

Журнал «Все материалы. Энциклопедический справочник»

Ежемесячный научно-технический и производственный журнал

Журнал издается с 2006 г.

В журнале приводится информация о самых различных свойствах черных и цветных металлов, сплавов, композитов, пластмасс, керамики, стекол, клеев, герметиков, связующих, каучуков, лакокрасочных материалов, резин, растворителей, стройматериалов, материалов для упаковки, драгметаллов и др.

Главный редактор

академик РАН, д-р хим. наук **Берлин А.А.**

Заместитель главного редактора

чл.-корр. РАН, д-р техн. наук **Стрельников В.Н.**

Ответственный секретарь журнала

д-р техн. наук, проф. **Малышева Г.В.**

Редакционный совет

Баннх О.А., академик РАН, д-р техн. наук
Васильев В.В., академик РАН, д-р техн. наук
Каблов Е.Н., академик РАН, д-р техн. наук
Мешалкин В.П., академик РАН, д-р техн. наук
Милехин Ю.М., академик РАН, д-р техн. наук

Новаков И.А., академик РАН, д-р хим. наук
Стороженко П.А., академик РАН, д-р хим. наук
Холькин А.И., академик РАН, д-р хим. наук
Дуб А.В., д-р техн. наук, проф.
Кульков А.А., д-р техн. наук, проф.

Редакционная коллегия

Абраимов Н.В., д-р техн. наук
Баннх И.О., д-р техн. наук
Войтович В.А., канд. техн. наук, доц.
Ковалевский М.А., канд. эконом. наук
Кравченко И.Н., д-р техн. наук, проф.
Мухамедгалиев Б.А. (Узбекистан), д-р хим. наук, проф.
Русин М.Ю., д-р техн. наук, проф.
Сидоров О.И., д-р техн. наук

Симонов-Емельянов И.Д., д-р техн. наук, проф.
Стоянов О.В., д-р техн. наук, проф.
Титов В.А., д-р физ.-мат. наук
Хараев А.М., д-р хим. наук, проф.
Цветков В.Е., д-р техн. наук, проф.
Чернова Г.В., канд. техн. наук
Шевченко Ю.Н., канд. техн. наук
Шиповская А.Б., д-р хим. наук, проф.
Юрков Г.Ю., д-р техн. наук, проф.

Адрес редакции:

105215, Москва, 9-я Парковая ул., д. 60.
E-mail: admin@nait.ru, <http://www.nait.ru>

Телефон редакции: +7 (495) 988-98-67.

E-mail: korhimk@nait.ru

Адрес для почтовых отправлений:

105215, Москва, 9-я Парковая ул., д. 60.

За достоверность информации и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели.
При использовании материалов журнала в любой форме ссылка на журнал обязательна.

© ООО «Наука и технологии», 2024



ВСЕ МАТЕРИАЛЫ

ЭНЦИКЛОПЕДИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

С 2011 г. журнал «Все материалы. Энциклопедический справочник» переводится на английский язык и выпускается издательством "Pleiades Publishing, Ltd" как приложение к журналу "Polymer Science, Series D", распространение которого осуществляет издательство "Springer".

Переводная версия журнала входит в международные реферативные базы данных систем цитирования (индексирования): Academic OneFile, Chemical Abstracts Service (CAS), EI-Compendex, Expanded Academic, Google Scholar, INSPEC, OCLC, PASCAL, SCImago, SCOPUS, Summon by Serial Solutions.

СОДЕРЖАНИЕ

Материалы специального назначения

Борисова О.А., Иванкин А.Н. Бумажно-полимерные композиционные материалы. Обзор . . . 2

Исаева И.Ю., Остаева Г.Ю., Моренко И.В., Грушина В.В., Овчаров А.В. Композиционные наночастицы как основа для создания гетерогенных катализаторов . . . 14

Хараев А.М., Бажева Р.Ч., Бесланеева З.Л., Алакаева Д.А., Парчиева М.М., Ялхороева М.А., Инаркиева З.И. Полиариленэфиркетоны с дихлорэтиленовыми группами . . . 19

Повышение качества материалов

Безменов В.С. Автоматизированные системы расфасовки сиропов на базе пневматических датчиков уровня . . . 26

Методы испытания материалов

Старцев О.В., Скирта А.А., Старцев В.О., Валедин Е.О., Коган А.М. Старение углепластика ВКУ-39 в условиях умеренно теплого и тропического климата. 1. Изменение прочностных показателей . . . 31

Скрябин В.А. Методика исследования структуры порошковых материалов . . . 38

Информация

Новости литературы . . . 42

Содержание журнала «Все материалы. Энциклопедический справочник» за 2024 г. . . . 45

Материалы специального назначения

УДК 691.175.746+ 676.256

Бумажно-полимерные композиционные материалы. Обзор

О.А. Борисова, А.Н. Иванкин, д-р хим. наук

МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Мытищи, Московская обл., 141005, Россия)

E-mail: aivankin@inbox.ru

DOI: 10.31044/1994-6260-2024-0-12-2-13

Поступила в редакцию 14.05.2024

После доработки 19.07.2024

Принята к публикации 04.09.2024

В статье рассмотрен вопрос развития производства бумажно-полимерных материалов как экологически чистых заменителей синтетических полимеров. Обсуждена перспективность применения бумажно-полимерных композитов на основе доступных природных целлюлозосодержащих материалов, обладающих многими техническими достоинствами, в частности наличием натуральной бумажной основы. Показана перспективность проведения работ по модификации свойств бумаги и других целлюлозных производных с целью получения на их основе специализированных материалов и изделий.

Ключевые слова: бумажно-полимерные композиционные материалы, бумага, целлюлоза, экоматериалы

Нынешний век ознаменован интенсивным развитием полимерных технологий, проникших во все сферы человеческой деятельности. Современные синтетические полимеры имеют достаточно много преимуществ перед традиционными материалами, под которыми можно подразумевать любые материалы, получаемые непосредственно из природного сырья, например, металлы, целлюлозу, сыпучие нерудные полезные ископаемые и др. Полимеры легки и одновременно прочны, им можно придавать разнообразную форму, их произ-

водство является экономически оправданным [1, 2].

Однако у данных материалов есть неприятная особенность — они являются результатом синтеза из органических веществ — сырья, в основном получаемого из нефти и газа, т.е. происхождение таких соединений является нетипичным для живой природы. Поэтому синтетические полимерные материалы трудно поддаются разложению, и после окончания срока эксплуатации они становятся «балластом» для окружающей среды. Кроме того, в период длительной

и тяжелой утилизации в природных условиях полимеры выделяют токсичные и даже канцерогенные вещества, вызывающие отравление и патологии у живых организмов, в том числе и у человека [3].

Сейчас все большее внимание уделяется нарастающим экологическим проблемам с целью поиска наиболее рациональных путей их разрешения. Одним из таких подходов является вовлечение вторичных полимерных материалов и изделий в переработку для изготовления новых продуктов. Однако данный подход кардинально проблему не решает, поскольку объемы производимого пластика существенно превышают количество поступающего на переработку. Поэтому в настоящий момент формируется устойчивая тенденция поиска новых экологичных материалов, изделия из которых не будут наносить ущерба окружающей среде [4–6].

Бумага как целлюлозосодержащий композит

Одними из самых используемых материалов в современной деятельности человека являются целлюлозные материалы, прежде всего — бумага. Этот материал обладает такими достоинствами, как гибкость, прочность, достаточно высокие адгезионные свойства к различным добавкам и наполнителям, он легко поддается резке и пресованию. Такие преимущества давно привлекли внимание исследователей и сейчас проводится много работ по модификации свойств бумаги для получения из нее специализированных материалов и изделий [7, 8].

Основной состав обычной писчей бумаги, %: целлюлоза — 75; канифольный клей — 2; кремнегель (отход производства фторида алюминия, представляющий собой аморфный диоксид кремния с небольшими примесями фторида алюминия

и кремнефтористоводородной кислоты) — 15; глинозем — 6; некаль (дибутилнафталинмоносульфат натрия, полученный обработкой гидроксидом натрия продукта взаимодействия нафталина, серной кислоты и бутанола) — 2, что позволяет рассматривать бумагу в качестве полноценного композиционного материала [9, 10].

Основным компонентом бумаги является древесная целлюлоза, наличие которой дает возможность использовать материал в полиграфии и для упаковки [11].

Прочность на разрыв бумаги плотностью 50–80 г/м² составляет 17–50 в продольном и 15–40 МПа в поперечном направлении при относительном удлинении в 2–5%, что не всегда достаточно для использования в качестве упрочненной упаковки [12]. Кроме того, в связи с развитием полиграфической промышленности, вопросы качественного совмещения бумаги с красителями требуют совершенствования свойств целлюлозных материалов [13, 14]. Возможным направлением такой модификации является разработка новых бумажно-полимерных композитов [12, 15, 16].

В литературе отмечено, что повышения качества бумажных материалов можно добиться термической обработкой, воздействием электромагнитных полей, радиацией, микроволнами, поверхностной обработкой или ламинированием полимерными пленками [17]. Наиболее часто модификацию бумаги проводят ламинированием, потому что это достаточно простой и дешевый метод. Он позволяет повысить физико-механические свойства бумаги и увеличить срок ее эксплуатации, что особенно важно в производстве упаковки для хрупких, тяжелых изделий и техники. Кроме того, имеются данные об обработке такого бумажно-полимерного материала электрическим полем с той же целью повышения прочностных свойств. Суть обработки заклю-

чается в создании в полимерном слое третнего состояния и одновременного возникновения сил электростатических связей между целлюлозными волокнами бумаги с образованием ориентированного состояния у макромолекул полимера и бумажной основы. В результате прочность увеличивается примерно в 2—2,5 раза, а поверхностная и объемная впитываемость может возрасти более чем в 4 раза [17, 18].

Наиболее часто в качестве полимерной матрицы для получения бумажно-полимерных композитов используются полиэтилен, полистирол, полиуретан, полимочевина [19]. Кроме того, сейчас для повышения экологичности получаемого материала проводят эксперименты с введением в бумагу и картон биополимеров: крахмала, полилактоидов, каррагинанов, альгинатов и других природных высокомолекулярных соединений [20—22].

Кроме упаковки, бумагу и целлюлозные материалы можно использовать и в других областях. Представляют большой интерес исследования в области получения пленочных бумажно-полимерных композитов [19, 23]. Одно из таких направлений разработки связано с получением полимерных пленок в виде разделительных мембран для процессов диализа и первапорации. Пленки изготавливали путем смешивания водных растворов лигносульфонатов и хитозана с добавлением водной суспензии хвойной сульфатной небеленой целлюлозы. Целлюлоза в данном случае играла роль волокнистой добавки для создания сетки в структуре пленки. Такой материал обладает повышенной прочностью и является экологически чистым [23].

Описано получение вибродемпфирующего материала, представляющего собой многослойный композит из крафт-бумаги, пропитанной термореактивными смолами. Его получают путем горячего прес-

сования в виде аналога бумажно-слоистого пластика HPL. Для повышения прочности данного композита и улучшения виброшумовых характеристик в композит вводили пленку из поливинилацетата. В результате трехслойные пластины с одним слоем пленки поливинилацетата имели наименьшие уровни входной вибровозбудимости. Значение коэффициента потерь колебательной энергии у такого модифицированного материала было больше, чем у исходного HPL-пластика. В данном случае введение тонкослойных пленок из поливинилацетата в структуру крафт-бумаги существенно повышало виброзащитные свойства данного материала [24].

В последние годы экспериментальные исследования по улучшению свойств бумаги и целлюлозных материалов развиваются все более интенсивно. В связи с успехами в получении наноразмерных структур, которые могут кардинально изменять физико-химические и физико-механические свойства материалов, исследования с применением наночастиц развиваются весьма активно. Активное использование микро- и нанотехнологий позволяет корректировать также биохимические свойства целлюлозных композиционных материалов [25—27].

В последнее время при модификации свойств бумажно-полимерного композита пытаются осуществлять одновременную модификацию максимально возможных характеристик. Например, в Китае бумага имеет большой спектр использования, от писчей и упаковочной до специализированной, применяемой в электротехнике, защите окружающей среды и в медицине. Недавно здесь была разработана композитная бумага для защиты от электромагнитного излучения с антибактериальным эффектом [28]. Полученный композит состоит из микроволокон целлюлозы со вшитыми

нанопроволоками серебра, обработанными метилтриметоксисилоном. Серебро, особенно в виде наночастиц, обладает высокой антисептической активностью [29, 30]. Его введение способствовало значительному повышению срока эксплуатации материала. Ультратонкая композитная бумага в этом случае получалась методом вакуумной фильтрации [28]. Полученный материал является экологически чистым (используется природная целлюлозная основа), что немаловажно, так как современные защитные устройства от электромагнитного излучения в основном изготавливаются из металла или заменяющих его синтетических пластмасс с металлическим наполнителем.

Описано получение композитной перламутровой бумаги с целью создания бумажного защитного покрытия, устойчивого к УФ-излучению. Многослойная композитная бумага, имеющая высокие механические и электроизоляционные свойства, а также устойчивость к ультрафиолетовому излучению, была изготовлена путем вакуумной самосборки с использованием целлюлозного нановолокна, поливинилового спирта и базальтовой чешуи [31].

