. Сопоставить результаты, получаемые на приборе Табера и МИ-2 невозможно, так как единицы измерения износа материала разные. В связи с этим необходимо проведение дальнейших работ для уточнения факторов, влияющих на износ, таких как, например, линейная скорость перемещения абразива по полимерному материалу, удельное давление на образец и другие, зависящие от свойств испытуемых материалов.

Список использованных источников

1. Долган М.И. Оценка физико-механических и прогнозирование эксплуатационных свойств полимерных подошвенных материалов : автореф. дис ... канд. техн. наук : 05.19.08 / М.И. Долган; УО «ВГТУ». – Витебск, 2022. – 26 с.
2. Материалы для подошв обуви на основе отходов производства : монография / А. Н. Радюк, Е. А. Ковальчук, А. Н. Буркин, под общ. ред. А. Н. Буркина. – Витебск : УО «ВГТУ», 2022. – 320 с.

РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА ГЕРМЕТИК-ВОЛЬФРАМОВЫХ КОМПОЗИТОВ

А.А. Роткович, А.А. Бондарук, С.А. Герман, А.Н. Котельникова, А.В. Труханов,
Е.С. Дашкевич, Д.И. Тишкевич¹

ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», Минск, Беларусь; rottkovich@gmail.com

Цель

Исследование влияния условий синтеза на радиационно-защитные свойства образцов герметик-вольфрамовых композитов.

Материалы и методы

Композиционные материалы синтезировались с использованием герметика и порошка вольфрама ПВЧ. Содержание вольфрама в образцах изменялось в пределах от 0 до 80 %. Экспериментальные образцы получили коды в соответствии с шифром, представленным в таблице 1.

Таблица 1. Кодовые названия герметик-вольфрамовых образцов

Кодовое название	Содержание герметика, %	Содержание вольфрама, %
Г100	100	0
Г80В20	80	20
Г60В40	60	40
Г40В60	40	60
Г20В80	20	80

Компоненты герметика и порошка W взвешивались в стехиометрических соотношениях. Затем вещества смешивали на магнитной мешалке в течение 15 минут до однородной субстанции. Затем образцы помещали на водяную баню на 10 минут для удаления пузырьков воздуха из системы. Готовую смесь заливали в силиконовую форму размером 2x2 см. Форму с материалами загружали в форму для термической полимеризации. Полимеризация проходила при температуре 150 °С в течение 30 мин. После охлаждения образцы извлекали из пресс-формы. Толщина образцов составляла 1 мм.

Исследование эффективности экранирования проводилось с помощью гамма-спектрометра (детектор NaI (Т1)) и радиоактивных точечных источников Ва-133, Na-22, Cs-137 и Eu-152 с энергией в диапазоне 33-662 кэВ [1].

Результаты и их обсуждение. Результаты исследования эффективности экранирования от гамма-излучения показали, что значения параметра эффективности радиационной защиты (RPE) для экспериментальных образцов герметик-вольфрамовых композитов в интервале низких энергий (33-81 КэВ) близки к 100 % из-за фотоэффекта. Впоследствии, когда энергия гамма-фотонов увеличивается ($E > 81$ кэВ), RPE уменьшается. Уменьшение RPE объясняется тем, что взаимодействие комптоновского рассеяния становится более доминирующим, что приводит к накоплению фотонов в композите герметик-вольфрам даже при низких уровнях энергии гамма-излучения [2]. На рисунке показано, что в интервале 81-662 КэВ значения RPE варьируются от 29 % до 9 % в образце Г100 и от 100 % до 36 % в образце Г20В80.

В целом, добавление наполнителя в виде вольфрама в полимерную матрицу позволило увеличить значения RPE с 5 до 78 % при энергии излучения 150 КэВ.

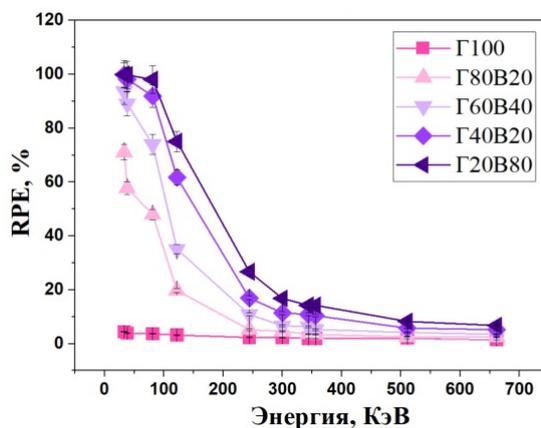


Рис. 1. График зависимости эффективности радиационной защиты (RPE) от энергии гамма-излучения герметик-вольфрамовых образцов

Выводы. Методом термической полимеризации разработаны композиционные материалы на основе системы герметик-вольфрам с содержанием вольфрама от 0 до 80 %.

Композиционный материал с содержанием вольфрама в 80 % (Г20В80) рекомендуется для создания экранов радиационной защиты, так как данный образец обладает наилучшими радиационно-защитными свойствами в сравнении с остальными образцами. Применение данных композиционных материалов позволяет в значительной степени увеличить эффективность радиационной защиты (с 5 до 78 %) по сравнению с образцом без наполнителя вольфрама.

Ссылки на использованные источники

1. E. El Allam [et al.] Gamma non-ionizing energy loss: Comparison with the damage factor in silicon devices // J. Appl. Phys. – 2018 (123), 09570.
2. M.I. Sayyed [et al.] Evaluation of radiation shielding parameters for optical materials // CHL. – 2017 (14), 43-47.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПОТОКОВ ДАННЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА

Савеня П.С., Хейфец М.Л., Рябцев В.Н

ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси», Минск, Республика Беларусь

Наиболее эффективными с точки зрения обеспечения безопасности при строительстве и дальнейшей эксплуатации сложных технических объектов являются системы непрерывного мониторинга несущих конструкций, имеющие аппаратно-программные средства, позволяющие в режиме реального времени получать, анализировать и документировать информацию о состоянии конструкции.

Применительно к строительным объектам система мониторинга строительных конструкций (СМССК) должна характеризоваться, в первую очередь, высоким уровнем надёжности, долговечности и достоверности собираемой информации, так как объекты, особенно уникальные, рассчитаны на длительный срок эксплуатации, измеряемый десятками лет, а вероятность наступления чрезвычайных событий составляет доли процента

СМССК включает в себя: сенсорные устройства для получения непрерывной информации о важнейших параметрах конструкции и внешних воздействий, технологию

установки, юстировки и поверки сенсоров, системы передачи данных от сенсоров к серверу, программное обеспечение для получения, передачи, хранения, документирования и оценки данных измерений сенсорами, рабочее место оператора.

Установка систем автоматизированного мониторинга (САМ) конструкций обязательна для высотных зданий, возможный ущерб от аварии которых чрезмерно велик. Типовая структура такой система показана на рис. 1.

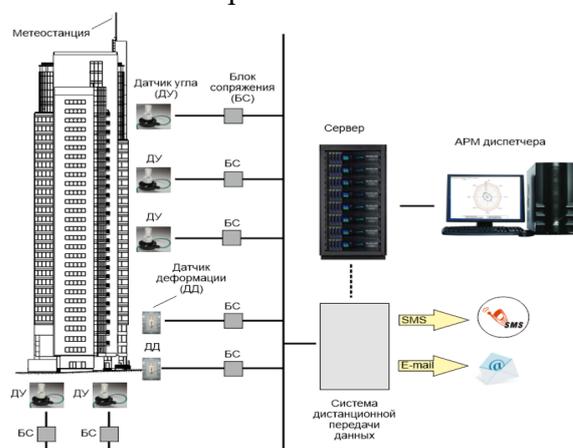


Рис. 1. Типовая структура системы автоматизированного мониторинга высотного здания

Стратегия идентификации повреждений в конструкциях различного типа с использованием средств автоматизированного мониторинга получила в зарубежной литературе название *SHM (Structural Health Monitoring)* [1]. Задачами *SHM* являются: выявление наличия повреждений, определение мест их расположения, определение типа повреждений и определение их масштаба. Решению задач *SHM* посвящены многочисленные исследования, однако окончательного решения проблемы до сих пор не найдено.

Главной проблемой автоматизированной диагностики повреждений в несущих конструкциях по данным сенсоров САМ является незначительный размер повреждений по сравнению с размерами всей конструкции. Для увеличения количества значимой для диагностики информации в потоке данных САМ предлагается анализировать не потоки данных от единичных сенсоров, а анализировать поток от системы синхронно работающих датчиков как единого целого [2].

Однако при таком подходе увеличивается также и общий объем исследуемой информации, а также усложняется структура данных. Для решения задачи определения расположения участков с повреждённым элементом конструкции нами применялась технология классификации с использованием обучаемой полносвязной нейронной сети прямого распространения. Типовая схема такой сети приведена на рис. 2.

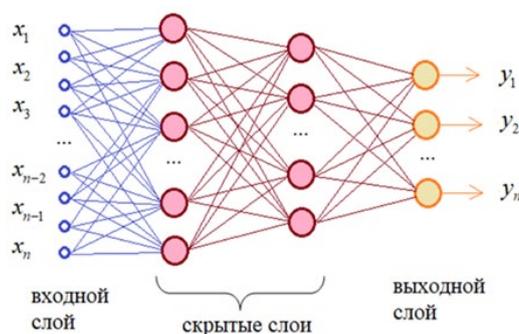


Рис. 2. Типовая схема полносвязной нейронной сети прямого распространения

Решение поставленной задачи, которая относится к классу обратных, достигается за

счёт использования обобщающей способности нейронных сетей.

Исходные данные для нейросетевого анализа потоков данных получены в результате компьютерного моделирования работы системы автоматизированного мониторинга при различном расположении повреждений [3].

Для обучения нейронной сети использовалась выборка из 100 массивов данных при 6 вариантах расположения повреждений на каждом из участков. На вход нейронной сети подавались массивы данных из 2020 элементов каждый, полученные от 5 датчиков САМ, а на выходе получались вероятности расположения повреждения на одном из четырёх участков.

Предварительно обученные нейросети позволили однозначно определить участок расположения повреждения по неизвестным сети тестовым сигналам датчиков.

Однако, существенным недостатком обучаемых нейронных сетей является большой объём обучающих выборок, требуемых для точной классификации объектов. Поэтому во многих случаях приходится принимать компромиссные решения, уменьшая количество участков в пользу сокращения объёма обучающих выборок.

Ссылки на использованные источники

1. Диагностика и мониторинг технического состояния на пути к ИНДУСТРИИ 4.0 / Н. Н. Ишин, А. М. Гоман, А. С. Скороходов [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения. – 2018. – Т. 7. – С. 245-250. – EDN YUIFFJ.
2. Farrar C.R., Worden K. An introduction to structural health monitoring // Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 2007. Vol. 365, № 1851. P. 303–315.
3. Рябцев В.Н. Определение повреждённых элементов несущих конструкций здания с использованием нейронной сети // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2022. – № 3. – С. 25–30.

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ НАЧАЛЬНОГО НАДРЕЗА НА ОБРАЗЦЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТРЕЩИНЫ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

А.П. Сазанков

ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси»,
Гомель, Беларусь; alex.saz.job@gmail.com

Цель. Повышение стабильности результатов испытаний на трещиностойкость и усталостную прочность.

Материалы и методы. При определении распространения усталостной трещины в образцах полимерных материалов путем формирования острого надреза, как концентратора напряжений, применяются методы линейно-упругой механики разрушения [1], стандартизованные в ГОСТ 34256 [2]. К сожалению, этот нормативный документ содержит ряд неконкретных рекомендаций по подготовке образцов к испытаниям в части весьма важной процедуры нанесения надреза, необходимого для инициации трещины. К ним относятся следующие [2, стр. 10]: «...нанесение надреза специальным прибором...» без уточнения, каким именно прибором, «...легкий удар по бритвенному лезвию, установленному в надрез...», «...допускается легкое перемещение бритвенного лезвия для создания надреза...» и другие нечеткие критерии, исходя из которых трудно обеспечить идентичность подготовительных операций и стабильность условий инициации трещины.

Обеспечить повторяемость параметров надреза без автоматизации процедуры его нанесения весьма затруднительно, что снижает точность получаемых результатов. Для достижения высокой геометрической точности формы надреза с минимальной отбраковкой

образцов необходим соответствующий критерий качества, а также методика формирования начальной трещины с конкретной последовательностью нетрудоемких и реально выполнимых действий, допускающих их автоматизацию.

Результаты и их обсуждение. Рассмотрим определение распространения усталостной трещины в конструкционных полимерных материалах по ГОСТ 34256 [1], согласно которому рекомендуется изготавливать и испытывать на растяжение образцы призматической формы (рис. 1а), удовлетворяющие соотношениям: $w/20 \leq h \leq w/4$ и $l_1 > 2,5w$, где w – ширина, h – толщина, l_1 – длина. Позиционировать надрез на кромочной поверхности образца необходимо с точностью $\pm 0,01w$ от оси симметрии последнего (рис. 1б). Начальная длина трещины a_0 должна соответствовать отношению $a_0 \geq 0,2w$ (в нашем случае $a_0 = 3$ мм).

В частности, на рис. 1 показаны образцы сверхвысокомолекулярного полиэтилена РЕ-9000 размером $60 \times 13,2 \times 3,0$ - $3,2$ мм, полученные фрезерованием листовых заготовок.