В упаковочной индустрии сегодня все чаще применяют не чистый пластик, а комбинации бумаги с различными легкоплавкими полимерами, потому что использование бумажной основы значительно снижает экологическую нагрузку при попадании данной упаковки в окружающую среду. Использование чистой бумаги во многих случаях нецелесообразно из-за низких механических свойств и высокой подверженности биокоррозии. Именно для улучшения данных свойств вынужденно приходится использовать упрочняющие полимерные материалы.

В последнее время были разработаны упаковочные материалы для пищевых продуктов, обладающие высокими антибакте-

риальными свойствами, с использованием целлюлозы и других природных полимеров типа хитозана [32, 33].

В ряде случаев в состав композитов вводят различные бактериостатики на основе активных биологических веществ. Например, достаточно эффективным оказалось использование нанохитозана в комбинации с эфирным маслом корицы. Бумажную основу, содержащую биodeградируемые целлюлозные нанокристаллы CNC, для повышения прочности модифицировали добавками наночастиц ZnO. Полученные композитные биопленки показали высокую ингибирующую способность по отношению к *Escherichia coli* на срезах серых кабачков, что позволило увеличить срок хранения данного продукта вдвое, до 60 сут [34].

Материалы с комбинированными целлюлозными наполнителями

До недавнего времени практически единственным бумажным композиционным материалом в электротехнике была пропитанная машинным маслом бумага, металлизированная слоем алюминиевой фольги, которую использовали в электрических конденсаторах [35].

Однако возможность получения разнообразных дисперсий целлюлозных волокон с металлическими микро- и наночастицами в последнее время все более широко используется для получения новых бумажно-полимерных композитов. Так, включение металлических микрочастиц в структуру композита с последующим формированием его в виде пленок или тонкого листового материала позволяет получать продукт с измененными магнитными, электропроводящими или радиопротекторными свойствами. Наибольший интерес с точки зрения возможностей получения однородных гомогенных структур представляют разра-

ботки с использованием нановключений размерностью 10—50 нм [36, 37]. Такие материалы позволяют в несколько раз усиливать первоначальные характеристики.

Особый интерес вызывает возможность получения целлюлозных композитов с включением биологически активных веществ (БАВ) для использования в пищевых, косметических и медицинских целях.

Простая бумажная упаковка обеспечивает возможность завернуть пищевой продукт. Использование вместо обычной бумаги бумажно-полимерного композита с включенным БАВ, например бактериостатиком, будет препятствовать распространению микрофлоры и, соответственно, продлевать срок хранения упакованного продукта [38].

Введение лекарственного вещества в состав композита, при использовании последнего в виде пластыря или простой бумажной аппликации, может позволить пролонгированно вводить БАВ, обеспечивая равномерный терапевтический эффект [39, 40]. Причем изготовление таких материалов с использованием целлюлозных волокон и других компонентов в последнее время пытаются осуществлять при помощи 3D-печати.

Идеология включения наночастиц БАВ в композит с антибактериальным действием аналогична применению материалов с наночастицами металлов типа золота, серебра и др. [30, 42]. В таком случае возможно трансдермальное питание живого организма за счет равномерного введения вещества через кожный покров [41].

Основное предназначение бумаги — использование ее для письма, а также в полиграфии [43]. Последние достижения в области получения материалов с комбинированными целлюлозными наполнителями позволили создавать новые композиты с включенными инкапсулированными

красителями. Такая бумага позволяет писать на ней путем простого надавливания с образованием цветных линий и рисунков на поверхности без дополнительного использования чернил или типографской краски [44, 45].

Анализ литературных данных показывает, что большинство известных органических или неорганических соединений исследователи пытаются включать в композиты, видоизменяя свойства последних. Это приводит к получению новых полезных материалов.

Наноцеллюлоза в составе композитов

Целлюлоза является самым распространенным полимером в природе, который человек научился извлекать из растительного или биотехнологического сырья и использовать в виде разнообразных материалов. Количество используемой целлюлозы намного превосходит общий промышленный выпуск синтетических полимеров [46, 47].

Исследования последних лет в области нанотехнологий позволили разработать технологические способы получения целлюлозных волокон в виде наночастиц [48]. Для изготовления обычной бумаги требуются достаточно длинные волокна данного биополимера, который извлекают из растительного, в основном древесного, сырья. Средняя длина волокон составляет, в зависимости от помола, 1—2 мм. Их использование во многом определяет прочность бумажных изделий.

Наноцеллюлозу получают в виде трех форм: нанокристаллической, нанофибрилярной и бактериальной [49]. Эти формы идентичны по химическому составу и отличаются по морфологии, размеру частиц и кристалличности. Отдельные свойства могут различаться в зависимости от источника получения и метода извлечения. Обычно нитевидные кристаллы наноцел-

люлозы имеют диаметр 2—20 нм и длину 100—500 нм [49, 50].

Включение наноцеллюлозы в структуру бумажных композитов приводило к их упрочнению на 20—50%. Аналогичный эффект должен проявляться и в составе бумажно-полимерного материала за счет молекулярного уплотнения его химической структуры [48, 51, 52].

Электроактивные смарт-материалы

В связи с интенсивным развитием использования электротехнических устройств разнообразного назначения, в последнее время значительное внимание уделяется разработке электропроводящих конструкционных и функциональных полимерных материалов [53].

Особый интерес представляют электроактивные полимерные композиты с памятью формы, которые являются разновидностью интеллектуальных материалов, способных возвращаться к заданной форме под воздействием электрического напряжения, сопровождающегося классическим нагреванием при прохождении электрического тока [54].

Аналогичный эффект реализуется в целлюлозных материалах древесного происхождения, когда биополимерная основа погружается во влажном состоянии в раствор солевого электролита. Действие приводит к возвращению деформированной формы в первоначальное или примерно исходное состояние [55—57].

В отличие от термоактивных композитов с памятью формы, обычные полимерные электроактивные материалы предназначены для реакции на непрямой нагрев посредством относительно низкого электрического напряжения срабатывания [58]. Электроактивные полимерные композиты с памятью формы вызывают все больший интерес из-за вариабельности свойств, что

делает их важными кандидатами для широкого применения в области робототехники, тестирования металлоидов, производства мягких приводов, биомедицинских устройств и гибкой электроники [59].

Интеллектуальные полиматериалы привлекли значительное внимание из-за их хороших механических, термических и электронных характеристик, обеспечивающих эффективные решения в различных областях, включая аналитическую химию, микророботов, электронику и биомедицину [60].

Умные адаптивные материалы XXI века характеризуются способностью изменять необходимые свойства вследствие реакции на внешние раздражители [61]. Эти свойства охватывают возможность изменения формы, внутренней структуры и фазы под действием света, а также температуры, влажности, тока и pH. Повышенный интерес к «умным» материалам объясняется обширностью их применений, включая разработку датчиков, обеспечивающих точный контроль параметров окружающей среды, таких как температура, влажность, освещенность и pH [62], а также все возрастающим применением в энергетике, для рассеивания и хранения амортизирующих материалов и производства нанодатчиков [63].

За счет включения в структуру дисперсных и нанодисперсных частиц, умные материалы удастся использовать для преобразования и сбора энергии, получения магнитореологических материалов, преобразующих механическую энергию в электрическую, с изменением их реологии в ответ на колебания магнитных полей [64, 65].

Кроме того, умные материалы на полимерной основе все более широко применяются для изготовления одежды, способной менять окраску под воздействием температуры и освещенности [66].

Смарт-адаптивные материалы также широко используются в таких направлениях, как изготовление мягких приводов [67], игровых устройств [68, 69], гибкой электроники [70].

Еще одним полезным свойством умного реагирования смарт-материала является использование водопоглощающих полимерных гидрогелей, которые способны захватывать и высвобождать активные вещества при определенных условиях, что, например, используется в различных пролонгированных формах доставки лекарств [71].

Модифицированные целлюлозосодержащие полимерные материалы обладают усиленной способностью проявлять интеллектуальность свойств, поэтому полимеры с памятью формы часто предпочтительнее сплавов с памятью формы из-за их большей экономичности и более высокой способности к деформации при небольшой нагрузке.

Определенные проблемы возникают при разрешении зависимости свойств памяти формы и электропроводности композита с учетом соотношения проводимости полимерной матрицы и наполнителя [72].

В литературе имеется достаточно много работ, описывающих различные комбинации, включающие синтетические полимеры, производные целлюлозы, пленки с наноцеллюлозой, графеном и другими наночастицами [73–75]. Такие смарт-материалы обладают способностью восстанавливать форму за 5–60 с при содержании диспергированных включений от 1 до 25% под напряжением до 6 В.

Эко-композиты и биodeградация

Интенсивное развитие химии и технологии высокомолекулярных соединений в последнем столетии привело к появлению огромных количеств синтетических пластмасс, выпускаемых в крупнотоннаж-

ных масштабах. Такой значительный объем несвойственных живой природе материалов сегодня реально угрожает экологическому благополучию.

Исследования последнего времени направлены на создание экопластиков — «зеленых» материалов, которые способны достаточно быстро деградировать в окружающей среде. На сегодняшний день просматривается тенденция получения таких биопластиков в двух направлениях. Во-первых, проводятся работы по синтезу полимерных структур, включающих активные звенья, «съедобные» для микроорганизмов. Например, введение в полимерную цепь звеньев молочной кислоты. Такие полимеры, сохраняя свойства аналогичного алифатического или ароматического полимера, обладают способностью быстро распадаться в лито- и гидросфере под гидролитическим действием микроорганизмов [76, 77].

Вторым реализуемым направлением является получение композитов — комплексных материалов в виде механической или структурной смеси синтетического полимера и активного компонента, в качестве которого могут выступать целлюлоза, крахмал, белки и другие природные соединения. Главной отличительной способностью которых является способность к биodeградации. Бумажно-полимерные композиты как раз и являются результатом исследований в данном направлении. Наличие целлюлозных включений, как показывают исследования, может обеспечивать высокую способность к биodeградации любых полимерных составляющих при условии их совмещения с целлюлозой [76].

Действительно, бумага и целлюлозосодержащие материалы во влажной почве могут разлагаться в течение 3–4 мес., в то время как большинство синтетических пластмасс сохраняются в таких условиях десятки

и даже сотни лет. Такая устойчивость хороша с точки зрения эксплуатации полимерного материала, но это оказывается губительным для окружающей среды. Бумажно-полимерные композиты по способности к биодegradации занимают промежуточное положение, приближаясь по биосвойствам к чисто бумажным носителям [78, 79].

Поэтому все дальнейшие разработки в данной области следует проводить с учетом экологических последствий.

Выводы

Таким образом, совмещение природного биополимера целлюлозы и различных форм синтетических полимеров с микроструктурированными включениями позволяет получать не только новые композиционные материалы с уникальным комплексом свойств, но и достигать потенциального решения экологических задач — разумного применения и использования материалов с последующей безопасной рекуперацией. То есть создания полезных химических структур в составе композиционных материалов, безопасных для окружающей среды.

Современная тенденция практического решения экологических проблем, в том числе и получения экологически чистых материалов, все более продвигает направление бумажно-полимерных композитов как в нашей стране, так и за рубежом. Последние исследования в этой области показали большие преимущества данных материалов как в упаковочной индустрии, так и в других сферах промышленности и народного хозяйства. Это позволяет сделать вывод, что данное направление заслуживает дальнейшего развития.

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета МГТУ им. Н.Э. Баумана. Никаких дополнительных грантов на прове-

дение или руководство данным исследованием получено не было.

При написании статьи технологии искусственного интеллекта не использовались

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Zawidlak-Węgrzynska B., Flak T.** Environmental Issues Caused by Traditional Synthetic Polymers / Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering. 2024.
2. **Bhat A.R., Kumar R., Mural P.K.** Natural fiber reinforced polymer composites: A comprehensive review of Tribo-Mechanical properties // Tribology International. 2023. V. 189. N 10.
3. **Murujew O., Geoffroy J., Fournie E.** et al. The impact of polymer selection and dose on the incorporation of ballasting agents onto wastewater aggregates // Water Research. 2020. V. 170. N 3. 115346.
4. **Siraj M.T., Jamil S.N., Arka A.M.** et al. Eco-friendly food packaging innovations: A review of recent progress on recyclable polymers // Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. 2023.
5. **Barzic A.I., Stoica I., Asandulesa M., Albu R.M.** Novel polymer/bio-filler composites as alternative eco-friendly materials for energy storage: From solution behavior to solid state analysis // Materials Today Chemistry. 2023. V. 34. N 12.
6. **Nodehi M., Aguayo F., Madey N., Zhou L.** A Comparative Review of Polymer, Bacterial-based, and Alkali-Activated (also Geopolymer) Binders: Production, Mechanical, Durability, and Environmental impacts (life cycle assessment) // Construction and Building Materials. 2024. V. 422. N 4. 135816.
7. **Upadhyay A., Lucia L., Pal L.** Harnessing total chemical-free paper and packaging materials barrier properties by mechanical modification of cellulosic fibers for food security and environmental sustainability // Applied Materials Today. 2023. V. 35. N 12.
8. **Yun T., Tao Y., Li Q.** et al. Superhydrophobic modification of cellulosic paper-based materials: Fabrication, properties, and versatile appli-

- cations // Carbohydrate Polymers. 2023. V. 305. N 4. 120570.
9. **Malpique A., Pino-Pasternak D., Ledger S.** et al. The effects of automaticity in paper and keyboard-based text composing: An exploratory study // Computers and Composition. 2024. V. 72. N 6. 102848.
10. **Tuffrey J., Siwseng P., Laksanakit C., Chusilp N.** Enhancing the performance of waste paper pulp-cement composites, through the incorporation of natural rubber latex: A sustainable approach for high-performance construction materials // Construction and Building Materials. 2024. V. 430. N 6. 136.
11. **Odunlami O.A., Amoo T.E., Adisa H.A.** et al. Application of mass transfer in the pulp and paper Industry — overview, processing, challenges, and prospects // Results in Engineering. 2023. V. 20. N 12. 101498.
12. **Иванкин А.Н., Зарубина А.Н., Борисова О.А.** Бактериостатические бумажно-полимерные композиты на основе стирола // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2024. № 3. С. 2—10.
13. **Ferrara V., Vetri V., Pignataro B.** et al. Phasor-FLIM analysis of cellulose paper ageing mechanism with carbotrace 680 dye // International Journal of Biological Macromolecules. 2024. V. 260. N 3. 129452.
14. **Shi T., Zhang J., Gao F.** et al. A sharp and selective fluorescence paper-based sensor based on inner filter effect for ratiometric detection of four Sudan dyes in food matrix // Food Chemistry. 2024. V. 444. N 6. 138528.
15. **Cao H., Neal N.N., Pas S.** et al. Architecting MXenes in polymer composites // Progress in Polymer Science. 2024. V. 153. N 6. 101830.
16. **Lim G.Y., Kuek R.J., Teo J.** et al. Mechanical properties of additively manufactured kraft paper lattices and paper-epoxy interpenetrating phase composites for polymer foam replacement // Additive Manufacturing. 2023. V. 77. N 10.
17. **Перепелкина А.А., Галиханов М.Ф., Мусина Л.Р.** Модификация бумаги в целях повышения ее эксплуатационных свойств // Известия вузов. Лесной журнал. 2013. Т. 336. № 6. С. 35—39.
18. **Badi N.S., Makmud M.Z., Mun C.S.** et al. Synthesis and characterization of cellulose nanocrystal derived from paper as nanofiller for polymer insulation materials // Materials Today: Proceedings. 2024. V. 97. N 1. P. 69—74.
19. **Ивлев В.И., Исмаилов А.Р., Карпунин В.В.** и др. Получение и исследование полимо-чевинного композита, модифицированного целлюлозой // Огнев-Online. 2017. № 16 (105). С. 1—8.
20. **Singh P., Pandey V.K., Singh R.** et al. Unveiling the potential of starch-blended biodegradable polymers for substantializing the eco-friendly innovations // Journal of Agriculture and Food Research. 2024. V. 15. N 3. 101065.
21. **Richert A., Kalwasinska A., Felfoldi T.** et al. Characterization of bacterial biofilms developed on the biodegradable polylactide and polycaprolactone polymers containing birch tar in an aquatic environment // Marine Pollution Bulletin. 2024. V. 199. N 2. 115922.
22. **Nath P.C., Sharma R., Debnath S.** et al. Recent trends in polysaccharide-based biodegradable polymers for smart food packaging industry // International Journal of Biological Macromolecules. 2023. V. 253. N 12. 127524.
23. **Бровко О.С., Казаков Я.В., Бойцова Т.А.** и др. Влияние состава композиции и молекулярных масс лигносульфонатов и хитозана на деформационно-прочностные свойства полимерных пленок на их основе // Известия вузов. Лесной журнал. 2013. № 6 (336). С. 32—38.
24. **Кирпичников В.Ю., Смольников В.Ю., Кудаев А.В.** и др. Экспериментальные исследования вибродемпфирующих свойств композитных материалов на основе бумажно-слоистых пластиков НРЛ, содержащих встроенные слои из термопластичных пленок ВПС-2,5 // Noise Theory and Practice, 2022. N. 4 (31). С. 40—48.
25. **Liu Y., Liu H., Guo S.** et al. A review of carbon nanomaterials/bacterial cellulose composites for nanomedicine applications // Carbohydrate Polymers. 2024. V. 323 N 1. 121445.
26. **Wahab A., Muhammad M., Ullah S.** et al. Agriculture and environmental management through nanotechnology: Eco-friendly nanomaterial synthesis for soil-plant systems, food safety, and sustainability // Science of The Total Environment. 2024. V. 926. N 5. 171862.
27. **Qi Y., Wang S., Sun J.** et al. Polyethylene glycol regulates the pitch and liquid crystal behavior of

- cellulose nanocrystal-based photonic crystals // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024. V. 260. N 3. 129544.
28. **Teng R., Sun J., Nie Y., Li A.** et al. An ultra-thin and highly efficient electromagnetic interference shielding composite paper with hydrophobic and antibacterial properties // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2023. V. 253. N 12. 127510.
 29. **El-Rafie M.H., Ahmed H.B., Zahran M.K.** Characterization of nanosilver coated cotton fabrics and evaluation of its antibacterial efficacy // *Carbohydrate Polymers*. 2014. V. 107. N 7. P. 174—181.
 30. **Иванкин А.Н., Евдокимов Ю.М., Олиференко Г.Л., Прошина О.П.** Получение нанодисперсных частиц серебра для модификации свойств древесных композитов // *Вестник Московского государственного университета леса — Лесной вестник*. 2014. Т. 78. № 4. С. 145—149.
 31. **Song S., Wu Q., Ji D.** et al. Nacre-inspired composite paper of PVA crosslinked basalt scale and nanocellulose with enhanced mechanical, electrical insulating and ultraviolet-resistant aging performance // *International Journal of Biological Macromolecules*, 2024. V. 257. N 1. 128602.
 32. **Tie S., Zhang Q., Zhao Y.** et al. Design and preparation of novel antioxidant and antibacterial films containing procyanidins and phycocyanin for food packaging // *RSC Advances*. 2024. V. 14. N 2. P. 7572—7581.
 33. **Liao W., Liu X., Zhao Q.** et al. Physicochemical, antibacterial and food preservation properties of active packaging films based on chitosan/ε-polylysine-grafted bacterial cellulose // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2023. V. 253. N 12. 127231.
 34. **Karami-Eshkaftaki Z., Saei-Dehkordi S., Al-badi J.** et al. Coated composite paper with nanochitosan / cinnamon essential oil-nanoemulsion containing grafted CNC@ZnO nanohybrid; synthesis, characterization and inhibitory activity on *Escherichia coli* biofilm developed on grey zucchini // *International Journal of Biological Macromolecules*, 2024. V. 258. N 2. 128981.
 35. **Kurzweil P.** Electrochemical devices. Electrochemical power sources: Capacitors // *Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering*. 2023.
 36. **Soman S., Kulkarni S., Pandey A.** et al. Unlocking the power of MXenes-Crafting a 2D nanoplat-form for tomorrow: Synthesis, functionalization, stability, and biomedical applications // *Materials Today Communications*. 2024. V. 38. 107711.
 37. **Jayakumar S., Saravanan T., Philip J.** A review on polymer nanocomposites as lead-free materials for diagnostic X-ray shielding: Recent advances, challenges and future perspectives // *Hybrid Advances*. 2023. V. 4. N 12. 100100.
 38. **Videira-Quintela D., Martin O., Montalvo G.** Recent advances in polymer-metallic composites for food packaging applications // *Trends in Food Science & Technology*. 2021. V. 109. N 3. P. 230—244.
 39. **Han S., Fisher J.P., Mikos A.G., Hogan K.J.** Polymeric nanomaterials in 3D bioprinting for tissue engineering and drug delivery applications // *Bioprinting*. 2024. V. 40. N 7.
 40. **Hassan H., Hallez H., Thielemans W., Vandeginste V.** A review of electro-active shape memory polymer composites: Materials engineering strategies for shape memory enhancement // *European Polymer Journal*. 2024. V. 208. N 5. 112861.
 41. **Mbituyimana B., Ma G., Shi Z., Yang G.** Polymer-based microneedle composites for enhanced non-transdermal drug delivery // *Applied Materials Today*. 2022. V. 29. N 12. 101659.
 42. **Hasanah N., Manurung R.V., Jenie S.N.** et al. The effect of size control of gold nanoparticles stabilized with α-cyclodextrin and β-cyclodextrin and their antibacterial activities // *Materials Chemistry and Physics*. 2023. V. 302. N 7. 127762.
 43. **Maass A., Hirn U.** Long term curl of printing paper due to ink solvent migration // *Materials & Design*. 2024. V. 237. N 1. 112593.
 44. **Kabalan Y., Montane X., Tylkowski B.** et al. Design and assembly of biodegradable capsules based on alginate hydrogel composite for the encapsulation of blue dye // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2023. V. 233. N 4. 123530.
 45. **Abumelha H.M., Alharbi H., Abualnaja M.M.** et al. Preparation of fluorescent ink using perylene-encapsulated silica nanoparticles toward authentication of documents // *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. 2023. V. 441. N 7. 114706.
 46. **Bemiller J.N.** Cellulose and cellulose-based hydrocolloids. In: *Carbohydrate Chemistry*

- for Food Scientists (Third Edition). Amsterdam: AACCI. Published by Elsevier Inc. 2019. P. 223—240.
47. **Кононов Г.Н.** Дендрохимия. Химия, нанохимия и биогеохимия компонентов клеток, тканей и органов древесных растений. В двух томах. Монография. М.: Изд-во МГУЛеса, 2015. Том I. 480 с.
48. **Прошина О.П., Олиференко Г.Л., Евдокимов Ю.М., Иванкин А.Н.** Наноцеллюлоза и получение бумаги на ее основе // Лесной вестник. 2012. № 7 (90). С. 112—114.
49. **Зарубина А.Н., Иванкин А.Н., Кулезнев А.С., Кочетков В.А.** Целлюлоза и наноцеллюлоза. Обзор // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2019. Т. 23. № 5. С. 116—126.
50. **Lavoine N., Desloges I., Dufresne A., Bras J.** Microfibrillated cellulose — its barrier properties and applications in cellulosic materials: A review // Carbohydrate Polymers. 2016. V. 90. N 3. P. 735—764.
51. **Huang M., Zhang C., Hou F.** et al. Stabilization and strengthening effects of filamentous nanocellulose in the foam forming of quartz paper // International Journal of Biological Macromolecules. 2024. V. 263. N 4. 130251.
52. **Lisuzzo L., Cavallaro G., Lazzara G., Milioto S.** Supramolecular systems based on chitosan and chemically functionalized nanocelluloses as protective and reinforcing fillers of paper structure // Carbohydrate Polymer Technologies and Applications. 2023. V. 6. 100380.
53. **Hassan H., Hallez H., Thielemans W., Vandeginste V.** A review of electro-active shape memory polymer composites: Materials engineering strategies for shape memory enhancement // European Polymer Journal. 2024. V. 208. N 3. 112861.
54. **Orozco F., Salvatore A., Sakulmankongsuk A.** et al. Electroactive performance and cost evaluation of carbon nanotubes and carbon black as conductive fillers in self-healing shape memory polymers and other composites // Polymer. 2022. V. 260. 125365.
55. **Горбачева Г.А., Уголев Б.Н., Санаев В.Г., Белковский С.Ю.** Характеризация эффекта памяти формы древесины бука методом термомеханической спектроскопии // Вестник Московского государственного университета леса — Лесной вестник. 2016. Т. 20. № 4. С. 10—14.
56. **Zhang J., Xing Z., Gorbacheva G., Lu H., Lau D.** An entanglement constraint model of topological knot in highly entangled gel towards ultra-high toughness // Journal of Physics D: Applied Physics. 2024. V. 57. N 9. 095301.
57. **Feng Z., Chen S., Ahmad A.** et al. Ultra-high molecular weight pullulan-based material with high deformability and shape-memory properties // Carbohydrate Polymers. 2022. V. 295. N 11. 119836.
58. **Liu J., Lu H., Wang J., Gorbacheva G.A., Fu Y.Q.** Dynamic equilibria with glass transition heterogeneity and tailorable mechanics in amorphous shape memory polymers // Smart Materials and Structures. 2022. V. 31. N 7. 075022.
59. **Jinadasa K.K., Pena-Vazquez E., Bermejo-Barrera P., Moreda-Pineiro A.** Smart materials for mercury and arsenic determination in food and beverages // Microchemical Journal. 2022. V. 179. N 4. 107472.
60. **Soto F., Karshalev E., Zhang F.** et al. Smart materials for microrobots // Chemical Reviews. 2022. V. 122. N 5. P. 5365—5403.
61. **Mukherji D., Marques C.M., Kremer K.** Smart responsive polymers: Fundamentals and design principles // Annual Review of Condensed Matter Physics. 2020. V. 11. N 2. P. 271—299.
62. **Bilgin M., Backhaus J.** Printable smart materials used as sensors for continuous monitoring in a smart code, in: 2020 IEEE Green Technologies Conference (GreenTech), IEEE, Oklahoma City, OK, USA, 2020, pp. 106—108.
63. **Belogorlov A.A., Borman V.D., Khlistunov I.A.** et al. Suspensions of lyophobic nanoporous particles as smart materials for energy absorption // Journal of Colloid and Interface Science. 2021. V. 600. No. 10. P. 229—242.
64. **Diguet G., Sebald G., Nakano M.** et al. Optimization of magneto-rheological elastomers for energy harvesting applications // Smart Materials and Structures. 2020. V. 29. N 6. 075017.
65. **Do X.P., Choi S.B.** A state-of-the-art on smart materials actuators over the last decade: control aspects for diverse applications // Smart Materials and Structures. 2022. V. 31. N 3. 053001.
66. **Trovato V., Sfameni S., Rando G.** et al. A review of stimuli-responsive smart materials for wearable technology in healthcare: Retrospective, perspective, and prospective // Molecules. 2022. V. 27. N 17. 5709.