Рис. 1. Вид образцов для проведения испытаний на трещиностойкость: а – до надреза, б – после надреза

Исходя из геометрического критерия качества надреза (точное соблюдение размеров и ориентации), для его формирования использовалось прецизионное нагружающее устройство автоматизированной машины для механических испытаний Инстрон 5567, обеспечивающее вертикальное перемещение верхнего зажима с точностью 1 мкм. Лезвие закреплялось в шарнирно подвешенном верхнем зажиме, а в нижнем зажиме устанавливался образец.

Положение и ориентация надреза определялись путем поиска точки контакта образца, верхняя граница которого показана зеленой линией, с траекторией качательного движения лезвия (красная линия), как показано на рис. 2 а. Надрез наносился стальным лезвием со следующими геометрическими параметрами: угол заточки $\sim 5^\circ$, радиус кривизны $\sim 0,05$ мм (рис. 2 б).

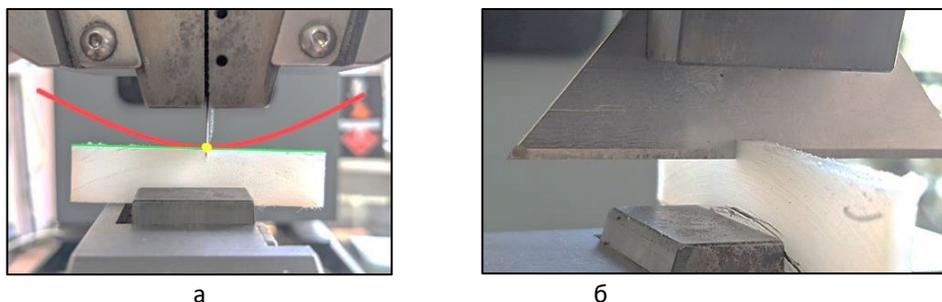


Рис. 2. Формирование начальной трещины: а – поиск положения надреза, б – внедрение лезвия на заданную глубину

На микроскопе Levenhuk DTX 500 с 20-ти кратным увеличением производилось оптическое исследование полученных надрезов путем фотографирования с мерной шкалой (рис. 3а). При помощи программного обеспечения Celestron Portable Capture Pro осуществлялась калибровка прибора, а затем измерение длины и угла надреза (рис. 3б). Таким образом, производилась отбраковка образцов, не удовлетворяющих предлагаемому критерию качества.

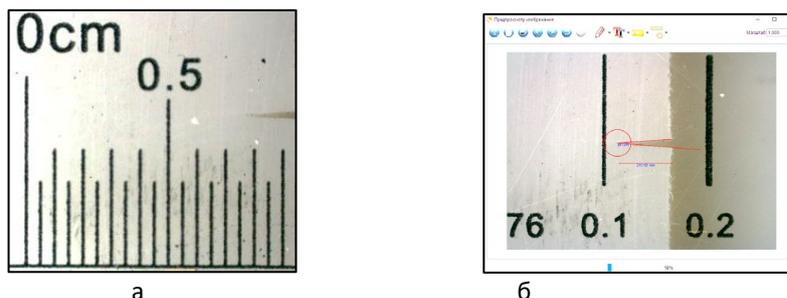


Рис. 3. Контроль образцов по длине и углу надреза: а – область надреза с калибровочной шкалой, б – калибровка и измерение геометрических параметров надреза

Заключение. Предложен критерий качества образцов с надрезом, инициирующим распространение трещины, для испытаний на трещиностойкость и усталостную прочность при растяжении. Разработана методика формирования надреза требуемой формы на призматическом образце полимерного материала, предусматривающая высокоточное измерение длины и угла надреза, апробированная при испытании на трещиностойкость сверхвысокомолекулярного полиэтилена РЕ-9000.

Список использованных источников

1. Пестриков, В. М. Механика разрушения на базе компьютерных технологий / В. М. Пестриков, Е. М. Морозов / Практикум. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 463 с.
2. ГОСТ 34256-2017 Пластмассы. Определение усталостного распространения трещин при растяжении методом линейно-упругой механики разрушения.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ФОРМИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СЛОЕВ В РАЗРЯДНОЙ ПЛАЗМЕ ОКТАФТОРЦИКЛОБУТАНА ПО ДАННЫМ 3-Х ФАКТОРНОГО ПЛАНИРОВАННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

В.А. Стратанович¹, А.Н. Дервяго²

¹ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси»,
Гомель, Беларусь; vitalystratanovich.mpri@gmail.com

²УО «Белорусский государственный университет», Минск, Беларусь

Введение. Использование математического моделирования в сфере модифицирования материалов высокоинтенсивными воздействиями позволяет получить теоретические результаты, являющиеся основой для практической оптимизации процесса [1-7]. Эффективность обработки низкотемпературной неравновесной плазмой как с целью травления, так и с целью формирования тонких функциональных покрытий из полимеризующихся соединений в разной степени зависит от ряда используемых методов, прекурсоров, технологических режимов и приемов [8]. Данное многообразие образует многочисленное количество комбинаций приемов обработки и усложняет выявление оптимальных закономерностей процесса. Целью данной работы является оптимизация процесса формирования функциональных слоев в разряде пониженного давления в среде октафторциклобутана (ОФЦБ).

Материалы и методы. Ранее нами показано [9], что на наиболее важный показатель процесса – скорость роста функциональных слоев в разряде ОФЦБ – в наибольшей степени влияют давление мономера $P_m(x_1)$, расстояние между электродами $L_{мэп}(x_2)$ и мощность, подаваемая на силовой каскад $P_{ск}(x_3)$.

Также замечены различия в скорости роста на изолированных и заземленных подложках. Более подробно аспекты плазмохимической обработки и методика определения скоростей роста слоев описаны в [9].

Ввиду того, что количество факторов, влияющих на выходной параметр (скорость роста), являющийся критерием оптимизации, равняется трем, уравнение соответствует уравнению трехфакторного эксперимента. Составление матрицы эксперимента, статистическая обработка результатов, проверка адекватности и воспроизводимости модели, а также формирование уравнений регрессии проводились с помощью программных комплексов (ПК) Experiment23 и PlanExp («SUNSPIRE®», Россия) [10].

Результаты и их обсуждение. С применением ПК получена математическая модель, описывающая зависимость скорости роста слоев на проводящих и непроводящих материалах от описанных нами выше варьируемых факторов (1):

$$y = (24,976) + (5,802)x_1 + (-10,31)x_2 + (10,238)x_3 + (-4,366)x_1^2 + (0,332)x_2^2 + (-9,069)x_3^2 + (6,995)x_1x_2 + (6,984)x_1x_3 + (-0,87)x_2x_3 \quad (1)$$

Согласно полученной модели, наибольшее влияние на показатель скорости роста оказывает мощность разряда, давление влияет в меньшей степени, а расстояние между электродами имеет знак «минус», что свидетельствует об обратном влиянии (чем больше расстояние между электродами, тем меньше скорость роста).

На рисунке 1 приведена поверхность отклика оптимизируемого параметра с различными уровнями варьирования мощности (по шкале y).

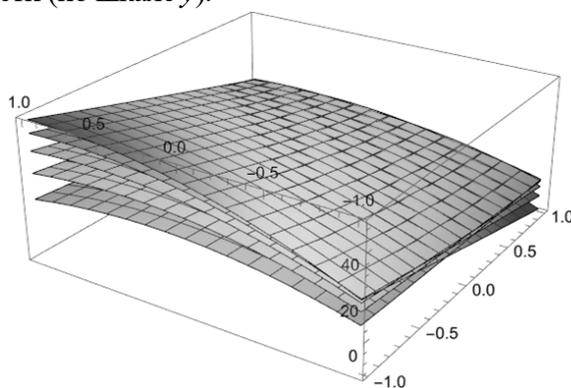


Рис. 1. Зависимость скорости роста слоев от расстояния между электродами и давления прекурсора для различных уровней варьирования мощности (при обработке непроводящего материала)

Благодарности. Авторы выражают благодарность Толстопятову Е.М., Иванову Л.Ф., Граковичу П.Н., Шелестовой В.А. и Макаренко В.М. за содействие в выполнении исследований и обсуждении результатов. Работа выполнена в рамках задания НИР-3 ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии» подпрограмма 8.4 «Многофункциональные и композиционные материалы».

Список использованных источников

1. Иванов, Л. Ф. Физика и технология лазерной переработки политетрафторэтилена в волокнисто-пористые материалы: дисс. ...канд. тех. наук: 01.04.19, 05.17.06 / Л.Ф. Иванов. – Гомель, 1998. – 136 с.
2. Горобчук А. Г. Математическое моделирование плазмохимических технологий микроэлектроники: дис. ... докт. ф-м. наук: 05.13.18 / А.Г. Горобчук. – Новосибирск, 2016. – 308 с.
3. Park S. K., Economou D. J. A mathematical model for a plasma-assisted downstream etching reactor // Journal of applied physics. – 1989. – Т. 66. – №. 7. – С. 3256-3267.
4. Park S. K., Economou D. J. A mathematical model for etching of silicon using CF4 in a radial flow plasma reactor // Journal of the electrochemical society. – 1991. – Т. 138. – №. 5. – С. 1499.

5. Park S. K., Economou D. J. Numerical Simulation of a Single-Wafer Isothermal Plasma Etching Reactor // Journal of the Electrochemical Society. – 1990. – Т. 137. – №. 8. – С. 2624.
6. Гадяк Г.В., Жилиев М.В., Швейгерт В.А., Швейгерт И.В. Моделирование плазмохимического осаждения и травления // Модели в механике. - 1993. - Т.7. - № 3. - С.51-98.
7. Kopalidis P. M., Jorné J. Modeling and experimental studies of a reactive ion etcher using SF₆/O₂ chemistry // Journal of the electrochemical society. – 1993. – Т. 140. – №. 10. – С. 3037.
8. Ясуда, Х. Полимеризация в плазме. М.: Мир, 1988, 376 с.
9. В.А. Стратанович, В.А. Шелестова, В.М. Макаренко, Е.М. Толстопятов, Л.Ф. Иванов, Д.В. Брель. Влияние технологических режимов на скорость роста фторполимерных слоев при плазменной полимеризации октафторциклобутана // 15-я Международная конференция "Взаимодействие излучений с твердым телом" (ВИТТ-2023), г. Минск, 26 – 29 сентября 2023 года.
10. Белов В.В., Образцов И.В., Курятников Ю.Ю. Разработка программно-алгоритмического средства обработки данных трехфакторного планированного эксперимента для расчета математической модели прочности бетона // Программные продукты и системы. – 2014. – №. 4 (108). – С. 254-259.

ВЛИЯНИЕ ДЛИНЫ ЛЬНЯНЫХ ВОЛОКОН НА ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

А.С. Тулейко

ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси»,
Гомель, Беларусь; Anastasiakhmara@gmail.com

Введение. Проблема снижения уровней акустического воздействия в локализованных объемах является в настоящее время одной из основных проблем безопасной жизнедеятельности человека и безаварийного функционирования сложных технических объектов. Ключевая роль в снижении уровней шумового воздействия принадлежит акустическим материалам, к числу которых относятся звукопоглощающие и звукоизолирующие композиты [1]. Акустические материалы составляют основу для изготовления шумопоглощающих конструкций строительных сооружений и транспортных средств. Особое внимание уделяется получению легких, высокопрочных, экологически безопасных композитов; технологиям получения волокнисто-пористых и слоистых композитов на основе растительных и биоразлагаемых полимерных компонентов. Например, в Китае приняты ряд директивных документов, предписывающих автопроизводителям к 2030 году переход на изготовление из биоразлагаемых материалов всех интерьерных деталей автомобилей, большинство из которых должны обладать свойствами звукопоглощения. Ранее нами предложено для повышения интенсивности поглощения энергии звуковых волн, вследствие потерь на вязкое трение или необратимых потерь на деформацию структурных элементов композита, использовать компоненты с открыто-пористой и волокнистой структурой [2]. Одним из таких компонентов, используемых при синтезе акустических, в частности звукопоглощающих композитов, может являться льняное волокно. При этом размеры структурных элементов композита оказывают существенное влияние на эффективность поглощения звуковой энергии. Длина волокна является базовым структурным показателем при разработке звукопоглощающих композитов.

Цель работы – исследование влияния длины волокон льна на эффективность звукопоглощения.

Материалы и методы исследований. В качестве основных компонентов для акустических материалов выбраны льняные и полимерные (полипропиленовые) волокна. Композиты изготавливали двумя способами: классическим иглопробивным и термофиксацией без нагрузки в камерной печи. Влияние размера волокна на его акустические свойства исследовали на образцах с равным содержанием льна и

полипропиленовых волокон (по 50 мас. %), толщина волокон составляла: (8–20) мкм – лен, (20-33) мкм – полимер, плотность модельных композитов – 75 кг / м³ и 150 кг / м³. Было изготовлено четыре состава композитов, отличающихся длиной льняного волокна и количеством котонизации. В таблице приведены размеры используемых волокон.

Таблица. Длина растительных волокон, используемых для изготовления звукопоглощающих композитов

Образец №	Вид волокна, используемого в составе композиционного материала
1	Льноволокно длиной 20-22 мм после четырех котонизеров
2	Льноволокно длиной 50-65 мм после двух котонизеров
3	Льноволокно 20-22 мм после одного котонизера
4	Короткое льноволокно №4 длиной 70-85 мм

В качестве основного критерия оценки эффективности звукопоглощающих материалов использовали нормальный коэффициент звукопоглощения, определяемый экспериментально методом акустической интерферометрии в соответствии с СТБ 1438.

Результаты исследований. Результаты определения нормального коэффициента звукопоглощения образцов, изготовленных из котонизированного и короткого льноволокна различной степени котонизации (кратности прохождения обработки на котонизере), приведены на рисунках 1 и 2.