67. **An Y., Okuzaki H.** Novel electro-active shape memory polymers for soft actuators // *Japanese Journal of Applied Physics*. 2020. V. 59. N 6. 061002.
68. **Gong X., Xie F., Liu L.** et al. Electro-active variable-stiffness corrugated structure based on shape-memory polymer composite // *Polymers*. 2020. V. 12. N 2. 387.
69. **Li T., Sun J., Leng J., Liu Y.** An electrical heating shape memory polymer composite incorporated with conductive elastic fabric // *Journal of Composite Materials*. 2022. V. 56. N 3. P. 1725—1736.
70. **Xie P., Yuan W., Liu X.** et al. Advanced carbon nanomaterials for state-of-the-art flexible supercapacitors // *Energy Storage Materials*. 2021. V. 36. N 4. P. 56—76.
71. **Bordbar-Khiabani A., Gasik M.** Smart hydrogels for advanced drug delivery systems // *International Journal of Molecular Sciences*. 2022. V. 23. N 7. 3665.
72. **Vorobiov V.K., Sokolova M.P., Bobrova N.V.** et al. Rheological properties and 3D-printability of cellulose nanocrystals / deep eutectic solvent electroactive ion gels // *Carbohydrate Polymers*. 2022. V. 290. N 8. 119475.
73. **Timur U.T., Jahr H., Anderson J.** et al. Identification of tissue-dependent proteins in knee synovial fluid // *Osteoarthritis and Cartilage*. 2021. V. 29. N 1. P. 124—133.
74. **Zheng X., Lin J., Wang Z., Zeng Z.** Research of the analgesic effects and central nervous system impact of electroacupuncture therapy in rats with knee osteoarthritis // *Heliyon*. 2024. V. 10. N 1. e21825.
75. **Liu B., Zhang F., Zhou R., Sun Y.** On behaviors of the shape memory composite containing shape memory polymer matrix and shape memory alloy fibers under uniaxial loading with different temperature conditions // *Polymer Composites*. 2021. V. 42. N 8. P. 3827—3840.
76. **Li J., Zhang L., Li S.** et al. Active disturbance rejection control for piezoelectric smart structures: A review // *Machines*. 2023. V. 11. N 2. 174.
77. **Lukong V.T., Ukoba K., Jen T.C.** Fabrication of vanadium dioxide thin films and application of its thermochromic and photochromic nature in self-cleaning: A review. 2022.
78. **Zarubina A.N., Ivankin A.N., Serdyukova Yu.V., Oliferenko G.L.** Bioplastics based on copolymers of glycerin, phthalate anhydride and lactic acid // *Polymer Science, Series D*. 2023. V. 16. N 2. P. 410—414.
79. **Mukherjee C., Varghese D., Krishna J.S.** et al. Recent advances in biodegradable polymers. Properties, applications and future prospects // *European Polymer Journal*. 2023. V. 192. N 6. 112068.

Уважаемые авторы!

Со второго полугодия 2018 г. (с № 7/2018) статьям, опубликованным в научных журналах ООО «Наука и технологии», на основании договора с фирмой Crossref/NEICON присваивается индекс DOI.

Загрузку метаданных статьи в базу Crossref осуществляет сам автор по инструкции, приведенной на сайте <http://elpub.ru>. Необходимые для загрузки дополнительные данные и инструкции редакция передает автору по e-mail после выпуска очередного номера журнала.

Загруженный в Crossref индекс DOI следует указывать при цитировании статьи в списках литературы.

УДК 541.128.13

Композиционные наночастицы как основа для создания гетерогенных катализаторов

И.Ю. Исаева¹, Г.Ю. Остаева¹, канд. хим. наук, И.В. Моренко¹,
В.В. Грушина¹, канд. хим. наук, А.В. Овчаров²

¹Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)
(Москва, 125319, Россия)

²Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт») (Москва, 123182, Россия)

E-mail: irina-razumova-xim@yandex.ru

DOI: 10.31044/1994-6260-2024-0-12-14-18

Поступила в редакцию 16.05.2024

После доработки 24.07.2024

Принята к публикации 29.08.2024

Металлооксидные катализаторы чаще всего показывают низкий выход по целевому продукту. Этому способствует ряд причин, таких как: большие размеры частиц и неравномерное покрытие носителя. Данная работа посвящена исследованию возможности получения катализатора для реакций синтеза хинолина. Основой катализатора является минеральный носитель с внедренными в его поры наночастицами Si/SiO или Ni/NiO.

Ключевые слова: синтез хинолинов, гетерогенные катализаторы, цеолиты, наночастицы.

Хинолин и его производные — важнейший класс азотогетероциклов, обладающих широким спектром биологического действия. Например, они являются эффективным средством борьбы с кишечной палочкой и золотистым стафилококком [1–3], а также продемонстрировали высокую противовоспалительную и противораковую активность [4]. Классические методы получения хинолинов основаны на конденсации анилина и его производных с карбонильными соединениями. К этим методам относятся реакции Дебнера—Миллера, Фридлендера, Пфитцингера, Конрада—Лимпах, Комбе [5]. Все перечисленные подходы имеют существенные недостатки, а именно: использование токсичных соединений (альдегиды и кетоны), летучих органических соединений, жесткие условия проведения реакций [6]. Стоит отметить, что реакция Скраупа наиболее часто применяется для синтеза хинолина и его производных [7, 8], который заключается в конденсации анилина с глицерином в присутствии серной кислоты. «Зеленая» модифицированная форма этой реакции реализуется в водной среде с использованием чистого глицерина в условиях микроволнового облучения. При этом выход по целевому продукту составлял от 10 до 66% [9].

Примером применения гетерогенных катализаторов для газофазного синтеза хинолинов является использование смеси

шанных металлооксидных катализаторов, включающих в себя $\text{ZnO—Cr}_2\text{O}_3$, $\text{CuO—ZnO/Al}_2\text{O}_3$, $\text{MoO—V}_2\text{O}_5/\text{Al}_2\text{O}_3$ и $\text{NiO—MoO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$. Они могут катализировать реакцию между анилином и глицерином в присутствии кислорода с образованием хинолина, однако выход хинолина относительно низок — обычно около 65%. Исследователи связывают такой результат с глубоким окислением кислородом [10,11]. Достаточно высокий выход целевого продукта (71%) удалось получить с использованием Ni/мезопористого бета-цеолита в качестве катализатора [12].

Благодаря использованию смешанных металлооксидных катализаторов увеличивается выход конечного продукта и упрощается процесс. Поэтому целью работы было получение катализатора на основе цеолита (носитель) с внедренными в его поры наночастицами меди или никеля.

Наночастицы меди и никеля были получены путем восстановления этих металлов с помощью трет-бутиламин-борана из водных растворов сульфата никеля и сульфата меди соответственно. Для обеспечения стабилизации размеров и ограничения роста наночастиц никеля и меди восстановление проводили в растворе поли-N-винилпирролидона (ПВП). Ранее нами было показано, что наибольшую устойчивость к седиментации и окислению частиц металлов удается получить при использовании ПВП с молекулярной массой 360000 [13, 14]. За счет формирования водородных связей между поверхностью растущей частицы и полимерной матрицей происходит экранирование наночастицы полимером на ранних стадиях ее роста, в результате чего образуется полимер-металлический комплекс, представляющий собой золь металла в растворе полимера.

В качестве минерального носителя был использован цеолит с соотношением Si/Al,

равным 3, и наименьшим размером пор 7,4 Å. Емкость данного цеолита составляет 0,64 г воды на 1 г цеолита. Подготовку цеолита проводили, осуществляя нагрев в муфельном шкафу со скоростью 5 °С/мин до 450 °С с последующей выдержкой в течение 4 ч. Такой режим прокаливания позволяет сохранить структуру пор цеолита, освободиться от адсорбированной влаги, а в дальнейшем, при получении композиционного катализатора, отжечь ПВП. При данном режиме прокаливания массовая доля остатка ПВП после прокаливания составляет 1,44%.

Предварительно подготовленный цеолит погружали в свежеприготовленный золь металла, выдерживали в течение 1 ч, после чего излишки золя удаляли декантацией и промакиванием фильтровальной бумагой. Насыщенный золем цеолит просушивали на воздухе, после чего прокаливали в муфельном шкафу при режиме, указанном выше. Проведение стадии прокаливания позволяет высвободить дополнительное свободное пространство в мезопорах носителя за счет отжига ПВП и открыть поверхность наночастиц металла, что позволяет в разы увеличить площадь рабочей поверхности конечного катализатора.

Стадии насыщения и отжига повторяли трижды. По завершении каждой стадии проводили исследования микроструктуры и анализ состава поверхностного слоя полученного катализатора с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ), оснащенного системой энергодисперсионного рентгеновского микроанализа (ЭРМ).

Результат проведенного ЭРМ участка поверхности исходного минерального носителя представлен на рис. 1.

Исследования показали, что удается достичь значительного прироста доли металла (никеля и меди) в порах при повторении стадий насыщения и отжига. На рис. 2, а

приведено СЭМ-изображение, полученное с использованием детектора обратно рассеянных электронов. На изображении отчетливо видны светлые наночастицы, «закрепленные» в мезопорах носителя. Результаты ЭРМ (см. рис. 2, б) указывают на то, что полученные частицы преимущественно состоят из никеля. По нашему мнению, восстановленные частицы, нанесенные на сита в ходе первой итерации, становятся первичными центрами кристаллизации для частиц металла в ходе повторных итераций. Доля никеля, оцененная в ЭРМ в образцах при проведении трех итераций насыщения и отжига, составила более 1% (ат.).

СЭМ-изображение образца цеолита, насыщенного золев меди, дано на рис. 3, а. Исследование состава полученного катализатора (см. рис. 3, б) показывает, что в порах цеолита медь в основном присутствует в виде оксида. Доля меди в образце при проведении двух итераций насыщения и отжига составила более 2,5% (ат.).

Проведенные исследования показали, что повторение процедуры насыщения зо-

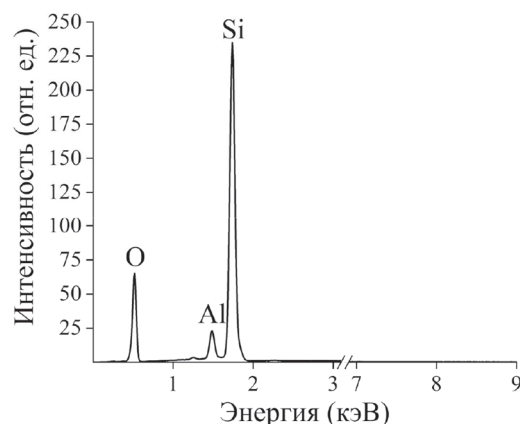
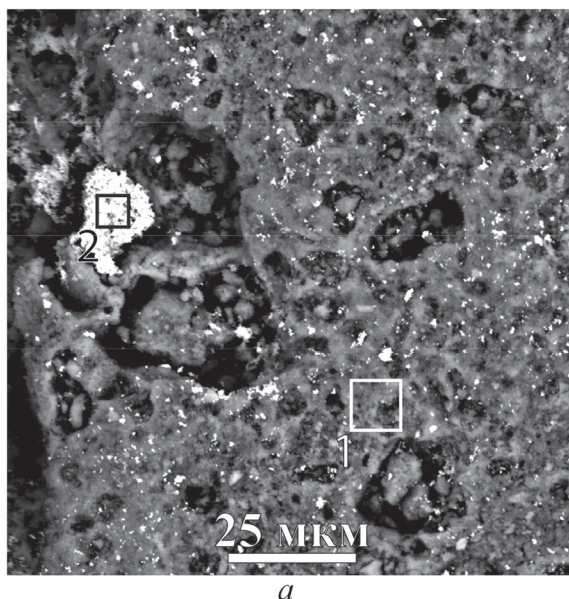
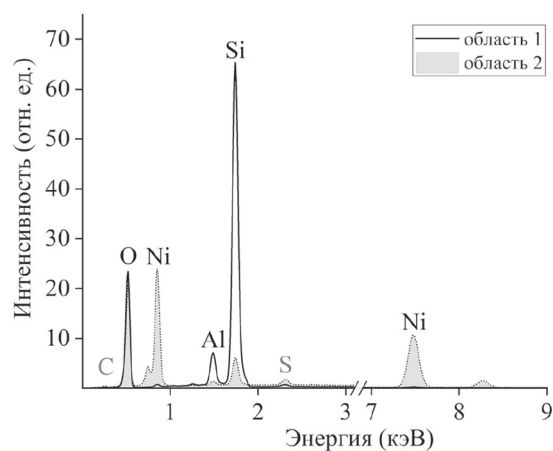


Рис. 1. Результат проведенного ЭРМ участка поверхности носителя

лем и отжига позволяет увеличить долю металла в мезопорах носителя в среднем в 10 раз по сравнению с однократным нанесением золя. Для достижения такого результата достаточно двух циклов насыщения и отжига как в случае с золев никеля, так и меди. Троекратное насыщение золев и отжиг в обоих случаях не дали существенного прироста доли никеля и меди в образцах.

Присутствие в образцах углерода в незначительных количествах указывает на то,



б

Рис. 2. Результат исследования участка поверхности носителя с частицами Ni:

а — СЭМ-изображение поверхности минерального носителя после трех итераций погружения в золь на основе Ni с последующим отжигом; б — результат проведенного ЭРМ двух областей поверхности композиционного катализатора.

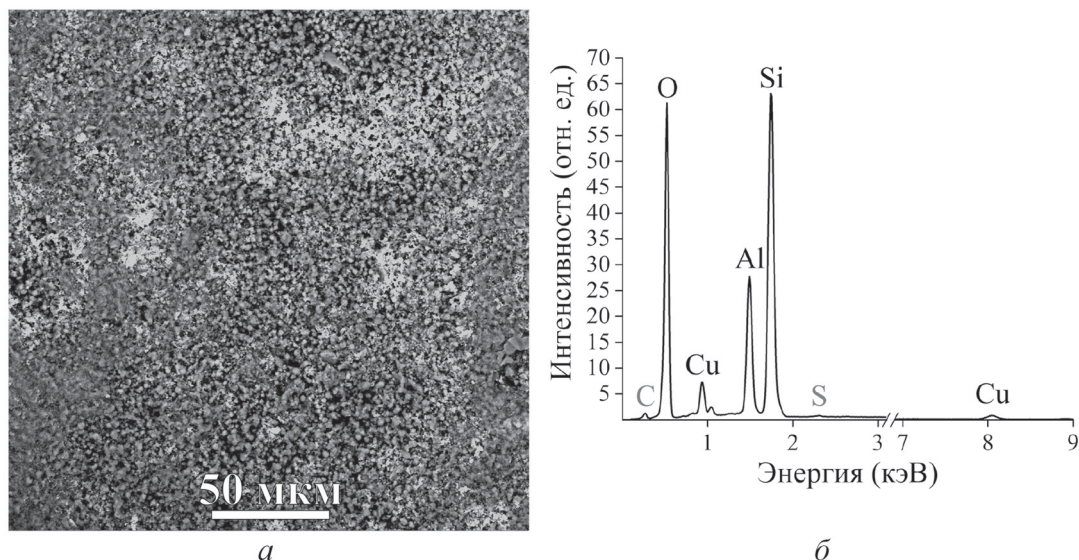


Рис. 3 Результат исследования участка поверхности носителя с частицами **Cu**:

a — СЭМ-изображение поверхности минерального носителя после двух итераций погружения в золь на основе **Cu** с последующим отжигом; *б* — результат проведенного ЭРМ участка поверхности композиционного катализатора

что выбранный режим отжига позволил практически полностью удалить полимерную матрицу из пор носителя. Таким образом, стадия отжига позволяет эффективно удалить полимерный экран с поверхности наночастиц, находящихся в порах цеолита. Эта стадия необходима для увеличения площади рабочей поверхности металла, который будет исполнять роль катализатора в последующем синтезе.

Присутствие в образце незначительного количества серы обусловлено использованием сульфатов никеля и меди в реакциях восстановления в ходе получения золь. Последующие испытания полученных композитов показали, что незначительное содержание серы не оказывает негативного влияния на ход каталитической реакции и не снижает эффективности получившихся катализаторов. Тем не менее было показано, что промывка дистиллированной водой уже прокаленного композита с последующей просушкой его в муфельном шкафу со скоростью 5 °С/мин до 450 °С и выдержкой при этой температуре в течение 4 ч позволяет снизить долю серы в образце, т.е.

вымывать растворимые сульфаты из пор цеолита. При этом доля никеля и меди в образцах практически не снижается после проведения стадии отмывки.

Исследование образцов методом СЭМ показало, что лишь малое количество частиц сформировали агрегаты, а их распределение по поверхности катализатора равномерное.

Для оценки эффективности полученных катализаторов образцы были испытаны в реакции пропаналя с нитробензолом (НБ) при температуре 200 °С в течение 5 ч. В результате наблюдалось значительное количество тетрагидрохинолинамина (ТГХА), который является предшественником хинолина.

Выводы

Композиционный материал, представляющий собой золь металла (никеля или меди), стабилизированный полимером, за счет малого размера полученных частиц успешно насыщает мезопоры цеолита, что обеспечивает равномерное распределение наночастиц металла по поверхности но-

сителя. Входящий в состав золя ПВП позволяет добиться высокой дисперсности и препятствует агрегации частиц при формировании золя. Подобранный режим прокаливания насыщенного золем цеолита позволяет успешно освободиться от полимерной матрицы, а небольшой размер мезопор ограничивает внедренный в поры золь от агрегации на стадии прокаливания, что в итоге приводит к получению композиционного катализатора с сильно развитой рабочей поверхностью. Апробация полученных катализаторов, основой которых являются наночастицы металлов и оксидов металлов, введенные в поры цеолита, была проведена в ходе реакции пропаналя с НБ и показала его эффективность.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ FFSM-2023-0003).

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Технологии искусственного интеллекта при написании статьи не использовались.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gao F., Wang P., Yang H., Miao Q. et al. Recent developments of quinolone-based derivatives and their activities against Escherichia coli // Eur J Med Chem. 2018. V. 157. P. 1223—1248.
2. Zhang J., Wang S., Ba Y., Xu Z. 1,2,4-Triazole-quinoline / quinolone hybrids as potential antibacterial agents // Eur J Med Chem. 2019. V. 174. P. 1—8.
3. Gao C., Fan Y.L., Zhao F. et al. Quinolone derivatives and their activities against methicillin-resistant Staphylococcus aureus (MRSA) // Eur J Med Chem. 2018. V. 157. P. 1081—1095.
4. Yadav D., Rai R., Kumar N. et al. New arylated benzo[h]quinolines induce anti-cancer activity by oxidative stress-mediated DNA damage // Sci Rep. 2016. V. 6. P. 1—13.
5. Джилкрист Т. Химия гетероциклических соединений. М.: Мир, 1996. С. 464.
6. Chaudhuri H., Sarmah B., Karak N. Synthesis of Heterocycles Over Nanoporous Zeolites // Handbook of Nanomaterials and Nanocomposites for Energy and Environmental Applications. Springer, Cham. 2020. P. 1—31.
7. Skraup S., Eine Z.H. Synthese des Chinolins // Monatshefte für Chemie. 1880. V. 1. P. 316—318.
8. Dube P.S., Legoabe L.J., Beteck, R.M. Quinolone: a versatile therapeutic compound class // Mol Divers. 2023. V. 27. P. 1501—1526.
9. Saggadi H., Luart D., Thiebault N. et al. Toward the synthesis of 6-hydroxyquinoline starting from glycerol via improved microwave-assisted modified Skraup reaction // Catal. Commun. 2014. V. 44. P. 15—18.
10. Grigor'eva N. G., Artem'eva A. S., Bubennov S.V. et al. Synthesis of Quinolines from Aniline and *N*-Propanol over Hierarchical Granular Yh Zeolites Modified with Metal Oxides // Pet. Chem. 2023. V. 63. P. 201—211.
11. Huang C., Li An., Li Li-Jun et al. Synthesis of quinolines from aniline and propanol over modified USY zeolite: catalytic performance and mechanism evaluated by in situ Fourier transform infrared spectroscopy // RSC Adv. 2017. V. 7. P. 24950—24962.
12. Li A., Huang C., Luo C.-W., Yi W.-J. et al. High-efficiency catalytic performance over mesoporous Ni/beta zeolite for the synthesis of quinoline from glycerol and aniline // RSC Advances. 2017. V. 7. P. 9551—9561.
13. Morenko I.V., Ostaeva G.Yu., Isaeva I.Yu., Eliseeva E.A. Influence of polymer pseudo-matrix on the formation of copper nanoparticles on the steel surface // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. V. 919. P. 022051.
14. Ostaeva G.Yu., Isaeva I.Yu., Morenko I.V., Eliseeva E.A., Litmanovich A.A. Influence of the polymer nature on the formation and stability of copper nanoparticles // AIP Conference Proceedings. «Proceedings of the II International Conference on Advances in Materials, Systems and Technologies, CAMSTech-II 2021». 2022. V. 2467. P. 020065.

УДК 541.64:661.634

Полиариленэфиркетоны с дихлорэтиленовыми группами

А.М. Хараев¹, д-р хим. наук, Р.Ч. Бажева¹, д-р хим. наук, З.Л. Бесланеева, канд. техн. наук, Д.А. Алакаева¹, М.М. Парчиева², М.А. Ялхороева², З.И. Инаркиева², канд. хим. наук

¹Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова (г. Нальчик, 360004, Россия)

²Ингушский государственный университет (г. Магас, 386001, Россия)

E-mail: am_charaev@mail.ru

DOI: 10.31044/1994-6260-2024-0-12-19-25

Статья поступила в редакцию 03.07.2024

После доработки 08.08.2024

Принята к публикации 04.09.2024

В работе представлены результаты синтеза новых мономеров на основе 1,1-бис(4-гидроксифенил)-2,2-дихлорэтена или 1,1-бис(3,5-дибром-4-гидроксифенил)-2,2-дихлорэтена и диалогенида 1,1-ди(4-хлорфенил)-2,2-дихлорэтена. На основе данных мономеров и 4,4'-дифтордифенилкетона реакцией нуклеофильного замещения в растворителе N,N-диметилацетамиде получены галогенсодержащие ненасыщенные полиариленэфиркетоны. Изучены строение, структура и основные свойства синтезированных полиариленэфиркетонов. Состав и строение полимерных материалов подтверждены ИК-спектроскопией, рентгеноструктурным анализом, дифференциальной сканирующей калориметрией. Показано, что полиариленэфиркетоны аморфны, хорошо растворимы в алифатических и амидных растворителях, обладают хорошими влагостойкостью, термо- и огнестойкостью. Высокие механические характеристики позволяют рекомендовать данные полиариленэфиркетоны в качестве термостойких конструкционных полимерных материалов.

Ключевые слова: полиариленэфиркетон, 4,4'-дифтордифенилкетон, высокотемпературная поликонденсация, N,N-диметилацетамид, диметилсульфоксид, дихлорэтиленовая группа.

Современная полимерная химия достигла значительных успехов в разработке конструкционных и суперконструкционных материалов, способных удовлетворить современные требования. Возрастающая потребность в повышении таких эксплуатационных характеристик, как механическая и термическая устойчивость, высокая гидрофобность, радиационная стойкость и другие, требует постоянного совершенствования материалов.

Среди разнообразия полимерных материалов полиариленэфиркетоны (ПАЭК) выделяются своими уникальными физико-механическими характеристиками. Они обладают высокой тепло- и термостойкостью, отличными электрофизическими свойствами, способностью к высокой износостойкости и стойкости к гидролизу, а также минимальным дымообразованием при горении и радиационной стойкостью. По этим параметрам они значительно пре-

восходят многие другие термопласты, обладающие стойкостью к кислотам, щелочам, алифатическим и ароматическим растворителям, а также хорошим сопротивлением сдвигу и ползучести [1—8].

Уникальные свойства ПАЭК позволяют использовать их в замене традиционных металлических изделий, особенно в авиационной, автомобильной и медицинской отраслях. Использование ПАЭК в инновационных технологиях и конструкциях позволяет создавать более эффективные и долговечные изделия, отвечающие современным требованиям к материалам [9—15].

Несмотря на то, что на сегодняшний день известно достаточно большое количество полимеров, обладающих высокой огнестойкостью, остается проблемой создание новых полимерных материалов, обладающих комплексом уникальных свойств. Наблюдающийся в настоящее время постоянный рост потребления трудногорючих полимеров в электротехнике, авиа-, судостроении, автомобилестроении и других отраслях открывает перспективы для создания новых полимерных материалов, в том числе — с пониженной горючестью. В решении проблемы снижения горючести полимерных материалов отчетливо прослеживается несколько тенденций, одна из которых — применение галогенсодержащих мономеров. Следует отметить, что для повышения огнестойкости полимеров также возможны и следующие пути: повышение термостойкости, снижение в полимерах количества горючих компонентов, затруднение доступа кислорода за счет образования большого количества негорючих газов, обрыв цепной реакции горения в результате стабилизации свободных радикалов. Почти всем этим требованиям отвечают ПАЭК.

Полиарилэфиркетоны — это семейство полимеров с различным соотношением простых эфирных и кето-групп. Известно,

что все ароматические полиэфиркетоны делятся на две группы: полукристаллические и аморфные. На сегодняшний день известно о более чем 340 различных ПАЭК, и большинство из них аморфны. Хотя аморфные ПАЭК на сегодняшний день не нашли широкого применения, растворимость большинства представителей этой группы открывает, наряду с комплексом высоких эксплуатационных характеристик, перспективы для применения данных ПАЭК совершенно в новых областях.

Расширение ассортимента полимеров класса ПАЭК и совершенствование способов их синтеза, а также регулирование свойств этих полимеров являются актуальной задачей.

Целью настоящего исследования явилось создание новых аморфных термо- и теплостойких суперконструкционных термопластов, перспективных в качестве термопластичных связующих для стеклотекстур и углепластиков, а также разработка эффективных методов их синтеза. Кроме этого, получение растворимых в низкокипящих хлорированных органических растворителях ПАЭК явилось одной из основных задач данного исследования.

Несомненный и неослабевающий интерес представляет создание полимеров на основе новых мономеров, в которых изначально заложена потенциальная возможность придания определенных свойств (огне-, тепло-, термостойкости) создаваемому материалу. Известно, что соединения с дихлорэтиленовой группой имеют очень высокую стойкость к термическому разложению и обладают при этом высокой реакционной способностью. Эти свойства дихлорэтиленовой группы являются востребованными в сфере производства новых термопластических масс, а также в тонком органическом синтезе [16—22].