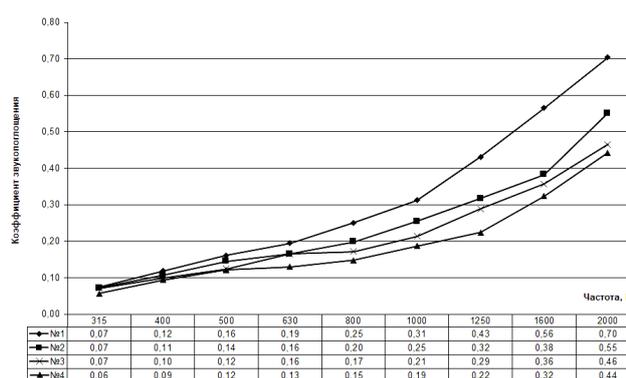


Рис. 1. Влияние размера льноволокна на коэффициент звукопоглощения композита (плотность 75 кг/м³)

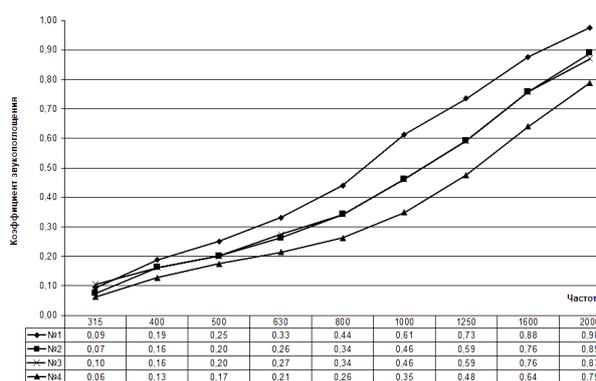


Рис. 2. Влияние размера льноволокна на коэффициент звукопоглощения композита (плотность 150 кг/м³)

Из рисунков видно, что с уменьшением длины льняного волокна значения коэффициента звукопоглощения возрастают во всем исследованном диапазоне частот, причем для плотности 150 кг/м³ значения коэффициента звукопоглощения для образцов с льноволокном длиной 20-22 мм после одного котонизера (№ 3) практически совпадают со значениями для образцов из волокон длиной 50-65мм после двух котонизеров (№ 2).

Сравнение полученных экспериментальных данных по коэффициенту звукопоглощения для термофиксированных и иглопробивных композитов показало, что материалы, изготовленные по иглопробивной технологии, имеют более высокие значения коэффициента звукопоглощения (на 18-26 %). Предположительно, это связано с большей подвижностью волокон в иглопробивном материале, что приводит к более интенсивному рассеиванию энергии звуковой волны не только за счет внутренних потерь на трение воздуха в межволоконном пространстве композита, но и на трение волокон между собой.

Заключение. Полученные результаты исследований позволяют утверждать, что для повышения звукопоглощающей способности акустических композитов следует использовать в составе композита короткое льноволокно при этом с увеличением, длины

волокна требуется дополнительная котонизация. Показано, что существенное повышение коэффициента звукопоглощения композитов (~ 20 %) достигается использованием в составе композита котонизированного льноволокна со средней длиной 20 – 22 мм. При повышении степени котонизации коротких волокон увеличивается коэффициент звукопоглощения, однако существенно растут энергозатраты на получение композита.

Список использованных источников

1. Акустические композиты и шумопоглощающие конструкции. Часть I: Экологические безопасные компоненты и нанонаполнители (Обзор) / Бухаров С.Н., Сергиенко В.П., Кожушко В.В., Кудина Е.Ф., Тулейко А.С. // Полимерные материалы и технологии. – 2021. – Т.7, №1. – С. 6-22.
2. Acoustic Characteristics of Gradient Composites Based on Buckwheat Husk for Noise Barriers of Highways and Railways / S.N. Bukharov, V.V. Kozhushko, V.P. Sergienko, A. Alexiev, R. Iankov, A.Tuleika // J. Acoustics. – 2021. – Vol. 23. – P. 22–26.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ РЕЗЦОМ ИЗ КНБ

И.Д. Тычинская¹, К.В. Пантелеев², В.Л. Басинюк¹

¹ГНУ «Объединённый институт машиностроения НАН Беларуси», Минск, Беларусь; ira.tychinski@gmail.com

²УО «Белорусский государственный технический университет», Минск, Беларусь

Введение. В тезисе рассмотрены результаты исследование поверхности хрупких материалов микроэлектроники типа кремний и сапфир, обеспечивающие получение поверхности пластин кремния и сапфира с шероховатостью Ra = 0.4 мкм и менее после механической обработки резанием с использованием резца из кубического нитрида бора.

Ключевые слова: лезвийная обработка, кубический нитрид бора, КНБ, механическая обработка, кремний, сапфир, микроэлектроника, топография, шероховатость, рентген топография, работа выхода электрона, контактная разность потенциалов

Материалы и методы. Наиболее популярным способом обработки пластин-заготовок кремния, сапфира получаемых после нарезания их из слитков является механическая абразивная обработка шлифованием с последующим полированием и суперфинишным полированием (рис.1). При этом обеспечивается снятие весьма большими значения припуска с заготовки, припуск разнится в зависимости от толщины исходной заготовки и необходимой толщины подложки для следующего технологического процесса, значения могут быть от 0,2 до 2 мм. Данный способ обладает рядом недостатков, как трудоемкость, стоимость, скрытые дефекты, вызванные внутренними напряжениями в подложке.

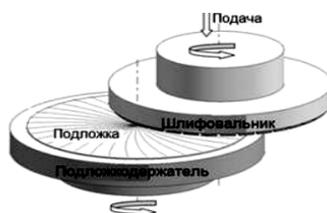


Рис. 1. Схема шлифования полупроводниковых пластин

В связи с созданием близких к алмазу по твердости материалов, композитных материалов как кубический нитрид бора (КНБ), имеющего существенно меньшую стоимость, этот вид обработки стал одним из альтернативных [1]. Необходимо отметить, что в результате интенсивно проводимых исследований и разработок в области создания и использования в качестве режущего инструмента КНБ в настоящее время созданы его

модификации, обладающие микротвердостью 70 ГПа и более. Это, в сочетании с более высокой, чем у алмаза, ударной вязкостью позволяет использовать его для скоростной лезвийной обработки таких твердых материалов, как кремний и сапфир, в том числе при ударном взаимодействии КНБ с обрабатываемой поверхностью из твердого хрупкого материала. К одной из наиболее важных, с позиций лезвийной обработки, особенностей КНБ можно отнести его универсальность при использовании в качестве режущего инструмента [3]. Им могут быть обработаны как чугуны, стали, титановые сплавы, силицированный графит и даже твёрдый сплав, так и угле- и стеклопластики. При этом режущие свойства КНБ во многом определяются размером исходного зерна, его объемом в режущей пластине, свойствами материала связки и технологией изготовления [2].

Результаты исследования. Для реализации процессов лезвийной обработки были использованы: пластины кремния и сапфира; резцы из КНБ (RNMX 080300); установка ОАО «Планар» ЭМ-2090; специальная резцовая головка.

На предприятии ОАО «Планар» установка ЭМ-2090 используется для изготовления искусственных клапанов сердца (ИКС). В качестве базовых при обработке КНБ были приняты следующие режимы резания: частота вращения шпинделя 1000–1500 об/мин, обеспечивающая скорость резания до 1500 м/мин, подача варьировалась в диапазоне 1–10 мкм/об. Для изучения обработанной поверхности пластин образцы были исследованы на сканирующем электронном микроскопе Tescan Mira (рис. 2), где были получены результаты на поле 50x50 мкм.

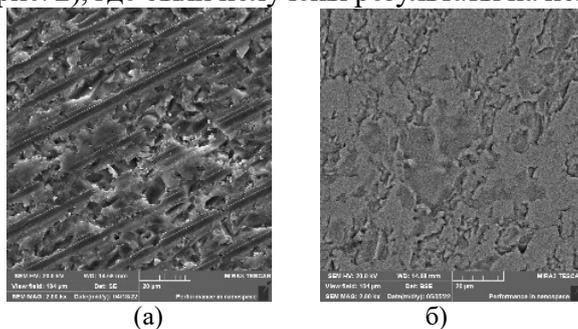


Рис.2. Поверхность обработанной пластины кремния а) и сапфира б) после скоростной лезвийной обработки КНБ

Шероховатости лезвийно-обработанной пластины и полированной стороны пластины Ra 0.483. Так же образцы были исследованы на установке СКАН-2019 [4], Установка обеспечивает контроль однородности физикохимического состояния по параметрам пространственного распределения работы выхода электрона (потенциала) поверхности (Scanning Kelvin Probe, SKP), контроль времени жизни (диффузионной длины) носителей заряда и его пространственного распределения по параметрам поверхностной фото-ЭДС (Surface Photovoltage, SPV), а также контроль однородности пространственного распределения удельного электрического сопротивления рабочих субмикронных слоев полупроводниковых пластин (рис. 3). Так имеет возможность произвести анализ всей поверхности пластины.

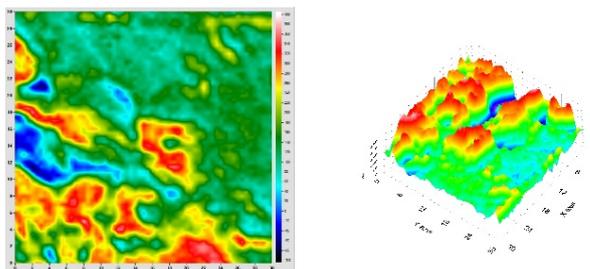


Рис. 3 Результаты по кремниевой пластине

Выводы. В результате проведенных исследований установлено, что использование КНБ в качестве режущего материала позволяет осуществить скоростную лезвийную обработку пластин сапфира и кремния, имеющих диаметры \varnothing 76-100 мм при толщине \sim 450 мм. Исследование поверхности пластин были произведены на сканирующем электронном микроскопе Tescan Mira и установке СКАН-2019. Анализ результатов исследований показал, что скоростная лезвийная обработка кремния и сапфира позволяет обеспечить шероховатость поверхности $Ra = 0,4$ мкм, при этом полученная шероховатость является недостаточной для окончания обработки пластины.

Список использованных источников

- 1 3D процессы алмазно-абразивной обработки. Грабченко А. И., Федорович В. А. Монография. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2008. – 345 с.
- 2 Шишенок Е. М. Структурные исследования кубического нитрида бора, активированного гадолинием, тербием и эрбием / Е.М. Шишенок, М. А. Краева // Физико-математические науки и информатика, журнал. – 2012. – Труды БГТУ №6. – С. 85–87.
- 3 Тычинская, И.Д. Некоторые особенности лезвийной обработки сверхтвердых хрупких материалов типа сапфир / И.Д. Тычинская // Актуальные вопросы машиноведения: сб. научн. трудов / ОИМ НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. – 2021.
- 4 Материалы и структуры современной электроники : материалы X Междунар. науч. конф., Минск, 12–14 окт. 2022 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: В. Б. Оджаев (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2022. – С. 78-83.

ДЕСТРУКЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ ПРИ ОДНОИМПУЛЬСНОЙ И ДВУХИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ

У.К. Щерба

УО «Белорусский государственный университет», Минск, Беларусь; ulshch04@gmail.com

Цель. Целью исследования было изучение особенностей деструкции поверхности металлов (алюминий, медь, железо, свинец и олово) при одноимпульсной и двухимпульсной абляции.

Экспериментальная установка. Для лазерной абляции был использован ЛАЭМС спектрометр, который может работать как в одноимпульсном режиме (импульсы от двух идентичных активных элементов лазера синхронизированы и идут по одному оптическому пути), так и в двухимпульсном режиме (между импульсами устанавливается временной интервал 10 мкс) [1]. Внешний вид и фотография оптической схемы спектрометра приведены на рис. 1, основные параметры в таблице 1.

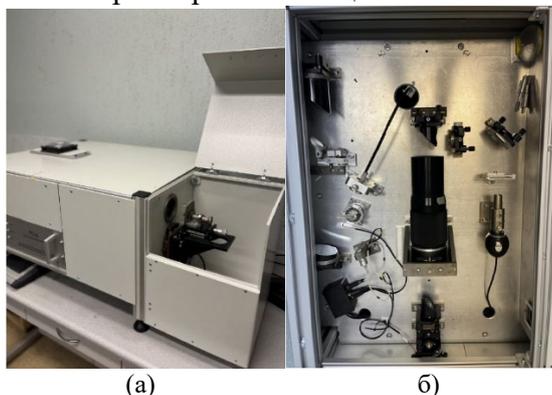


Рис. 1. Внешний вид установки (а); внутреннее строение установки (б)

Таблица 1. Основные аналитические характеристики спектрометра ЛАЭМС

Характеристика	Величина
Спектральный диапазон	190-800 нм
Спектральное разрешение	0,5 нм
Диапазон энергии изменения импульсов	0-100 мДж
Длительность импульсов	15 нс
Диапазон изменения длительности задержки между СЛИ	1-100 мкс
Диаметр лазерного пучка на поверхности образца	50 мкм
Размер анализируемых образцов	200×200×200 мм
Количество определяемых химических элементов	50

Оценка деструкции производилась с помощью микроинтерферометра Линника.



Рис. 2. Изображение МИИ-4М

Результаты. В ходе исследования образцы подвергались 200 импульсам энергией 55 мДж. Результаты измерения размеров кратера, образовавшегося на поверхности металлов при одноимпульсной и двухимпульсной абляции, а также рассчитанные объем и масса испаренного вещества приведены в таблицах 2-3.