Для дальнейшего использования в поликонденсационных процессах через не-

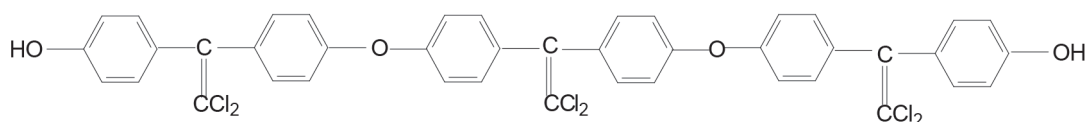
1. Основные характеристики мономеров

Мономер	$T_{\text{разм}}, ^\circ\text{C}$	ММ*	ОН-группы**	Содержание*, %				
				С	Н	О	Cl	Br
ДДЕ-С-2	96—97	807,5	4,20/4,23	62,5/63,2	3,24	7,94	26,37	—
ДДЕ-ТБС-2	88—89	1438,4	2,33/2,34	35,0/36,2	1,27	4,44	14,81	44,42

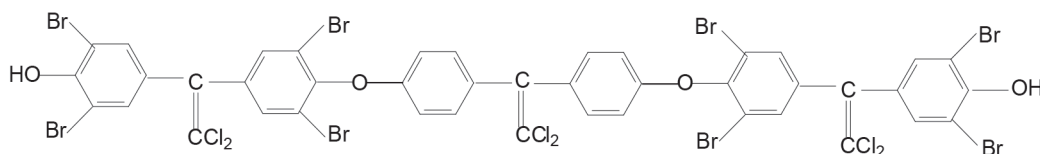
*Расчетные данные; ** в числителе — расчетные, в знаменателе — экспериментальные данные.

сколько этапов синтеза получены мономеры на основе 1,1-бис(4-гидроксифенил)-2,2-дихлорэтена (С-2) или 1,1-бис(3,5-дибром-4-гидроксифенил)-2,2-дихлорэтена (ТБС-2) и ди-галогенида 1,1-ди(4-хлорфенил)-2,2-дихлорэтена (ДДЕ).

Синтез проводили методом высокотемпературной поликонденсации. Оптимизация процесса синтеза новых мономеров привела к следующим результатам: в качестве растворителя использован диметилсульфоксид (ДМСО), азеотропообразователя — толуол, время синтеза — 2 ч после полного удаления воды из реакционной среды, температура реакции — 155—160 °С. Данные условия в дальнейшем позволили получить ПАЭК заданного строения и состава. Таким образом, получены два новых мономера, имеющие следующее строение:



ДДЕ-С-2



ДДЕ-ТБС-2

Некоторые экспериментальные и теоретически рассчитанные данные для двух соединений приведены в табл. 1.

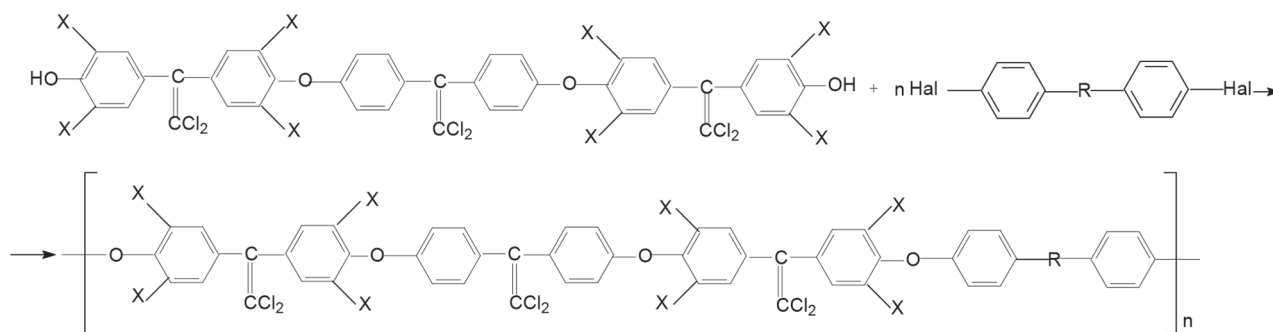
Мономеры ДДЕ-С-2 и ДДЕ-ТБС-2 использованы для получения полиариленэфиркетон-ов. Синтез ПАЭК осуществлялся методом высокотемпературной поликонденсации по механизму нуклеофильного замещения в апротонных диполярных растворителях (АПДР) взаимодействием синтезированных мономеров с 4,4'-дифтордифенилкетон-ом. В отличие от протонных, апротонные растворители в случае растворенных ионных соединений сольватируют в основном катионы, оставляя анионы относительно свободными. Это приводит к увеличению скорости процесса поликонденсации.

Апробованы две методики синтеза новых ПАЭК и даны сравнительные характеристики данных (оптимизированных) методик и свойств полученных полимеров:

синтез в N,N-ацетамиде (ДМАА) с использованием в качестве щелочного агента карбоната калия, в качестве азеотропообразователя — хлорбензола;

синтез в диметилсульфоксиде (ДМСО) с использованием в качестве щелочного агента концентрированного раствора гидроксида натрия, в качестве азеотропообразователя — метилбензола.

В данной работе представлены результаты синтеза ПАЭК по первой методике, полученных согласно следующей схеме:



где $X = H$ в случае использования мономера ДДЕ-С-2; $X = Br$ в случае использования мономера ДДЕ-ТБС-2; $R = -CO_2-$ и $Hal = F$.

Синтезировано два новых полиарилэнэфиркетона: на основе мономера ДДЕ-С-2 (ПАЭК-1) и на основе мономера ДДЕ-ТБС-2 (ПАЭК-2).

ИК-спектроскопические исследования показали образование соответствующих связей. Для соответствующих полиэфиров на ИК-спектрах обнаруживаются полосы, соответствующие: простым эфирным связям в области 1135 см^{-1} ; карбонильной группе между ароматическими кольцами $1600\text{—}1675\text{ см}^{-1}$; группе $Ar_2-C=CCl_2$ в области 980 см^{-1} ; группе $C-Br$ в области $600\text{—}500\text{ см}^{-1}$.

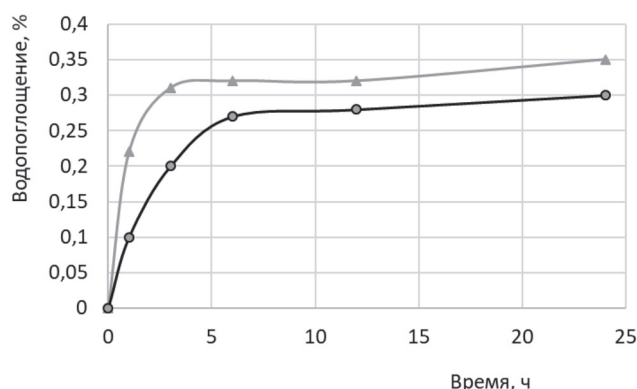
Оба ПАЭК по результатам рентгеноструктурного анализа и результатам дифференциальной сканирующей калориметрии являются аморфными, хорошо растворимы в хлорированных алифатических углеводородах, ДМАА, ДМСО, ДМФА. Методом флуоресцентного анализа показано наличие атомов галогена в структуре ПАЭК.

Известно, что большинство ароматических полиэфиров устойчивы в минеральных и органических кислотах, за исключением концентрированной серной кислоты, в разбавленных растворах щелочей и некоторых окислителях. Химическую стойкость полимеров можно повысить уменьшением концентрации доступных химически нестойких связей, путем введения в макромолекулы заместителей, затрудняющих подход компонентов агрессивной среды к химически нестойким связям или заменой этих связей на более химически стойкие. В этом плане наличие в синтезированных полимерах относительно стойких кетоновых групп в совокупности с устойчивыми дихлорэтиленовыми группами и объемными атомами брома должно способствовать повышению химической стойкости.

Испытание образцов синтезированных полиэфиров показало, что они обладают достаточно высокой химической стойкостью ко многим агрессивным средам. Менее стойким к разбавленным растворам $NaOH$ является ПАЭК-1, содержащий остатки 1,1-дихлор-2,2-ди(4-оксифенил)этилена. Насыщенные остатками бисфенола ТБС-2 менее набухаемы в кислотах и меньше теряют в массе в растворе щелочи. Такая закономерность, по-видимому, связана с наличием заместителей, стерически затрудняющих подход компонентов агрессивной среды к химически нестойким связям. Эффект экранирования, создаваемый атомами брома, преобладает над проницаемостью более рыхлой аморфной структуры.

Следует отметить, что в ходе экспозиции пленки образцов длительное время сохраняют свою целостность, а значение приведенной вязкости изменяется незначительно (в среднем на 5—7%). Данный факт свидетельствует о том, что процесс деструкции данных полимеров происходит только с поверхности образца.

Значения водопоглощения образцов, определенные по ГОСТ 4650—80 «Пластмассы. Методы определения водопоглощения», показали, что для ПАЭК-1 и ПАЭК-2 образцов



Водопоглощение (%) для ПАЭК-1 (●) и ПАЭК-2 (▲)

данное значение составляет 0,3 и 0,35% в течение 24 ч соответственно. Лучшей водостойкостью обладают ПАЭК на основе бисфенола С-2, что, вероятно, связано с более плотной упаковкой макромолекул ПАЭС-1 по сравнению с ПАЭК-2, где разрыхление происходит из-за наличия объемных атомов брома в макромолекулах последнего (рисунок).

ПАЭК обладают высокой термоокислительной стойкостью (табл. 2). Так, например, температуры начала деструкции для всех составов находятся в пределах 400—415 °С, потеря 50% массы у полимеров наблюдается при температурах выше 550 °С.

Данные полимеры обладают хорошей теплостойкостью. Температуры стеклования, найденные методом дифференциальной сканирующей калориметрии, для ПАЭК-1 и ПАЭК-2 составляют 185 и 192 °С соответственно.

Известно, что огнестойкость галогенсодержащих полимеров в зависимости от природы галогена уменьшается в ряду: $\text{Br} > \text{Cl} > \text{F}$. Присутствие брома в полимере более эффективно способствует уменьшению горючести, чем такое же количество хлора или фтора. В синтезированных образцах содержатся атомы хлора в виде дихлорэтиленовых групп $>\text{C}=\text{CCl}_2$, а в ПАЭК-2 одновременно присутствуют атомы хлора и атомы брома. Как видно из табл. 2, значения кислородного индекса связаны с содержанием атомов галогена, особенно атомов брома, в макромолекуле синтезированных ПАЭК.

Пониженная горючесть полимеров со связями $\text{C}-\text{Br}$, $\text{C}-\text{Cl}$ обусловлена процессами, ингибирующими в поверхностной и предпламенной зонах воспламенения и развития горения из-за выделения большого объема негорючих газообразных продуктов. Процесс горения всех образцов ПАЭС и ПАЭК сопровождается образованием коксообразного продукта, формирующегося на поверхности полимера, который является достаточно эффективным диффузионным барьером на пути молекулярных продуктов пиролиза [23].

Синтезированные ПАЭК обладают высокими механическими характеристиками (табл. 3). Высокие значения разрывной прочности, модулей упругости при сжатии и растяжении дают основание отнести

2. Данные термогравиметрического анализа и значения кислородного индекса полиэфиров [23]

Полиэфир	T_c , °С	Потеря массы, °С			Содержание атомов галогена, % (мас.)		КИ, %
		2%	10%	50%	Cl	Br	
ПАЭК-1	185	410	475	560	21,59	—	38,5
ПАЭК-2	192	400	460	575	13,16	39,54	49,0

3. Механические свойства ПАЭК

ПАЭК	σ_p , МПа	$\sigma_{\text{усл}}$, МПа	ϵ_p , %	$E_{\text{раст}}$, ГПа	$E_{\text{изгиб}}$, ГПа
ПАЭК-1	95	75	15	3,1	3,3
ПАЭК-2	105	95	10	3,4	3,5

данные полимеры к классу конструкционных.

Выводы

Таким образом, в результате проведения анализа литературных данных и патентных исследований было выявлено, что технологические процессы синтеза терmostойких функциональных конструкционных ароматических полиэфиров с использованием высокоэффективных методов поликонденсации в растворе, являющиеся объектом разработки, соответствуют общемировому техническому уровню и конкурентоспособны.

С учетом потребностей народного хозяйства в различных полимерных материалах с определенными свойствами получены новые полиарилэфиркетоны, с высокими прочностными характеристиками, тепло-, термо-, огне- и химстойкостью, которые могут найти применение в различных областях техники в качестве конструкционного и пленочного материала.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-23-00370.

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

При написании статьи не использованы технологии искусственного интеллекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.М., Гуреньков В.М. Особенности синтеза полиэфирэфиркетона методом нуклеофильного замещения // Успехи в химии и химической технологии. 2017. Т. 31. № 11 (192). С. 11—13.
2. Smith K.J., Towle I.D., Moloney M.G. Spherical, particulate poly(etherketoneketone) by a Friedel Crafts dispersion polymerization // RSC Advances. 2016. V. 6. P. 13809—13819.
3. Chen M., Zhou W., Yan T., Cai M. Synthesis and properties of novel poly(aryletherketone)s containing both 2,6-naphthylene and 1,4-naphthylene units // High Performance Polymers. 2014. V. 26. P. 230—239.
4. Shukla D., Negi Y., Uppadhyaya J.S., Kumar V. Synthesis and Modification of Poly(etheretherketone) and their Properties: A Review // Polymer Reviews. 2018. V. 52. P. 189—228.
5. Wang Y., Wang P., Xu Q. et al. Synthesis and properties of novel copolymers of poly(ether ketone biphenylketone ether ketone ketone) and poly(etherketonesulfone amide) // Polymer Research. 2014. V. 21. P. 1—8.
6. Xie X. et al. Synthesis and properties of novel copolymers of poly(ether ketone ether ketone ketone) and poly(ether ketone ketone ether ketone ketone) containing 1,4-naphthylene moieties // Polymer engineering and science. 2016. P. 566—572. 67.
7. Kharaev A.M., Bazheva R.C., Inarkieva Z.I. et al. Aromatic Copolyetheretherketones // Polymer Science — Series D. 2024. V. 17. N 2. P. 392—396.
8. Киринов Б.С., Лонский С.Л., Петрова Г.Н., Соколов А.Е. Материалы для 3D-печати на основе полиэфирэфиркетонов // Труды ВИАМ. 2019. № 4 (76). С. 21—29.
9. Гуреньков В.М., Горшков В.О., Чеботарев В.П. и др. Сравнительный анализ свойств полиэфирэфиркетона отечественного и зарубежного производства // Авиационные материалы и технологии. 2019. № 3 (56). С. 41—47.
10. Окшина О.В. Перспективы использования полиэфиркетона в качестве полиэфирной смолы для пропитки стекловолокна // Решетневские чтения. 2018. Т. 1. С. 158—159.
11. Гильман А.Б., Пискарев М.С., Кузнецов А.А. Модифицирование полиэфирэфиркетона в низкотемпературной плазме и методом ионной имплантации для использования в медицине и биологии // Известия Академии наук. Серия химическая. 2020. № 8. С. 1409—1415.
12. Borodulin A.S., Kharaev A.M., Kalinnikov A.N. et al. Synthesis and Performance Characteristics of Superstructure Polyethers // Key Engineering Materials. 2019. V. 816. P. 307—311.
13. Кумыков Р.М., Иттиев А.Б., Бамбетов К.В. Реакции синтеза простых ароматических полиэфиров и полиэфирариленимидов // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2021. Т. 64. № 7. С. 4—20.
14. Кумыков Р.М., Иттиев А.Б., Бамбетов К.В. Новые полинафтилимиды на основе

- 3,3'-диамино-4,4'-дихлорариленов и ароил-лен-бис(нафталевых ангидридов) с улучшенной растворимостью, термо- и огнестойкостью // Пластические массы. 2022. № 7, 8. С. 10—12.
15. **Kharaev A.M., Shaov A.K., Bazheva R.Ch.** Properties of block polyetheretherketones // Polymer Science. — Series D. 2022. V. 15. N 2. P. 255—259.
 16. **Shanmugam Thiyagarajan, Evelien Maaskant-Reilink, Tom A. Ewing et al.** Back-to-monomer recycling of polycondensation polymers: opportunities for chemicals and enzymes // The Royal Society of Chemistry. 2022. V. 12. P. 947—970.
 17. **Devi S.S., Mehendale H.M.** 1,2-Dichloroethylene // Encyclopedia of Toxicology (Third Edition). 2014. P. 95—98.
 18. **Набиуллин И.Р., Борецкая А.В., Березкина М.В. и др.** Производство мономеров в ПАО «Нижнекамскнефтехим» на основе процессов каталитического дегидрирования // Катализ в промышленности. 2022. Т. 22. № 3. С. 21—30.
 19. **Беденко С.П., Дементьев С.П., Максимов А.Л.** Современные процессы получения про-
дуктов нефтехимии из ацетилена (обзор) // Нефтехимия. 2022. Т. 62. № 6. С. 727—772.
 20. **Доброхотов О.В.** Разработка методов синтеза мономеров и модификаторов полимеров на основе замещенных фталонитрилов: специальность 02.00.03 «Органическая химия»: диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук / Доброхотов Олег Владимирович, 2014. 123 с.
 21. **Валяева А.Н.** Синтез, структура и свойства новых ароматических азотсодержащих мономеров для полибензимидазолов: специальность 02.00.03 «Органическая химия»: диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук / Валяева Ася Николаевна. Ярославль, 2013. 142 с.
 22. **Farrah Ashrafnia, Ismail Syed, Sidhartha D.Ray.** 1,2-Dichloroethylene. // Encyclopedia of Toxicology (Fourth Edition). 2024. V. 3. P. 659—664.
 23. **Хараев А.М., Бажева Р.Ч., Парчиева М.М. и др.** Галогенсодержащие ненасыщенные полиариленэфиркетоны // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2024. № 9. С. 23—28.

Требования к статьям для журналов, включенных в Перечень ВАК

Обязательное указание в каждой статье:

- УДК
- Название статьи
- Аннотация
- Ключевые слова
- Информация об авторах: ученая степень, наименование организации
- E-mail
- Наличие пристатейных библиографических списков у всех статей в формате, установленном журналом из числа предусмотренных действующим ГОСТом

Аннотации статей, ключевые слова, полная информация об авторах должны быть указаны на русском и английском языках.

Повышение качества материалов

УДК 621.792; 62—50: 62—525: 628

Автоматизированные системы расфасовки сиропов на базе пневматических датчиков уровня

В.С. Безменов, д-р техн. наук

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН (Москва, 117997, Россия)

E-mail: v.bezmenov48@yandex.ru

DOI: 10.31044/1994-6260-2024-0-12-26-30

Статья поступила в редакцию 08.04.2024

После доработки 20.06.2024

Принята к публикации 16.08.2024

Рассмотрены особенности технологического процесса расфасовки сиропов. Проанализированы недостатки кондуктометрических датчиков уровня наполнения тары. Разработан и испытан в производственных условиях экспериментальный образец системы расфасовки однокомпонентных сиропов с пневматическим датчиком уровня барботажного типа. Сформулированы предложения по развитию автоматизированных систем расфасовки сиропной продукции на базе средств пневмоавтоматики. Представлена разработка многоканальной конвейерной системы расфасовки многокомпонентных сиропов.

Ключевые слова: одно- и многокомпонентные сиропы, системы расфасовки, дозирование по уровню, барботажная трубка, датчик уровня, алгоритм управления, многоканальная конвейерная система расфасовки.

В связи с развитием в России упаковочной отрасли и, в частности, в связи с образованием предприятий малого и среднего бизнеса, занимающихся производством и упаковкой безалкогольных напитков, возникает потребность в создании недорогого высокопроизводительного и компактного импортозаменяющего автоматизированного оборудования для расфасовки выпускаемой продукции в потребительскую тару.

Особую нишу в безалкогольных напитках занимают сиропы — концентрированные

растворы одного или нескольких видов сахаров (сахарозы, глюкозы, фруктозы, мальтозы) в воде или натуральном соке.

Ведущую роль на рынке сиропной продукции занимает российская компания ProffSyrop, которая работает в данной сфере производства более 10 лет. Компания специализируется на выпуске широкого ассортимента перечня из более 250 наименований концентрированных однокомпонентных сиропов и так называемых основ — многокомпонентных фруктовых концентратов.

Разработанная специалистами компании ProffSyrup технология приготовления сиропов предполагает их варку в специальных реакторах при температуре $\sim 95^\circ\text{C}$ и их последующую расфасовку в горячем виде при температуре от 95 до 75°C из вспомогательной транспортировочной тары — полиэтиленовых ведер большой емкости.

Готовые к расфасовке горячие сиропы представляют собой слабо пенящиеся жидкости, вязкость которых сравнима с вязкостью подсолнечного масла. Расфасовка однокомпонентных сиропов производится в стеклянную бутылочную тару с цилиндрической заливной горловиной емкостью 250 и 1000 мл, а расфасовка основ — в бутылочную непрозрачную пластиковую тару емкостью 1000 мл с конической заливной горловиной и более низким уровнем наполнения. В первом случае следующая за операцией наполнения тары операция ее укупорки производится на горячем продукте, а во втором случае укупорка тары производится после ее охлаждения до комнатной температуры. Имеется также различие в консистенции одно- и многокомпонентных сиропов. Последние содержат твердые мелкие нерастворимые взвеси (косточки ягод), что влияет на выбор исполнительных устройств для их транспортировки к узлу залива.

В настоящее время компанией ProffSyrup разработана автоматическая линия расфасовки и укупорки однокомпонентных сиропов в стеклянные бутылки емкостью 250 мл. Основой данной линии является линейная конвейерная машина с электронной системой управления (СУ), обеспечивающая одновременное перемещение 6 бутылок на позиции налива и их наполнение до заданного уровня, контролируемого электрическими датчиками кондуктометрического типа, основным недостатком которых является зависимость электропроводности сиропа от его физико-химического состава. Последнее приводит к необходимости достаточно трудоемкой перенастройки СУ на различные виды сиропной продукции.

Для транспортировки сиропа к узлам залива бутылок на разработанной линии используются относительно дешевые диафрагменные электронасосы китайского производства. Однако, эти насосы неработоспособны на многокомпонентных основах ввиду наличия в них нерастворимых взвесей. Поэтому в настоящее время расфасовка основ производится с помощью специализированного насосного оборудования с ручным управлением операциями включения и отключения подачи сиропа в тару и, соответственно, — с визуальным контролем уровня ее наполнения с помощью подсветки тары электролампой.

Указанные недостатки используемого фасовочного оборудования и необходимость повышения его производительности привели специалистов компании ProffSyrup к поиску альтернативных технических решений по выбору средств автоматизации процессов расфасовки сиропной продукции.

В результате сотрудничества со специалистами компании ProffSyrup в качестве альтернативных технических решений, направленных на развитие производства, было предложено использовать разработанный в ИПУ РАН пневматический дозатор с контролем операции отмеривания дозы по уровню в таре посредством пневматического датчика уровня барботажного типа. Чувствительным элементом такого датчика является продуваемая сжатым воздухом с малым расходом барботажная трубка (БТ). Срабатывание датчика происходит в процессе наполнения тары при касании поверхностью жидкости торцевой кромки БТ.

Дозатор был взят нами за основу при разработке экспериментального образца (ЭО) системы расфасовки (СР) однокомпонентных сиропов в бутылочную стеклянную тару емкостью 1000 мл с внутренним диаметром заливной горловины 22 мм, устанавливаемую на позицию налива вручную.

Разработка ЭО системы расфасовки однокомпонентных сиропов

При разработке ЭО СР однокомпонентных сиропов схема дозатора (базовая схе-

ма) была доработана с учетом физических свойств сиропов и типоразмеров тары. При этом учитывались следующие факторы.

1. В качестве средства транспортировки сиропа к узлу залива (УЗ) использовался тот же электрический диафрагменный насос (ДН) китайского производства, что и на ранее упомянутой, разработанной компанией ProffSygur, линии упаковки однокомпонентных сиропов. Ввиду малого вспенивания сиропа, обусловленного достаточно малой номинальной производительностью ДН (6 л/мин), оказалось возможным исключить перемещение заливной трубки в полость тары. Это позволило существенно упростить конструкцию УЗ путем замены заливной трубки неподвижным стальным сливным наконечником (СН) с внутренним диаметром 8 мм, располагаемым на расстоянии 5—10 мм над горловиной тары. При этом, ввиду наличия в конструкции ДН обратного клапана, исключается межоперационное каплеобразование на торце СН.

2. При остывании сиропа до комнатной температуры его уровень в наполненной таре понижается и должен занимать номинальное положение, которому соответствует положение уровня по окончании операции налива всего лишь на 20 мм ниже кромки заливной горловины. Поэтому, для исключения перелива тары, датчик уровня должен быть настроен на максимальную чувствительность.

3. При лабораторных испытаниях доработанной с учетом вышеперечисленных факторов базовой схемы дозатора на воде был выявлен ее существенный недостаток для работы с сиропами, который заключался в преждевременном («ложном») срабатывании датчика уровня в начальной стадии наполнения тары. «Ложное» срабатывание датчика объясняется его высокой чувствительностью и реагированием на перекрытие выходного канала БТ стекающими по ее внешней поверхности каплями жидкости, образовавшимися по окончании предыдущей операции дозирования. Для исключения этого недостатка был разра-

ботан специальный эмпирический алгоритм управления дозированием, обеспечивающий продувку БТ сжатым воздухом в начальной стадии наполнения тары, и была снята внутренняя фаска с выходной торцевой кромки БТ.

Основным реализованным преимуществом разработанной СР является независимость ее настроечных параметров от физико-химических свойств жидкости и, как следствие, — возможность ее настройки на максимальную (во избежание перелива тары) чувствительность не на горячем сиропе, а на водопроводной воде при комнатной температуре.

Наибольшая эффективность применения рассмотренной системы с точки зрения увеличения ее производительности при обслуживании одним оператором достигается путем построения на ее основе двухканальной СР.

Успешная апробация в производственных условиях на различных видах однокомпонентных сиропов ЭО СР с пневматическим датчиком уровня барботажного типа позволила сформировать план развития производства, направленный на увеличение выпуска основ многокомпонентных сиропных композиций посредством разработки многоканальных автоматизированных пневматических СР с ручной установкой тары на позицию налива, а также представленной в следующем разделе статьи комбинированной пневмоэлектронной конвейерной СР данной продукции.

Многоканальная конвейерная пневматическая система расфасовки многокомпонентных сиропов (основ)

В упаковочной отрасли для построения многоканальных СР жидких продуктов используются линейные конвейерные транспортеры с шаговым приводом, обеспечивающие группировку порожней тары в блоки и ее одновременное перемещение на позиции налива.