Таблица 2. Результаты измерения деструкции металлов при одноимпульсном режиме

Образец	0 μ s				
	Al	Cu	Fe	Pb	Sn
Диаметр кратера на поверхности, мкм	170	135	210	200	205
Диаметр кратера на дне, мкм	40	30	10	85	110
Площадь кратера на поверхности, мм ²	0,023	0,014	0,035	0,031	0,033
Глубина кратера, мкм	117	96	123	99	300
Глубина слоя, удаленного при одном импульсе, мкм	0,585	0,48	0,615	0,495	1,56
Объем удаленного материала, $\cdot 10^{-6}$ мкм ³	1,43	0,46	1,42	1,04	3,43
Масса удаленного материала, мкг	3,861	4,104	11,182	11,767	25,092
Масса, удаляемая при одном импульсе, мкг	0,019	0,021	0,056	0,059	0,125

Таблица 3. Результаты измерения деструкции металлов при двухимпульсном режиме

Образец	10 μ s				
	Al	Cu	Fe	Pb	Sn
Диаметр кратера на поверхности, мкм	385	275	365	355	675
Диаметр кратера на дне, мкм	245	40	15	118	170
Площадь кратера на поверхности, мм ²	0,116	0,059	0,105	0,099	0,358
Глубина кратера, мкм	189	318	243	144	312
Глубина слоя, удаленного при одном импульсе, мкм	0,945	1,59	1,215	0,72	1,5
Объем удаленного материала, $\cdot 10^{-6}$ мкм ³	4,54	6,30	8,47	4,75	35,78
Масса удаленного материала, мкг	12,259	56,412	66,736	53,924	261,586
Масса, удаляемая при одном импульсе, мкг	0,062	0,282	0,334	0,270	1,308

Выводы. Было обнаружено, что деструкция увеличивается при переходе от одноимпульсного режима к двухимпульсному. При одноимпульсном режиме наибольший диаметр кратера наблюдается у железа, наибольшая глубина – у олова, наименьший диаметр и глубина – медь. При двухимпульсном режиме наибольший диаметр – олово, наибольшая глубина – медь, наименьший диаметр – медь, наименьшая глубина – свинец.

Из результатов, полученных при исследовании металлов, можно сделать вывод о зависимости величины деструкции от плотности, температуры плавления изучаемого вещества.

Список использованных источников

1. Е.С. Воропай, И.М. Гулис, Д.С. Тарасов, М.П. Самцов, А.Е. Радько, К.Ф. Ермалицкая, А.П. Зажогин, К.А. Шевченко, А.А. Кирсанов – ЛАЭМС, Белорусский государственный университет, г. Минск, 2021.

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕФЕКТОВ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН НА ПАРАМЕТРЫ ТОКА ХОЛОСТОГО ХОДА

К.А. Адамович, К.В. Купреенко, В.А. Лычковский, К.В. Пантелеев, А.В. Исаев

УО «Белорусский национальный технический университет», Минск, Беларусь; nil_pt@bntu

Введение. В настоящее время весьма актуальной проблемой является качественная, и самое главное, своевременная диагностика состояния изоляции в обмотках электрических машин. И увеличение требований к эксплуатационным характеристикам такого оборудования, только повышает актуальность таких работ. Однако существующие методы диагностики далеко не в полной мере позволяют проводить работы по выявлению дефектов как непосредственно в обмотках электрических машин, так и в ее межвитковой изоляции. Тем более при проведении диагностических процедур непосредственно в режиме эксплуатации этого оборудования.

Одним из способов решения данной задачи является оценка изоляции токоведущих частей по току холостого хода [1–3]. Поэтому в данной работе проведен анализ влияния как характеристик электрических машин (мощность, сечения проводников обмоток, тип лакокрасочной изоляции и др.), а также состояние изоляции (межвитковое сопротивление в месте дефекта, количество витков, задействованных в дефекте, местоположение дефекта в обмотке) на параметры тока холостого хода, а именно на его спектральный состав – их амплитудные значения и относительное изменение фазы каждой спектрально составляющей в отдельности [4].

Цель работы. Оценка возможности диагностики состояния токоведущих частей трехфазных электрических машин с учетом их конструктивных характеристик, а также параметров дефектов изоляции в их обмотках на основе анализа характеристик тока холостого хода, протекающего в обмотках.

Результаты и их обсуждение. На рис. 1 представлены характеристики тока холостого хода одно из исследуемой электрической машины в зависимости от уровня сопротивления межвитковой изоляции в месте дефекта. При этом на рис. 2 представлен фрагмент зависимости с выделением информативного параметра, где представлены кривые тока холостого хода: 1 – исправной обмотки; 2 – при межвитковом сопротивлении 100 Ом; 3 – при межвитковом сопротивлении 25 Ом; 4 – с КЗ витками; x_1 – суммарная кривая тока ХХ; x_2 – кривая первой спектральной составляющей тока ХХ; x_3 – кривая суммы высших спектральных составляющих тока ХХ; 5 – кривая входного синусоидального напряжения.

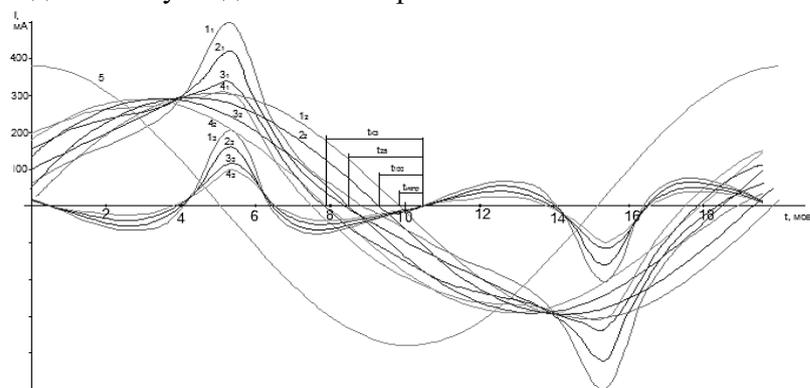


Рис. 1. Влияние уровня сопротивлений межвитковой изоляции в обмотке исследуемой электрической машины на параметры спектральных составляющих тока холостого хода

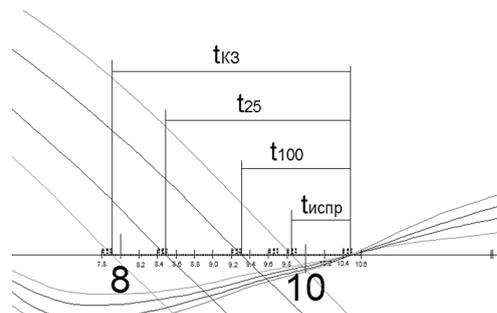


Рис. 2. Выделение информативного параметра при косвенном измерении сопротивления межвитковой изоляции по току холостого хода

В результате проведенные исследования позволили получить характерные кривые (рис. 3) и сформировать аналитическую зависимость (1) влияния сопротивлений межвитковой изоляции в обмотках различных электрических машинах на изменение параметров спектральных составляющих тока холостого хода, которые с достаточно высоким уровнем надежности позволяют проводить диагностику состояния электрических машин в том числе непосредственно в рабочем цикле эксплуатации.

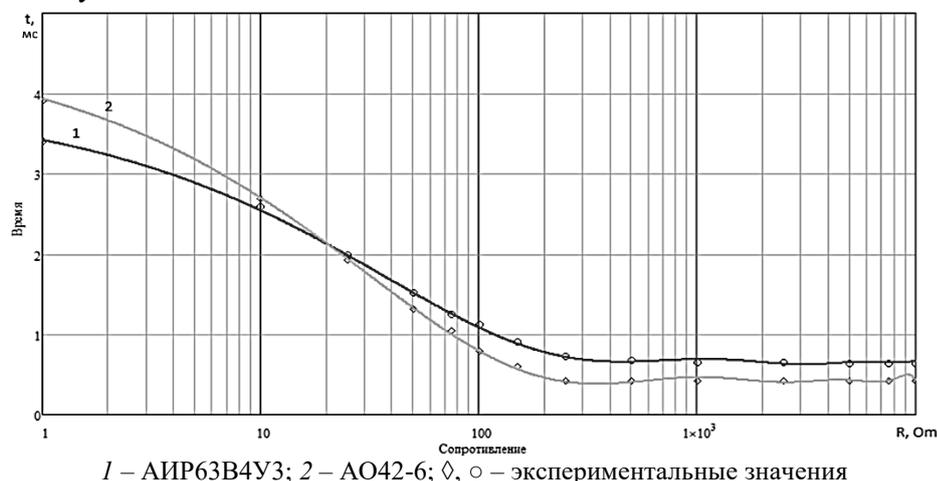


Рис. 3. Зависимость выделенного информативного параметра от величины дефектного межвиткового сопротивления для исследуемых электрических машин
1 – АИР63В4У3; 2 – АО42-6; \diamond , \circ – экспериментальные значения

$$R(t_{\Delta\phi}) = a \cdot t_{\Delta\phi}^0 + b \cdot t_{\Delta\phi}^{\frac{1}{2}} + c \cdot t_{\Delta\phi}^1 + d \cdot t_{\Delta\phi}^{\frac{3}{2}} + e \cdot t_{\Delta\phi}^2 + f \cdot t_{\Delta\phi}^{\frac{5}{2}}, \quad (1)$$

где a, b, c, d, e, f – значения коэффициентов при $t_{\Delta\phi}$ в полиноме; $t_{\Delta\phi}$ – время между переходами через ноль первой спектральной составляющей тока холостого хода и результирующей кривой, полученной путем сложения высших спектральных составляющих.

Список использованных источников.

- ГОСТ ISO 20958-2015: Контроль состояния и диагностика машин. Сигнатурный анализ электрических сигналов трехфазного асинхронного двигателя: введ. 11.01.16. — Москва: Стандартинформ, 2016. — 24 с.
- Способ комплексного контроля фазных обмоток трехфазной электрической машины / Ю. В. Суходолов, А. В. Белоусов, Л. П. Крученок // патент ВУ 20042 С1 от 30.04.2015.
- Исаев, А. В. Определение спектра намагничивающего тока электрических машин при дефектах в обмотках / А. В. Исаев, В. В. Зеленко, С. В. Сизиков // Приборостроение-2020 : материалы 13-й Международной научно-технической конференции, 18–20 ноября 2020 года, Минск, Республика Беларусь / редкол.: О. К. Гусев (председатель) [и др.]. — Минск: БНТУ, 2020. — С. 61–62.
- Исаев, А. В. Определение дефектов обмоток электрических машин по параметрам спектра тока холостого хода / А. В. Исаев, Ю. В. Суходолов, С. В. Сизиков, А. А. Шейников // Метрология и приборостроение, 2022. — №1 — С. 17–23.

МОДИФИКАЦИЯ ТАХОМЕТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРУЩЕЙСЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗАРЯДОЧУВСТВИТЕЛЬНЫМ МЕТОДОМ

Е.Д. Ромашко, М.С. Борбат, А.В. Койро, А.В. Исаев, К.В. Пантелеев

УО «Белорусский национальный технический университет», Минск, Беларусь; nil_pt@bntu

Введение. Под зарядочувствительным методом понимаются методы, основанные на бесконтактном измерении контактной разности потенциалов вибрирующим конденсатором [1]. Контактная разность потенциалов связана с такой фундаментальной величиной твердых тел, как работа выхода электрона поверхности (РВЭ).

Применение РВЭ в трибологии – это относительно новая область исследования, которая фокусируется на том, как электронные свойства материалов могут влиять на трение и износ и наоборот. Этот подход для трибологических исследований неоднократно применялся ранее [2–6] и основан на связи между поверхностными свойствами материала (электронная структура) и их трибологическими характеристиками. Использование РВЭ поверхности как параметра для характеристики трения и износа открывает интересные перспективы в трибологии. Изменения РВЭ в процессе трения поверхности могут быть ранним индикатором износа [3, 4], а ее контроль помогает создавать материалы и покрытия с улучшенными трибологическими свойствами [5, 6]. Использование зарядочувствительных методов особенно актуально для высокотехнологичных применений, где контроль состояния поверхности на микро- и наноуровне имеет критическое значение.

Цель работы. Восстановление тахометрической установки ТХ1-60, автоматизация ее управления и сбора данных, адаптация для исследования поверхности в процессе трения с использованием зарядочувствительного метода.

Результаты и их обсуждение. Тахометрическая установка ТХ1-60 и ее аналоги используются для поверки, калибровки, регулировки тахометров либо измерения скорости вращения объектов путем сравнения скорости вращения объекта с образцовой скоростью.

Управление приводом образцовой скорости тахометрической установки ТХ1-60 осуществляется заданием дискретных значений скорости с последующей плавной ручной регулировкой до совпадения полученной и требуемой скоростей при визуальном контроле состояния оптического индикатора синхронизации с последующей автоматической поддержкой синхронизации. Это позволяет с достаточно высокой точностью синхронизировать отсчеты измерения контактной разности потенциалов бесконтактным измерительным зондом в конкретной точке трущейся поверхности и, соответственно, проследить кинетику изменения состояния трущейся поверхности в конкретной точке поверхности по изменению относительных значений работы выхода электрона. Согласно нормативно-техническим данным ТХ1-60 обеспечивает диапазон воспроизведения и изменения частоты вращения от 5 до 60 000 об /мин с погрешностью $\pm 0,1$ измеряемого значения скорости.

По принципу работы на базе ТХ1-60 могут быть реализованы схемы трения «ролик-ролик» и «ролик-вкладыш», аналогично схемам трения, используемых в широко распространенной машине трения 2070 СМТ-1. Для исследования поверхности трения зарядочувствительным методом существует требование, чтоб контролируемая поверхность была открытой, т.е. не перекрытой контробразцом, для размещения над ней зонда. Существуют методики, где подвижный ролик является испытываемым телом, а вкладыш выполняет роль контртела [7, 8]. Это менее традиционная схема, но она активно применяется, особенно при тестировании материалов, используемых в подвижных частях механизмов.

Чтобы переделать ТХ1-60 в машину трения, требуется значительная модификация, потому что ТХ1-60 ориентирована на измерение скорости вращения, но не учитывает силы взаимодействия между поверхностями, что критично для машины трения. Основными доработками будут являться следующие:

– **добавление механизма нагружения:** необходимо разработать систему, которая бы обеспечивала контакт двух поверхностей для трения под нагрузкой. Это может быть вал с прижимным механизмом по принципу, как это реализовано в 2070 СМТ-1;

– **измерение силы трения:** в этом случае потребуется добавить датчики, которые будут измерять момент сопротивления, возникающий при трении, и переводить его в цифровые данные. В машине трения это могут быть тензодатчики или аналогичные датчики;

– **измерение износа:** необходимо добавить возможность контроля за износом материалов, что требует дополнительного оборудования для контроля изменения толщины или массы образца;

– **контроль нагрузки и температуры:** машина трения 2070 СМТ-1 позволяет регулировать нагрузку и температуру в месте контакта поверхностей;

– **модернизация системы фиксации образцов:** важным также является необходимость предусмотреть возможность крепления тестируемых образцов таким образом, чтобы они сохраняли постоянный контакт и поддавались регулируемому прижатию.

Следует отметить, что в ходе модернизации и адаптации тахометрической установки для обеспечения исследований трущейся поверхности предполагается реализовать автоматизированное управление и сбор данных. Преимуществами автоматизированного управления заключаются в следующем:

– автоматизация позволяет точно контролировать параметры испытаний, такие как скорость, давление, температура и сила трения, что значительно уменьшает погрешности, которые могут возникнуть при ручных измерениях;

– программное обеспечение позволяет задать различные сценарии испытаний, изменять условия эксперимента, проводить длительные тесты в автоматическом режиме;

– автоматический сбор и хранение данных эксперимента в цифровом виде, что значительно облегчает последующую обработку и анализ результатов;

– минимизация человеческого фактора, имеющего место при ручном управлении.

Список использованных источников.

1. Универсальный цифровой зондовый электрометр для контроля полупроводниковых пластин / А.Л. Жарин, В.А. Микитевич, А.И. Свистун, К.В. Пантелеев // Приборы и методы измерений. – 2023. – Т. 14, № 3. – С. 161–172.

2. Ривьере Х. Работа выхода. Измерение и результаты / Поверхностные свойства твердых тел / Под ред. М. Грина. – М.: Мир, 1972.

3. Жарин, А. Л. Детектирование периодического усталостного разрушения поверхностных слоев металлических материалов при трении методом Кельвина / А. Л. Жарин, К. В. Пантелеев, А. И. Свистун // Актуальные проблемы прочности: монография. В 2-х т. Т. 2. / Бабич В. Е. [и др.]; под ред. В. В. Рубаника. – Витебск : УО «ВГТУ», 2018. – 455–473 с.

4. Charge sensitive techniques in tribology studies / K. Pantisaleyeu, A. Zharin, M. Opielak, P. Rogalski // Przegląd Elektrotechniczny. – 2016. – R. 92, № 11. – P. 239 – 243.

5. Subrahmanyam. A. The Kelvin Probe for Surface Engineering: Fundamentals and Design. – CRC Press, 2010.

6. Контроль металлических поверхностей, обработанных алмазным наноточением, по работе выхода электрона / Г. В. Шаронов, А. Л. Жарин, Н. И. Мухуров, К. В. Пантелеев // Приборы и методы измерений. – 2015. – Т.6, № 2. – С. 196–203.

7. Hutchings, I. M. Tribology: friction and wear of engineering materials. –CRC Press, 1992.

8. Крагельский И. В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968.

РАЗРАБОТКА КАЛЬЦИЕВОГО ПЛАСТИЧНОГО СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА С ДИСПЕРСИОННОЙ СРЕДОЙ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Ф.А. Григорьев

ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси»,
Гомель, Беларусь; grigoriev.feodor@gmail.com

Введение. Пластичные смазочные материалы (ПСМ) представляют собой коллоидную систему, включающую жидкое масло (дисперсионную среду) и твердый загуститель (дисперсную фазу) [1]. В большинстве случаев в роли дисперсионной среды (ДС) выступают минеральные и синтетические масла, а дисперсной фазой (ДФ) служат соли жирных кислот. Однако современная тенденция к снижению экологического воздействия продуктов переработки нефти на окружающую среду [2] сделала актуальным использование растительных масел для создания смазочных материалов.

Растительные масла, как правило, демонстрируют лучшие триботехнические характеристики по сравнению с минеральными и синтетическими маслами без присадок, но низкая термоокислительная стабильность требует использования антиокислительных присадок.

Цель работы. Разработка, оптимизация состава и исследование функциональных характеристик кальциевых пластичных смазочных материалов с дисперсионной средой на основе растительного сырья.

Материалы и методы исследования. В качестве объектов исследования были выбраны кальциевые ПСМ, полученные путем загущения базового масла кальциевой солью 12-гидроксистеариновой жирной кислоты. В качестве базовых масел были выбраны индустриальное масло И-40А (ГОСТ 20799-2022) и индустриальное масло на основе смесей растительного сырья и антиокислительной присадки БИО-ГрОИЛ (ТУ ВУ 400084698.327-2023). Технологический процесс изготовления пластичных смазочных материалов подробно изложен в работе [3]. Кальциевые пластичные смазки Солидол Ж (ГОСТ 1033-79) и Солидол С (ГОСТ 4366-76) были выбраны для сравнения.

Функциональные характеристики, такие как: предел прочности на сдвиг, температура каплепадения, коллоидная стабильность, показатель износа и содержание свободных щелочей в пересчете на NaOH, определяли по стандартным методикам (таблица 1).

Результаты и их обсуждение. Для отработки технологии изготовления и рецептуры был подготовлен ПСМ с ДС из индустриального минерального масла И-40А (образец К15И) с концентрацией ДФ 15 масс. %. Результаты оценки функциональных характеристик и сравнение с промышленно выпускаемыми кальциевыми смазками Солидол Ж и Солидол С представлены в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, изготовленная смазка К15И, имея тот же состав, что и промышленные образцы, характеризуется сходными функциональными характеристиками. Их отличия могут быть объяснены различным содержанием ДФ и отсутствием пакета присадок. Близость свойств полученной смазки к промышленным образцам свидетельствует о соответствии методов их изготовления, что устраняет влияние факторов, связанных с возможными отличиями лабораторной и промышленной технологий.

Было изготовлено 11 образцов смазок на основе растительного сырья с содержанием дисперсной фазы от 10 до 20 масс. %. Результаты оценки их функциональных характеристик представлены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что эффект загущения ДС наблюдается при концентрации ДФ от 13 масс. % и выше. Образцы Ка10Био, Ка11Био и Ка12Био имеют низкие значения температуры каплепадения и недостаточную коллоидную стабильность, что свидетельствует о жидком состоянии. С увеличением содержания ДФ коллоидная стабильность улучшается, а предел прочности на сдвиг увеличивается, что может негативно сказаться на прокачиваемости смазок в ходе их эксплуатации.

Таблица 2. Физико-механические и триботехнические характеристики смазочных материалов

Смазка	Физико-механические и триботехнические характеристики и используемые стандарты для их определения				
	Содержание свободных щелочей в пересчете на NaOH, масс. % ГОСТ 6707-76	Показатель износа, мм ГОСТ 9490-75	Температура каплепадения, °С ГОСТ 32394-2013	Коллоидная стабильность, % ГОСТ 7142-74	Предел прочности на сдвиг при 50 °С, Па ГОСТ 7143-73 (метод А)
Солидол Ж	0,08	1,10	99	15	290
Солидол С	0,124	0,93	95	11	220
Ка15И	0,125	1,05	153	6,5	241
Ка10Био	0,183	1,14	25	50	18
Ка11Био	0,193	1,20	25	39	47
Ка12Био	0,159	0,92	25	36	61
Ка13Био	0,117	1,06	151	26	95
Ка14Био	0,191	0,94	141	28	151
Ка15Био	0,194	0,95	147	19	267
Ка16Био	0,107	1,07	145	7	335
Ка17Био	0,195	0,94	146	4	1102
Ка18Био	0,144	1,10	157	3	1239
Ка19Био	0,113	1,12	149	3	1244
Ка20Био	0,154	1,05	150	0,5	1342

Смазочные материалы с содержанием ДФ выше 13 масс. % имеют одинаковые значения температуры каплепадения, которая обусловлена температурой плавления 12-гидроксистеарата кальция. Дальнейшее увеличение температуры каплепадения может быть достигнуто введением функциональных и структурных присадок.

По совокупности триботехнических и физико-механических характеристик полученных ПСМ, можно отметить, что образец Ка15Био (содержание ДФ 15 масс. %) является функциональным аналогом промышленных кальциевых пластичных смазок. При этом, поскольку температура каплепадения у нее выше, чем у аналогов на 40 %, данный ПСМ пригоден для узлов трения, работающих при повышенных температурах [4].

Заключение. Разработана рецептура получения кальциевых пластичных смазочных материалов на основе растительного сырья. Установлено оптимальное содержания дисперсной фазы в ПСМ, составляющее 15 масс. %. Определены функциональные характеристики изготовленных ПСМ. Показано, что по своим характеристикам смазка с содержанием 15 масс. % ДФ аналогична промышленно выпускаемым солидолам марок Ж и С, обладая при этом на 40 % более высокой температурой каплепадения, что позволяет ее использовать в более теплонагруженных узлах трения.

Благодарности. Работа выполнена в рамках ГПНИ «8. Материаловедение, новые материалы и технологии» подпрограммы «8.4. Многофункциональные и композиционные материалы» задания № 4.2.3 НИР 1 и при частичной финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № T22BA-003).

Список использованных источников.

1. И.Г. Фукс. Пластичные смазки – М.: Химия. – 1972 – 160 с.
2. Директива 2009/28/ЕС 23.07.2009. Параграф 17. Критерии экологичности для биотоплива и биожидкостей // Электронный ресурс. – Режим доступа: URL: <http://base.garant.ru/2571107/a7b26eafd8fd23d18ca4410ac5359e0e/> – Название с экрана.
3. Ищук Ю.Л. Технология пластичных смазок / Ю.Л. Ищук. – Киев : Наук. думка, 1986 г. – 244 с.
4. Т.Манг, У. Дрезель Смазочные материалы. Производство, применение, свойства. Справочник: пер. с англ. 2-го изд. / под. Ред. В.М. Школьниковой – СПб : ЦОП «Профессия», 2015 – 944 с.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ОСАЖДЕНИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СПЛАВОВ ЦИНКА

Д.В. Зиневич, А.М. Кузей

ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси», Минск, Беларусь; ZinevitchDaniil@yandex.com

Введение. В целях защиты стальных изделий, эксплуатирующихся во влажных промышленных атмосферах, наиболее широко используются лакокрасочные (полимерные) и цинковые (металлические) покрытия.

Для нанесения цинкового покрытия применяют, в основном, два метода – электрохимический и металлургический. Каждому методу присущи свои технологические достоинства и общий недостаток – низкая собственная химическая и электрохимическая стойкость, снижающая антикоррозионные характеристики покрытий.

Металлургический метод нанесения цинкового покрытия применяют для антикоррозионной защиты строительных конструкций, деталей несложных форм, эксплуатирующихся в закрытых помещениях и в условиях воздействия атмосферы, когда не требуется декоративная отделка и нет ограничений по равномерности толщины покрытия.

Для защиты от коррозии деталей более сложных форм и эксплуатации во влажных помещениях с повышенной коррозионной средой применяется электрохимический метод нанесения покрытий, за счет мелкокристаллической структуры такие покрытия являются более коррозионностойкими. В этом технологическом варианте повышение стойкости покрытий обеспечивается нанесением на поверхность цинка лакокрасочного покрытия либо термической обработкой. Повышение собственной химической (электрохимической) стойкости достигается легированием цинка никелем, железом, медью [1].

Наиболее эффективным в этом отношении является легирование цинка никелем. Покрытия с 5-8 мас. % никеля являются перспективной заменой цинковых пассивированных покрытий [2].

Материалы и методы исследования. Электрохимические покрытия системы Zn-Ni наносили из борфторидных электролитов. Составы электролитов: Борфторид цинка (100 г/л; 133 г/л); борфторид никеля (100 г/л; 66 г/л). Плотность тока при осаждении покрытий равнялась 3 А/дм². Осаждение покрытий на стальных подложках диаметром 30 мм и толщиной 5 мм проводили в гальванической ванне, расстояние между электродами составляло 15 сантиметров, в качестве источника питания использовался прибор НУ310Е-2. Осаждение проводилось без нагрева и перемешивания электролита.

Исследование морфологии и микроструктуры поверхности покрытий осуществляли на растровом электронном микроскопе VEGA/TESCAN (Япония).

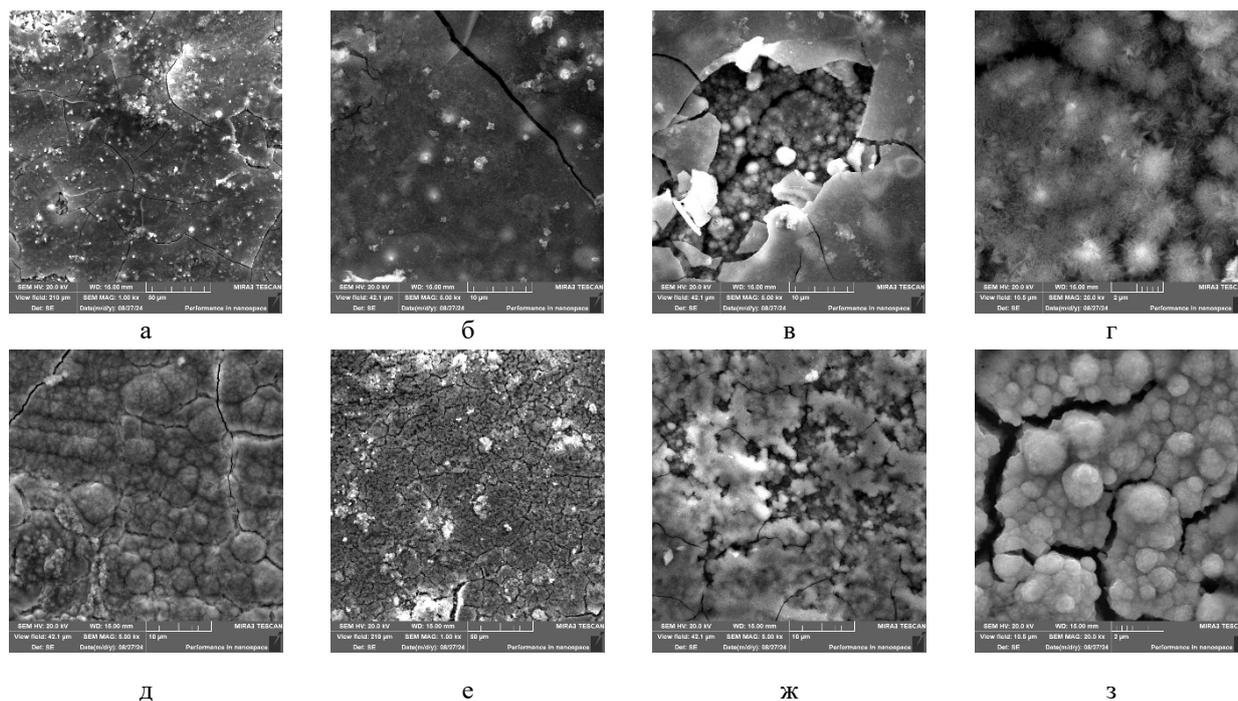
Приготовлены электролиты со следующими составами:

Таблица 1. Составы электролитов для осаждения сплава цинк-никель

Название компонента / Концентрация г/л	Электролит №1	Электролит №2
Ni (BF ₄) ₂	100	133
Zn (BF ₄) ₂	100	66

Микроструктура покрытий сплава цинк никель полученные при плотности тока 3 А/Дм² из электролитов № 1, № 2 представлена на рис. 1.

Морфология покрытий характеризуется микротрещинами на не травленной поверхности что может быть связано с высоким поверхностным напряжением покрытия. При увеличении плотности тока количество микротрещин уменьшается, что может быть связано с уменьшением количества никеля в составе покрытия и как следствием с уменьшением напряженности поверхности.



а-г – Электролит 1, плотность тока 3 А/дм²;
 д-з – Электролит 2, плотность тока 3 А/дм²;
 Рис. 1. Микроструктура покрытий Zn-Ni:

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ, договор № T24МП-059 от «2» мая 2024 г.

Список использованных источников.

1. Черная Е.В., Бобрикова И.Г. Закономерности электроосаждения сплава цинк-никель в аммиакат-ных электролитах [Закономерности электроосаждения сплава цинк-никель в аммиачных электролитах]. Технические науки. 2011;(5):112. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/zakonomernosti-elektroosazhdeniya-splava-tsink-nikel-v-ammiakatnyh-elektrolitah>

2. Бурляев, Д. В., Козадеров, О. А., Волович, П. (2021). Покрытия из цинк-никелевых сплавов: кинетика электроосаждения, коррозия и селективное растворение. Обзор. Конденсированные среды и межфазные границы, 23(1), 3-15.

СТРУКТУРА НАРУШЕННОГО СЛОЯ НА ПОВЕРХНОСТИ МОНОКРИСТАЛЛА АЛМАЗА ПОСЛЕ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

П.А. Костюкевич

Государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси»,
 Минск, Беларусь; kostykevichP@yandex.ru

Введение. Совершенствование технологий синтеза монокристаллов и порошков алмаза привело к снижению их стоимости и расширению областей использования в различных областях техники. Основным методом обработки монокристаллов и поликристаллов алмаза является алмазно-абразивная обработка. Особенностью технологий механической обработки (алмазно-абразивного шлифования) моно-, поликристаллов алмаза является большая твердость обрабатываемого материала, чем инструмента. Изнашивание монокристаллов алмаза при алмазно-абразивной обработке протекает через стадии образования на их поверхности дефектного (нарушенного) слоя и его разрушения.

Цель работы. Исследование строения и структуры нарушенного слоя на поверхности монокристалла алмаза после алмазно-абразивного шлифования.

Материалы и методы исследования. Объектом исследования являлись заготовки из монокристалла синтетического алмаза массой 0,161 мг (0,8 карат). Обработку заготовки проводили на круглошлифовальном станке марки ШП-3 при скорости вращения алмазного шлифовального круга формы 1А1 150х5х6х32 200 об / мин и частоте осцилляции вращающейся заготовки по поверхности алмазно-абразивного круга 10 двойных ходов в минуту. В алмазных кругах использовали алмазный порошок зернистостью 80/63мкм марки АС-6 при его концентрации в алмазосодержащем композиционном материале 35 об. % на основе фенолформальдегидной смолы марки СФП-012А (40 об. %) и наполнителей (диоксид кремния и карбид кремния) – остальное.

Результаты и их обсуждение. Шлифование монокристалла алмаза алмазно-абразивным кругом формирует на его поверхности характерные микрорельефы, состоящие из множества выступов и углублений, гребней и борозд между ними (рис. 1).

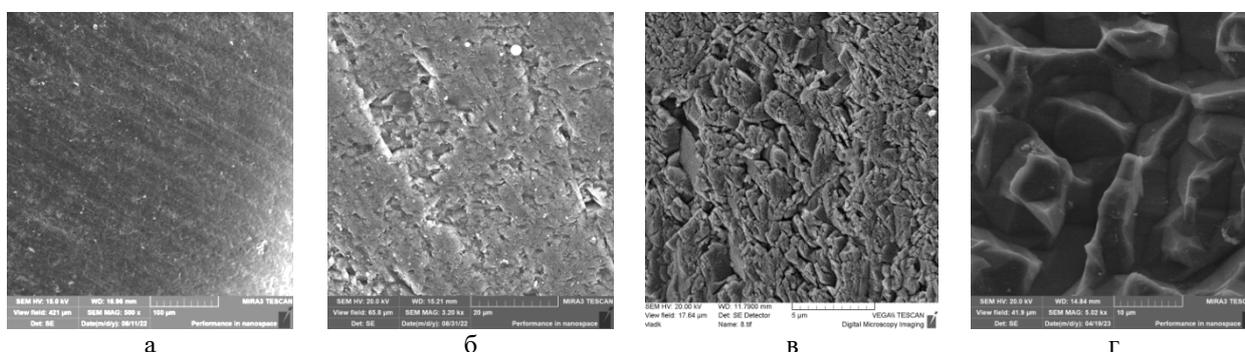


Рис. 1. Морфология поверхности (а) и структура нарушенных слоёв на поверхности монокристалла алмаза: а – исходное состояние; б, в, г – обработка в расплаве гидроксида натрия в течение 15, 30, 50 минут соответственно

Обработка монокристалла алмаза в расплаве гидроксида натрия в течение 15 минут сопровождается растворением алмаза и образованием на поверхности монокристаллов рельефов из ямок и канавок растворения (травления). Отдельные ямки травления имеют треугольную форму (рис. 1 б, в). На отдельных участках поверхности преимущественное растворение алмаза отмечено в бороздах, между гребнями (рис. 1 б).

Увеличение длительности обработки монокристалла алмаза в расплаве гидроксида натрия до 30 минут изменяет морфологию его поверхности (рис. 1 в). Морфологию поверхности монокристалла алмаза образуют блоки разделенные канавками растворения и ямки растворения, некоторые из них имеют треугольную форму (рис. 1 б, в). Поверхность блоков разделена канавками растворения на субблоки размерами 0,3 – 0,5 мкм.

Увеличение длительности обработки монокристалла алмаза в расплаве гидроксида натрия до 50 минут приводит к изменению морфологии поверхности монокристалла (рис. 1 г). Морфология поверхности монокристалла алмаза представляет собой совокупность гребней, разделенных канавками и ямками растворения (рис. 1 г). Совокупность гребней и канавок растворения формируют на поверхности монокристалла алмаза рельефы с различной архитектурой (рис. 2 а, б). Последующее увеличение длительности обработки монокристалла до 60 минут выявляет блочную структуру монокристалла (рис. 2 в).

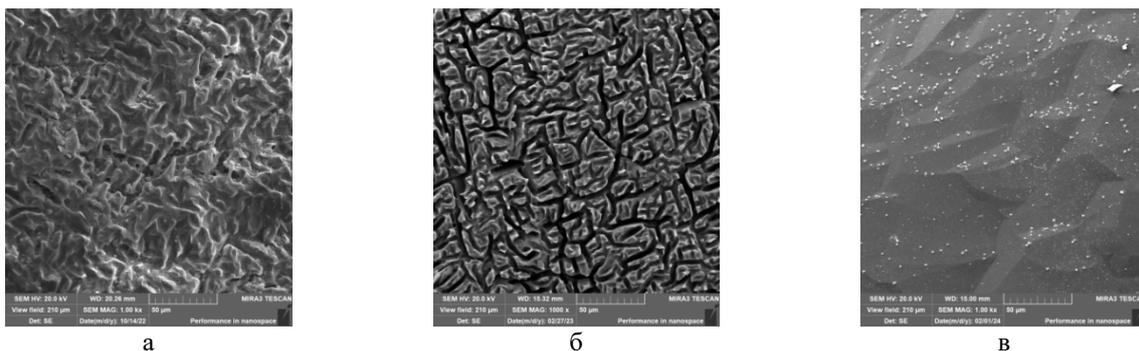


Рис. 2. Морфология поверхности участков монокристалла алмаза: а, б – обработка в расплаве гидроксида натрия в течение 50 минут; в – обработка в расплаве гидроксида натрия в течение 60 минут

Множественные соударения алмазных зерен с поверхностью монокристалла алмаза сопровождаются формированием областей сжатия-растяжения, последующая релаксация которых приводит к возникновению сети микротрещин и нарушенного слоя. Воздействие гидроксида натрия на шлифованные поверхности монокристалла алмаза выявляет различия в физико-химических характеристиках различных участков поверхности. Если присутствие ямок травления (треугольной формы) связано с преимущественным растворением участков выхода дислокаций, то присутствие канавок травления можно связывать с раскрытием устьев микротрещин, т.е. участков локализованных напряжений (растяжения), либо растворением участков выхода микротрещин. Различия в морфологии участков нарушенного слоя в зависимости от длительности воздействия расплава гидроксида натрия отражают строение нарушенного слоя алмаза и в зависимости кристаллографической ориентации участков поверхности алмаза. После увеличения длительности обработки в расплаве гидроксида натрия до 50 минут, на поверхности монокристаллов образуются микрорельефы, отражающие структуру переходного участка между нарушенным слоем и монокристаллом. Гребни в структуре участка переходного и нарушенного слоя представляют собой частично растворившиеся (дефектные) блоки в структуре монокристалла.

Таким образом, структуру нарушенного слоя на поверхности алмаза, образующуюся после шлифования алмазно-абразивным инструментом можно представить состоящей из слоёв с различной плотностью микротрещин, разделяющих монокристалл на отдельные фрагменты.

МЕХАНИЗМ ИЗНОСА РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

А.В.Кроливец, В.Е. Бабич

Университет гражданской защиты МЧС Беларуси, Минск, Республика Беларусь; babich83@mail.ru

Введение. Значительный объем работ по разборке строительных конструкций выполняется с использованием гидравлического, пневматического и инструмента с мотоприводом. При этом, наиболее используемым доступным является инструмент с мотоприводом, а именно бензорезы. Данный вид инструмента отличается удобством, мобильностью и эффективностью. В качестве рабочего органа в бензорезе выступает алмазно-отрезной (алмазоабразивный) круг. Однако, четких рекомендаций по выбору данного типа инструмента для ликвидации чрезвычайных ситуаций нет, что предопределяет исследование механизмов износа рабочих поверхностей алмазного инструмента при резании различных материалов, формирование которых возможно в зонах разрушений.

Материалы и методы исследования. В работе методами электронной сканирующей микроскопии изучена морфология и микроструктура поверхностей износа монокристаллов алмаза (AC 180) фракции 500/400 мкм после эксплуатации в алмазном инструменте 1A1 PSS 300x40x3. В качестве матрицы алмазосодержащего композиционного материала использовали сплав на основе системы Fe – Cu (10 мас. %). –Ni (20 мас. %). Концентрация кристаллов алмаза в композиционном материале составляла 150 отн. %.

Результаты и их обсуждение. Исследования морфологий износа сегментов алмазосодержащих композиционных материалов показали, что концентрация кристаллов алмаза на периферийной поверхности сегментов значительно меньше, чем на боковых поверхностях сегментов. Морфология поверхностей кристаллов на периферийной и боковых поверхностях сегментов также различаются. На боковых поверхностях сегментов большая часть кристаллов алмаза сохранили исходную форму. На ребрах и гранях кристаллов образовались дефекты в виде сколов и трещин, однако исходная форма кристаллов не нарушена и кристаллы выступают над связкой.

Морфология поверхностей износа кристаллов алмаза, морфология и характер ее изменения при увеличении длительности травления, показывает, что износ кристаллов алмаза происходит в несколько стадий.

Множественные соударения кристаллов алмаза с компонентами бетона приводят к периодическому возникновению в приповерхностном слое областей напряжений, зарождению в них микротрещин, и затем образованию сети микротрещин. Морфологически эта стадия представлена отдельными канавками травления на границах и ребрах кристалла. Образование на поверхности кристаллов алмаза микротрещин, трещин, микросколов и микровырывов можно рассматривать как износ, проходящий по механизму усталостного разрушения, хотя по морфологическим признакам он соответствует механизму хрупкого разрушения.

Накопление в приповерхностном слое дефектов в форме отдельных микротрещин приводит к образованию нарушенного слоя из объемной сети микротрещин. Плотность микротрещин в дефектном слое различна. Морфологически эта стадия представлена отдельными сколами на поверхности граней или ребрах кристаллов алмаза. Износ кристаллов алмаза на этой стадии протекает по механизму хрупкого разрушения.

Формирование нарушенного слоя протекает в условиях фрикционного контакта кристаллов с бетоном, продуктами износа бетона и связки с высокими температурами до 1700К. Присутствие продуктов износа, в том числе и связки, в устьях микротрещин можно рассматривать как проявление одной из стадий адгезионного механизма износа, когда продукты износа внедряются в поверхность кристалла с высокой, (большей чем температура плавления основных компонентов связки) температурой. Повышение температуры поверхности кристалла, образование нарушенного приповерхностного слоя, внедрение продуктов износа в поверхность кристалла и в устья микротрещин приводят к развитию трещин и множественным сколам превращающих кристалл в обломок. Морфологически эта стадия представлена кристаллами с одним, или множественными сколами и обломками кристаллов. Основным механизмом износа кристалла на этой стадии является хрупкое разрушение.

Таким образом, ведущему механизму износа кристаллов алмаза – хрупкому разрушению – сопутствуют механизмы усталостного разрушения и адгезионного изнашивания.

Морфологии поверхностей износа композиционных материалов на боковых и периферийных поверхностях сегментов показывают, что эксплуатационные характеристики алмазообразивного инструмента также определяются механизмом износа кристаллов алмаза на периферийной поверхности сегментов.

Выводы. Показано, что износ кристаллов алмаза по механизму хрупкого разрушения приводит к тому, что кристаллы разрушаются до затупления вершин и граней. Ресурс кристалла алмаза, как единичного режущего инструмента, вследствие его разрушения, снижается задолго до фактического изнашивания режущих кромок. Разрушение кристалла алмаза на несколько крупных обломков обусловлено механизмами фрикционного взаимодействия с бетоном. Образование нарушенного поверхностного слоя, в условиях повышения температур в зоне фрикционного

контакта, приводит к внедрению продуктов износа в устья микротрещин. В результате на поверхности кристалла формируется дефектный слой, в котором зарождаются магистральные трещины, разрушающие кристалл на крупные (100-200 мкм) осколки. Такое проявление механизма хрупкого разрушения обусловлено действием предшествующих ему стадий – усталостному разрушению и адгезионному износу.

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ АЛМАЗНЫХ ЗЕРЕН НА РЕЖУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ АЛМАЗНЫХ ОТРЕЗНЫХ КРУГОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ

А.А. Левданский, В.Е. Бабич

Университет гражданской защиты МЧС Беларуси, Минск, Республика Беларусь; babich83@mail.ru

Введение. Существует ряд областей (резание крупных стальных конструкций, конструкций из высокоармированных железобетонов и т.д.), где алмазобразивный инструмент может быть альтернативой абразивному из-за его низкой размерной стойкости и низкой прочности. В работе изучено влияние концентрации алмазных зерен на режущую способность алмазобразивного инструмента. Объектами исследования являлись алмазные отрезные круги (IARI 300x3x40) с концентрацией алмазных зерен (AC200, 500-400 мкм) в композиционном материале (сегменте круга) 50, 100, 125 отн. %.

Материалы и методы исследования. Алмазными отрезными кругами резали пластину из стали марки Ст45 на заготовки размерами 100x10x10. Скорость вращения круга 3000 об / мин. Усилие прижима круга к заготовке составляла 40Н. В качестве образца сравнения использовали абразивный круг (230x4x32 13A F46 T2B4). Режущая способность круга с концентрацией алмазных зерен 50 отн. % изменяется с увеличением количества резов с 2-х до 4-х, 6-и от 6,4 до 5,1 и 3,9 г / мин соответственно.

Результаты и их обсуждение. Изменения режущей способности кругов с 100 отн. % и 125 отн. % концентрацией алмазных зерен в композиционном материале от количества резов выражено в меньшей степени: режущая способность кругов составила 11,2; 9,4; 7,7 г / мин и 16,8; 15,5; 14,7 г / мин для 2, 4, 6 резов соответственно. Режущая способность абразивного круга после 2, 4, 6 резов составляла 22,3; 21,2; 19,7 г / мин соответственно.

Установлен характер изменения режущей способности композиционных материалов с различной концентрацией алмазных зерен. Морфологии поверхностей износа композиционных материалов показывает, что хрупкому разрушению алмазных зерен предшествует стадия усталостного разрушения. Многократно повторяющиеся циклы внедрения алмазного зерна в сталь сопровождающиеся повышением температуры снижают твердость алмаза. В области температур 1275 – 1675 К, твердость алмаза составляет 4-2ГПа [1]. Снижение твердости приповерхностного слоя на алмазных зернах способствует зарождению микротрещин, затем образованию сети микротрещин (нарушенного слоя). Разрушение зерна в зависимости от силовых параметров обработки происходит множественными сколами, либо алмазное зерно разрушается на несколько крупных частей магистральными трещинами.

Резание стали абразивными и алмазобразивными кругами имеет ряд общих черт: единичными инструментами являются зерна (корунда, алмаза) с острыми и плоскими вершинами; процесс резания сопровождается фрикционным взаимодействием поверхностей и повышением температуры в зоне резания (фрикционного контакта). Повышение концентрации алмазных зерен в композиционном материале снижает фрикционную составляющую процесса резания, нагрузки на зерна, что повышает режущую способность круга. Это показывает, что нет принципиальных ограничений использования алмазных зерен в абразивном инструменте для обработки стали. Режущая способность алмазобразивного круга с 125 отн. % концентрацией алмазных зерен незначительно отличается от режущей способности абразивного, но более высокие физико-

механические характеристики алмазных зерен и металлической связки позволяют повысить эксплуатационные показатели круга при снижении интенсивности фрикционного взаимодействия связки со сталью.

Список использованных источников.

1. Круглов Г.А., Тарасевич И.К. Пути интенсификации обработки алмазов. В кн.: Синтетические алмазы – ключ к техническому прогрессу, ч. II, Киев: Наук.думка, 1977, с.132-136.

ПОВЫШЕНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПУТЕМ ВВЕДЕНИЯ МИКРО-/НАНОДОБАВОК К СМАЗОЧНОМУ МАТЕРИАЛУ

А.Б. Мухтарова

Институт машиноведения А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия; aygerim.tokhmetova@mail.ru

Цель работы. Разработка методов для оценки температуры легированного масла микро-/нанодобавками, а также их сравнение с экспериментальными данными.

Материалы и методы исследования. При эксплуатации деталей машин необходимо контролировать температуру в зоне контакта, которая сильно влияет на срабатывание активных компонентов смазочных материалов [1]. Поэтому разработаны методы для определения температуры смазочного слоя.

Первый математический метод необходим для расчета температуры θ на основе энергетического баланса пары трения при сдвиге и переменной скорости в смазочном слое [2]:

$$\theta = \frac{\tau v_0 \left(1 - \frac{z}{H}\right) \sqrt{t}}{1,73(\sqrt{\lambda_1 c_1 \rho_1} + \sqrt{\lambda_2 c_2 \rho_2})}, \quad (1)$$

где τ – напряжения сдвига;

v_0 – скорость сдвига;

z – координата;

H – высота смазочного слоя;

t – время;

$\lambda_{1,2}$ – теплопроводность поверхностей;

$\rho_{1,2}$ – плотность поверхностей;

$c_{1,2}$ – теплоемкость поверхностей.

Во втором математическом методе анализируется теплопередача через смазочный слой (рис. 1) на основе уравнения теплопроводности Фурье в частных производных:

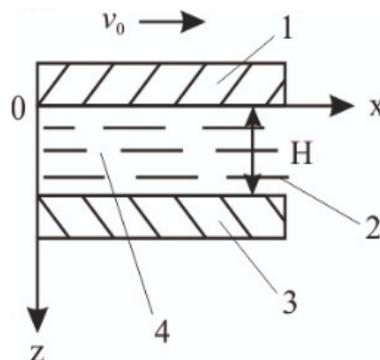


Рис. 1. Модель задачи: 1 – подвижная поверхность, 2 – зазор, 3 – неподвижная поверхность, 4 – смазочный материал

$$\theta(z, t) = \frac{\alpha \tau v_0 \sqrt{a}}{\lambda \sqrt{\pi}} \left(1 - \frac{z}{H}\right) \left\{ \frac{2e^{-\frac{z^2}{4at}} \sqrt{t}}{\sqrt{\pi}} - \frac{z}{\sqrt{a}} \left(1 + \operatorname{erf}\left(\frac{z}{2\sqrt{at}}\right)\right) \right\}, \quad (2)$$

где a – температуропроводность;

α – коэффициент распределения теплоты между смазкой и вращающейся металлической поверхностью;

λ – теплопроводность смазочного материала.

Приведен третий разработанный метод расчета пары трения скольжения, основанный на применении модифицированных уравнений Рейнольдса, момента трения, энергии, давления. Численное решение системы интегродифференциальных уравнений получили методом прогонки. Был разработан программный комплекс на языке программирования Delphi [3].

Результаты и их обсуждение. Для верификации предложенных моделей были проведены экспериментальные исследования. Смазочный материал включает полусинтетическое моторное масло Mobil Ultra SAE 10W-40 и микро-/нанодобавки [4]. Испытывались следующие добавки: серпентинит, шунгит, фуллерен (C_{60}) и углеродные нанотрубки (УНТ).

Смазочные композиции получали путем перемешивания моторного масла с микро-/нанодобавками на ультразвуковом диспергаторе.

Трибологические характеристики композиционных смазочных материалов в данной работе определяли на универсальной машине трения УМТ – 1 и маслоиспытательной машине КТ – 2 по методикам ИМАШ РАН, а также на лабораторном комплексе ОМД – 1 ЧПУ РТУ/МИРЭА.

В результате сравнения экспериментальных и теоретических данных температуры смазочного слоя при использовании смазочных материалов, включающих микро-/нанодобавки, разработанные математические модели показали хорошую сходимость. Отличие между опытными данными и теоретическими расчетами составило в среднем не более 13 %, что свидетельствует об адекватности математических моделей.

Отметим, с помощью анализа размерностей выведен критерий оценки ресурса t_d смазочного материала с фуллереном в зависимости от температуры, физико – механических свойств и вязкости:

$$\frac{t_{d1}}{t_{d0}} = \frac{\frac{\mu_1}{\theta_1 \rho_1 c_1}}{\frac{\mu_0}{\theta_0 \rho_0 c_0}} = \frac{C_\mu}{C_\theta C_\rho C_c}, \quad (3)$$

где $C_\mu = \frac{\mu_1}{\mu_0}$, $C_\theta = \frac{\theta_1}{\theta_0}$, $C_\rho = \frac{\rho_1}{\rho_0}$, $C_c = \frac{c_1}{c_0}$, t_{d0} , t_{d1} – ресурс моторного масла и того же масла с добавками фуллерена C_{60} ;

$\mu_0, \mu_1, \theta_0, \theta_1, \rho_0, \rho_1, c_0, c_1$ – вязкость, температура, плотность, теплоемкость моторного масла и того же масла с добавками фуллерена C_{60} .

Из проведенных расчетов следует, что введение фуллерена C_{60} приводит к росту критерия ресурса смазочного материала.

Выводы. Разработаны методы для расчета температуры смазочного слоя при переменной скорости сдвига. На основе анализа размерностей с учетом влияния температуры, физико–механических свойств и вязкости предложен критерий оценки ресурса смазочного материала. Верификация разработанных методов подтверждена результатами экспериментальных исследований.

Список использованных источников.

1. Чичинадзе А.В. Тепловые процессы при трении, изнашивании и смазке // Трение, износ и смазка

(трибология и триботехника) / Под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение. – 2003. – 576 с.

2. Михеев А.В. Моделирование температуры при смешанной смазке / А.В. Михеев, А.Б. Тохметова, М.А. Тананов // Научные труды VII международной научной конференции «Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении – 2021» (FRITME – 2021) – Москва, 2021. – С. 171–174.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2022662966. Программный комплекс для расчета нестационарной задачи двух сближающихся поверхностей / А.Ю. Албагачиев, А.Б. Тохметова, П.П. Усов – Заявка № 2022662429. Дата поступления 01 июля 2022 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 08 июля 2022 г.

4. Албагачиев А.Ю. Серпентины – как добавки к маслам: эффективность и механизм смазочного действия / А. Ю. Албагачиев, И. А. Буяновский, А. В. Дунаев, А. А. Гвоздев, В. Д. Самусенко // Проблемы машиностроения и надёжности машин. – 2021. – № 5. – С. 89 – 99.

ТРИБОЛОГИЯ КОЛКОВОЙ МЕХАНИКИ И СТРУН КЛАССИЧЕСКОЙ ГИТАРЫ

В.В. Сукало

Лаборатория музыкальных инструментов, Бобруйск, Беларусь; v.sukalo@yandex.ru

Введение. Несмотря на развитую систему музыкального и технического образования – в стране не происходит синтез технических и творческих вузов в виде институтов развития технологий и научно-творческих лабораторий по производству струн и комплектующих для струнных музыкальных инструментов. Внутренний рынок заполняется иностранными производителями, которые являются единственными поставщиками необходимых рабочих инструментов, станков и оборудования, материалов и комплектующих. Собственная продукция на данный момент не может конкурировать с международными брендами из-за отсутствия производств, квалифицированных рабочих, мастеров и инженеров. Изучение новых материалов, технологий и современных процессов в изготовлении гитар поможет способствовать появлению высокотехнологичного оборудования и новых конструкций, развитию интереса к музыкальным инструментам.

Цель работы. Создание на базе технических учебных заведений и промышленных предприятий собственного производства или производственно-технической лаборатории по усовершенствованию колковой механики и физических свойств струн для музыкальных инструментов.

При выборе материалов, комплектующих и оптимальной конструкции музыкального инструмента используют описания в научной литературе, результаты исследований, однако, значимое влияние оказывает опыт музыкальных мастеров и мнение исполнителей. В процессе трения деталей колкового механизма со временем возможен износ зубьев шестерёнок, из-за сильного натяжения струн возможна деформация грифа и верхней деки, что приводит к потере точности строя. Для ремонта исполнители пользуются услугами квалифицированных гитарных мастеров, в гитарных мастерских стандартной является процедура замены деревянной деки и металлических ладов, поверхность которых изнашивается в процессе различных исполнительских приемов игры и воздействия струн. Нулевой лад (при наличии) изнашивается больше остальных из-за трения и давления струн в одной точке.

Обмотка струн бывает круглая, плоская, полукруглая, гексагональная. Способ навивки и материал струны влияет на частоту колебаний и параметры музыкального звука. Гитарная струна изнашивается в точках контакта с ладами, местах перегиба на вале колка, нижней подставке и верхнем порожке. Проводится поиск нового покрытия и напыления для защиты струн и гитарной фурнитуры от окисления, коррозии, воздействия температур, пыли, влаги и жира. До появления первых комплектов струн из новых материалов исполнители использовали жильные или кишечные струны, которые не держали строй, были чувствительны к любым изменениям температуры, часто перетиралась и рвались в процессе занятий и концертов, имели специфический запах. Современные производства научились тестировать продукцию по всем параметрам, исключать заводской брак, делать прочные нейлоновые и карбоновые струны, которые

выдерживают нагрузку от ежедневных занятий и длительное время сохраняют изначальный внешний вид, что важно для деятельности концертного гитариста.

В технологическом процессе подгонки деталей гитарной фурнитуры и механики важно отсутствие люфта. Брендовые производители, сумевшие выйти на международный рынок, обладают патентами на все собственные изобретения, занимаются разработкой новых технологий и поиском новых материалов, используют специально разработанную смазку для плавности хода всех подвижных деталей, продления срока службы механизма. Не шлифованные и не совпадающие по размерам микротональные лады при движении могут оставлять крупные царапины на полимерной накладке микротонального грифа, что снижает срок службы рабочей поверхности, портит внешний вид инструмента.

Колки для классических гитар имеют передаточное число 1:16 или 1:18. Передаточное число в зависимости от модели инструмента (акустическая гитара, электрогитара, бас-гитара), диаметра и материала струн, может быть от 1:12 до 1:28. В производстве используют латунь, колокольную бронзу, отсутствие синтетических покрытий делает колковой механизм резонирующим блоком. Некоторые фабрики запустили в производство колки с карбоновой пластиной и ручкой штока, что актуально для бас-гитар – массивные колки стали весить меньше [1].

Прочно зафиксированные, герметизированные и закрытые винтовые соединения имеют минимальный износ, отсутствует необходимость в частом обслуживании. В поверхности штока из галалита или акрила делают латунные отверстия для струн и устанавливают шарикоподшипники на конце вала. Диаметр шарикоподшипника 10 мм, диаметр штока 9,8 мм, между штоком и деревом больше нет сопротивления и трения, что устраняет возможное появление треска и скрипа в месте соединения механики с деревянными частями головы гитарного грифа [2]. Стало возможным производить плавную настройку без дополнительных шумов, призвуков и трения.

Производство комплектующих для музыкальных инструментов становится международной деятельностью, является важным показателем уровня развития науки и технологий. В результате экспериментов и исследования диэлектрической постоянной газов появился пространственный музыкальный инструмент – терменвокс, что стало основой для дальнейших изобретений, позволяющих передавать изображение и звук на расстояния [3]. Сейчас крупные производственно-исследовательские фабрики используют материалы и результаты исследований с фабрик по производству комплектующих для музыкальных инструментов. Разработка защитных покрытий и внедрение новых технологий в области производства гитарных струн применяется в производстве стальных канатов [4], а благодаря производству гитарной механики были разработаны замки безопасности, с помощью которых достигается надежное соединение.

Список использованных источников.

1. Комплектующие струнных инструментов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://g-gotoh.com/?lang=en>. – Дата доступа 29.09.2024.
2. Более 75 лет безупречного служения музыке [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://schaller.info/en/75-years-of-schaller>. – Дата доступа 29.09.2024.
3. Галеев Б. М. Легендарный Термен // Репрессированная наука, Л.: Наука. 1991.
4. Струны для гитары [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elixirstrings.com/>. – Дата доступа 29.09.2024.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЦЕТАТА КАЛЬЦИЯ В КАЧЕСТВЕ МОДИФИКАТОРА СТРУКТУРЫ ПРОСТОЙ КАЛЬЦИЕВОЙ СМАЗКИ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Ю.М. Юркова, Ф.А. Григорьев

ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси»,
Гомель, Беларусь; yu.m.yurkova@gmail.com

Введение. Устойчивый рост промышленности приводит к необходимости создания пластичных смазочных материалов (ПСМ) с улучшенными эксплуатационными характеристиками. При решении данной задачи следует учитывать современные тенденции в отношении экологической ответственности. Одним из путей решения этой проблемы является замена минеральных масел на растительные жиры в качестве базового компонента пластичных смазок. Ранее авторами [1] было сообщено о получении композиционных смазочных материалов (СМ) с дисперсионной средой (ДС), содержащей растительное и минеральное сырье. Тем не менее, основной целью экологического устойчивого развития является создание материалов с максимально возможным показателем биоразлагаемости, чего можно достичь путем полной замены минерального сырья на растительное.

Цель работы. Разработка метода получения и модификации комплексных кальциевых смазочных материалов с дисперсионной средой на основе растительного сырья.

Материалы и методы исследования. Для формирования дисперсной фазы (ДФ) пластичных смазок использовались следующие реагенты: 12-гидроксистеариновая кислота (12-ГСК) (ТУ 38.101721-78), гидроксид кальция (ГОСТ 9262-77), ледяная уксусная кислота ХЧ (ГОСТ 61-75).

В качестве дисперсионной среды было выбрано растительное индустриальное масло «БИО-ГрОИЛ» (ТУ ВУ 400084698.327-2023). Методы получения простых и комплексных ПСМ, использованные в данной работе, основаны на известных технологических процессах, описанных в [2].

Кальциевые пластичные смазки Солидол Ж (ГОСТ 1033-79) и Солидол С (ГОСТ 4366-76) были выбраны для сравнения.

Оценка содержания свободных щелочей и кислот проводили посредством титриметрического метода анализа согласно ГОСТ 6707-76. Предел прочности на сдвиг при 50 °С определяли по ГОСТ 7143-73 (метод А) с использованием прибора «Линтел СК-20». Температуру каплепадения определяли по ГОСТ 32394-2013 с использованием прибора «Линтел Капля-20Р». Коллоидную стабильность пластичных смазок определяли по ГОСТ 7142-74 с использованием прибора «Линтел АКС-20». Диаметр пятна износа (показатель износа) пластичных смазок при осевой нагрузке 40 кгс и времени испытания 60 минут определяли на четырехшариковой машине трения «ЧШМ-К1» по ГОСТ 9490-75.

Результаты и их обсуждение. Эксплуатационные характеристики предварительно полученного простого кальциевого СМ (образец к0К15Био, табл. 1) оказались неудовлетворительными для использования в узлах трения, работающих в условиях высоких температурных показателей. Необходимые показатели предполагалось улучшить посредством введения модификатора структуры.

Известно, что среди широкого круга модификаторов структуры пластичных смазок использование органических солей катионов металлов, которые входят в состав соли жирной кислоты ДФ, представляется наиболее удобным вследствие простоты реализации технологии получения конечного смазочного материала и эффективности внедрения органической соли в структуру соли жирной кислоты [3]. Так, в качестве модифицирующего агента был использован ацетат кальция, получаемый непосредственно в реакторе в процессе изготовления ПСМ.

Оптимальное соотношение исходных реагентов, формирующих дисперсную фазу, было установлено экспериментально, для чего получен и исследован ряд комплексных ПСМ с содержанием загустителя 15 масс. %. Вводимое количество кислот варьировали согласно

соотношению $C_{13}H_{33}O-COOH : CH_3COOH = 1 : n$, где $n = 3; 2; 1; 0,5; 0,33$. Для сравнения также был получен образец простой кальциевой смазки. Сравнительные характеристики полученных материалов и промышленно выпускаемых аналогов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Химические, физико-механические и триботехнические характеристики полученных смазочных материалов

Название	к0К15Био	к3К15Био	к2К15Био	к1К15Био	Солидол Ж	Солидол С
Мольное соотношение $C_{13}H_{33}O-COOH : CH_3COOH$	1:0	1:3	1:2	1:1	–	–
Содержание свободных щелочей в пересчете на NaOH, %	0,19	0,12	0,12	0,08	0,08	0,12
Предел прочности на сдвиг при 50°C, Па	267	450	235	265	290	220
Коллоидная стабильность, %	19	17,44	35,12	32,15	15	11
Температура каплепадения, °C	147	297,3	280,3	121,6	99,0	95,0
Показатель износа, мм	0,95	0,83	0,91	1,04	1,10	0,93

Как видно из полученных данных, введение модификатора структуры во всех случаях положительно сказывается на термостойкости смазочных материалов и, как следствие, повышает верхний предел температурного диапазона эксплуатации. При этом отмечается очевидное улучшение показателя износа для образца К3К15Био.

Стоит отметить, что продукты, полученные при использовании соотношения $C_{13}H_{33}O-COOH : CH_3COOH = 1 : n$, где $n = 0,5; 0,33$ не характеризовались однородностью структуры. Таким образом, минимально допустимым количеством модификатора является равное химическому количеству жирной кислоты.

Вывод. Получены простые и комплексные кальциевые ПСМ, химические, физико-химические и триботехнические характеристики которых не уступают широко применяемым в различных областях техники кальциевым ПСМ на основе индустриальных масел. Использованный в данной работе метод получения комплексных ПСМ позволяет получать материалы с удовлетворительными физико-механическими характеристиками. Показано, что оптимальным соотношением исходных жирной и карбоновой кислот является $C_{13}H_{33}O-COOH : CH_3COOH = 1 : 3$. Получение смазочных материалов по рецептуре, где количество вводимой карбоновой кислоты ниже количества жирной не представляется возможным, поскольку малые количества ацетата кальция препятствуют равномерному распределению 12-гидроксистеарата кальция в объеме ДС.

Благодарности. Работа выполнена в рамках ГПНИ «8. Материаловедение, новые материалы и технологии» подпрограммы «8.4. Многофункциональные и композиционные материалы» задания № 4.2.3 НИР 1 и при частичной финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Т22ВА-003).

Список использованных источников:

1. Жорник, В.И. Биоразлагаемые пластичные смазки общетехнического назначения / В.И. Жорник, А.В. Запольский, А.В. Ивахник // Актуальные вопросы машиноведения : сб. науч. тр. / ОИМ НАН Беларуси. – 2021. – Вып. 10. – С. 295–301.
2. Ищук, Ю.Л. Технология пластичных смазок / Ю.Л. Ищук. – Киев : Наук. думка, 1986 г. – 244 с.
3. И.Г. Фукс. Пластичные смазки – М.: Химия. – 1972 – 160 с.

Научное издание

VIII Республиканская научно-техническая
конференция молодых ученых

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

22–24 октября 2024 г.

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

*Ответственный за выпуск: Ковалёва И.Н.
Составители: Григорьев Ф.А., Меринов В.К., Стратанович В.А.,
Шумская В.Ю.*

Подписано в печать 14.10.2024. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Напечатано на ризографе. Усл. печ. л. 12. Тираж 60 экз. Заказ № 10-24

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 VIII 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>