Работа рассматриваемой далее многоканальной конвейерной СР многокомпонентных сиропов осуществляется в автоматическом режиме по команде, формируемой электронной системой управления (СУ) конвейерным транспортером. При этом СР является составной частью электронной СУ и реализует функции одновременного наполнения группы тар до заданного уровня и подачи команды в СУ для повторения цикла группировки порожней тары в блок и ее перемещения на позиции налива.

СР состоит из узла залива (УЗ) тары, функциональная схема которого показана на рисунке, и пневматического управляющего устройства (УУ).

УУ формирует поступающие на входы УЗ пневматические сигналы управления ($z1$ — $z4$) исполнительными механизмами (ИМ) СР и реализует совместно с электронной СУ последовательность циклов расфасовки, в каждом из которых выполняются следующие друг за другом операции:

$z1$ — наполнение сиропом промежуточного резервуара (ПР) до заданного положения верхнего уровня (в. у.), происходящее под действием создаваемого в его газовой полости разрежения ($p_2 < 0$), которое контролируется барботажной трубкой БТ2 (чувствительным элементом датчика уровня) с дросселем $d1$ в цепи ее питания;

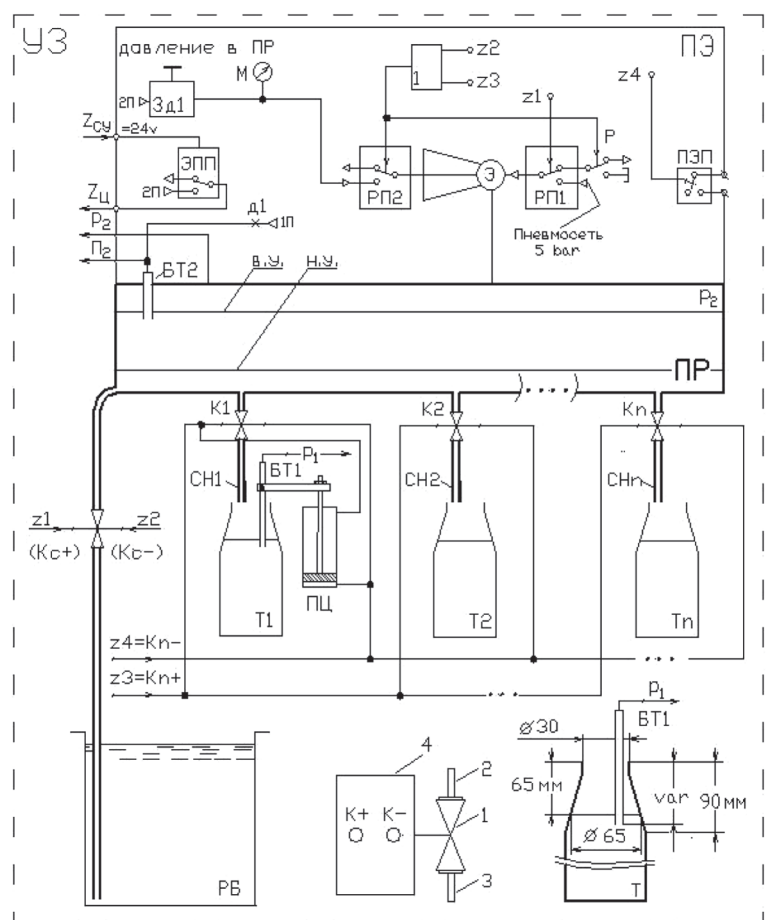
$z2$ — подача в ПР сжатого воздуха и контроль давления p_2 ;

$z3$ — одновременное, по достижении давлением p_2 положительного значения (при $p_2 > 0$), наполнение установленной на позиции налива группы из n тар ($T1$ — Tn , где n — число каналов СР) до заданного уровня, контролируемого барботажной трубкой БТ1, вводимой в полость тары с помощью двухстороннего пневмоцилиндра (ПЦ);

$z4$ — формирование командного сигнала окончания предыдущего и перехода к следующему циклу операций расфасовки посредством замыкания электроконтактов пневмоэлектропреобразователя (ПЭП), встроенных в электрическую цепь привода конвейерного транспортера.

Начало цикла фиксируется подачей командного электрического сигнала $Z_{CY} = 1$ ($= 24v$) на вход электропневмопреобразователя (ЭПП), и далее, через его н. з. пневмоконтакт, — на вход УУ в виде сигнала $Z_{Ц} = 1$.

Дозированная подача сиропа в тары $T1$ — Tn производится через пневмоклапаны $K1$ — Kn — шаровые краны с двухсторонним пневмоприводом, снабженные сливными накопниками (СН1—СН n). При одинаковости



Функциональная схема узла залива конвейерной системы расфасовки

гидравлических сопротивлений линий подачи сиропа из ПР в тары контроль их наполнения можно вести по одному датчику уровня, получающему сигнал окончания операции наполнения тары ($p_1 > 0$) от одной (для всех каналов СР) барботажной трубки, например от трубки БТ1 на 1-ой позиции налива.

Линия транспортирования сиропа из расходного бака (РБ) в ПР содержит пневмоклапан K_C того же типа, что и клапаны $K_1—K_n$, с управляющими командными сигналами « K_C+ » — клапан открыть и « K_C- » — клапан закрыть.

В качестве исполнительных механизмов, обеспечивающих подачу сиропа из РБ в ПР и подачу сиропа под давлением p_2 через клапаны $K_1—K_n$ в тары Т1—Тn, используются струйный эжектор (Э) и два распределителя (РП1 и РП2) с пневмоуправлением фирмы Samozzi, а также пневмореле Р и задатчик давления Зд1 системы УСЭППА. Эти элементы управления входят в состав платы эжектора (ПЭ), которая установлена на крышке ПР.

Заключение

Основными преимуществами представленных в статье СР являются:

независимость настроечных параметров датчика уровня наполнения тары от физико-химических свойств сиропов и, как следствие, — возможность отладки СР при ее работе не на горячем сиропе, а на водопроводной воде при комнатной температуре;

компактность и возможность оперативно-го ремонта или замены функциональных узлов устройства управления;

возможность автоматизированной промывки гидрокommunikаций с минимальными потерями продукта;

удобство эксплуатации и обслуживания системы одним оператором.

Следует также отметить, что представленные в статье принципы построения СР сиропов могут быть использованы и при проектировании фасовочного оборудования для других пищевых и технических жидкостей, расфасовка которых должна вестись при повышенной температуре продукта.

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Государственного Федерального Бюджетного Учреждения науки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской Академии наук.

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2754139 РФ. Пневматический дозатор с отмериванием дозы по уровню жидкости в таре / В.С. Безменов // БИ. 2021. № 25.
2. Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации ГСП. Универсальная система элементов промышленной пневмоавтоматики УСЭППА. Каталог, Т. 5, выпуск 1. 1975. 44 с.
3. Беренде Т.К., Ефремова Т.К., Тагаевская А.А., Таль А.А., Юдицкий С.А., Атлас П.М. Построение пневматических дискретных управляющих устройств на базе аппаратуры системы ЦИКЛ. М. Институт проблем управления. 1975. 102 с.
4. Безменов В.С., Ефремов В.А., Руднев В.В. Автоматизация процессов дозирования жидкостей в условиях малых производств. М.: ЛЕНАНД, 2010, 216 с.

Методы испытания материалов

УДК 620.193

Старение углепластика ВКУ-39 в условиях умеренно теплого и тропического климата. 1. Изменение прочностных показателей

О.В. Старцев, д-р техн. наук, А.А. Скирта, В.О. Старцев, д-р техн. наук,
Е.О. Велевин, канд. техн. наук, А.М. Коган

НИЦ «Курчатовский институт» — ВИАМ (Москва, 105005, Россия)

E-mail: vostartsev@viam.ru

DOI: 10.31044/1994-6260-2024-0-12-31-37

Поступила в редакцию 27.05.2024

После доработки 07.08.2024

Принята к публикации 06.09.2024

Исследовано старение углепластика авиационного назначения ВКУ-39 в умеренно теплом климате Геленджика и влажных тропиках г. Ваньнин. В этих условиях материал экспонировался в течение 3 лет. В первой части статьи рассмотрены общие закономерности изменения механических свойств углепластиков в термовлажностных и натурных климатических условиях и представлены результаты измерений прочностных показателей углепластика ВКУ-39 в исходном состоянии и после 1 и 3 лет старения. Пределы прочности углепластика при сжатии, межслойном сдвиге и изгибе, измеренные при комнатной температуре, остались на уровне исходных значений. При температуре измерений 120 °С эти показатели уменьшились на 10—24%.

Ключевые слова: углепластик, старение, умеренно теплый климат, тропический климат, прочность, сжатие, межслойный сдвиг, изгиб.

Углепластики по сочетанию механических свойств и стойкости к механическим нагрузкам и внешним воздействиям превосходят стеклопластики, органопластики и другие полимерные композиционные материалы (ПКМ) на основе эпоксидных матриц [1—5]. В последние годы в Российской Федерации создана большая номенклату-

ра углепластиков на основе отечественных компонентов, способных обеспечить изготовление разнообразных конструктивных элементов авиационной техники [6—10]. При разработке новых углепластиков важно не только обеспечить заданный уровень деформационно-прочностных показателей материалов, но и гарантировать их дли-

тельную эксплуатацию в составе самолетов и вертолетов. Поэтому для всех новых углепластиков осуществляется подробное изучение их старения при воздействиях температуры [11, 12], влаги [13–18], ультрафиолетового облучения [5, 19], сочетаний термического, термовлажностного и механического циклирования [20, 21]. Однако наиболее достоверные сведения о старении этого класса ПКМ получают при комплексном исследовании свойств после длительного экспонирования в открытых климатических условиях [22, 23].

Коэффициенты сохранения углепластиков $k_R = R/R_0$ (R_0 — пределы прочности при растяжении (σ_t), сжатии (σ_c), изгибе (σ_b) материалов в исходном состоянии, R — аналогичные показатели образцов, подвергнутых старению) после различных видов старения, изученных в последние 3–5 лет, даны в табл. 1. Несмотря на то, что из всех ПКМ углепластики наиболее стойки к старению [2, 23], их прочностные показатели уменьшаются более чем на 10–20% после различных режимов термовлажностных испытаний [12–18]. После экспонирования углепластиков в условиях различных климатических зон РФ наблюдаются случаи как возрастания, так и уменьшения показателей k_R (см. табл. 1) в пределах от 1,14 до 0,61 [24–29].

В работах [20, 22, 27–29] рассмотрены основные причины, вызывающие климатическое старение углепластиков. К их числу относятся доотверждение, деструкция [20, 27, 28] и микрорастрескивание [30] полимерных матриц, ускоряемые суточными и сезонными термовлажностными циклами, амплитуда которых возрастает при перегревах поверхности солнечным облучением [31]. Значения показателей k_R , измеренных после различных сроков натурных испытаний, в значительной степени зависят от количества накопленной влаги, ко-

торая вызывает обратимую или частично обратимую пластификацию эпоксидных матриц [32].

Одним из перспективных материалов, предназначенных для изготовления обшивки, элементов крыла и мотогондолы газотурбинных двигателей летательных аппаратов, является углепластик ВКУ-39 [33]. Этот ПКМ хорошо зарекомендовал себя по стойкости к агрессивным факторам [27], способности повышать температуру стеклования связующего ВСЭ-1212 при старении [12, 34], восстанавливать свои прочностные показатели после десорбции влаги из состаренных образцов [29]. По данным работы [29], изменения шероховатости поверхности и влагосодержания ВКУ-39 зависят от места проведения климатических испытаний.

Для получения дополнительных сведений о причинах изменения прочностных показателей этого углепластика представляет интерес сопоставить старение ВКУ-39 в условиях умеренно теплого и влажного тропического климата. Такие сравнительные испытания были выполнены для герметиков [35] и алюминиевых сплавов [36] и позволили выявить климатические показатели, влияющие на старение и коррозию этих материалов.

В связи с этим в первой части данной работы поставлена задача сравнения показателей k_R углепластика ВКУ-39 после 1 и 3 лет экспонирования в г. Ваньнин и Геленджике.

Для исследований выбран углепластик ВКУ-39, разработанный для изготовления силовых элементов авиационной техники, подвергаемых внешним климатическим и эксплуатационным воздействиям. Углепластик изготавливается из препрега на основе равнопрочной углеродной ткани ВТкУ-2.280 [37] и высокодеформативного эпоксидного связующего ВСЭ-1212 [38].

1. Коэффициенты сохранения механических показателей углепластиков после старения

Углепластик	Условия испытаний	Показа- тель R^*	Значение показателя в исходном состоянии R_0 , МПа	Коэффициент сохранения показателя $k_R = R/R_0$	Источ- ник
ВКУ-39	10000 ч старения при 120 °С	σ_b	1130	1,02	[12]
		σ_c	810	0,90	
ВКУ-59	3 мес. старения при темпера- туре 60 °С и относительной влажности 85%	σ_b	884	0,99	[13]
		σ_c	427	0,85	
Т300/Epicote RIMR 135	35 сут выдержки в морской воде при температуре 60 °С	σ_t	1450	0,83	[14]
		σ_c	550	0,62	
		σ_b	900	0,76	
DGEBA (E-51)/HTDA	80 сут выдержки в воде при 60 °С	σ_t	1276	0,80	[15]
EL-2/AT30	112 сут выдержки в воде при 60 °С	σ_b	1180	0,82	[16]
Т700/DGEBA (E-51)/DICI	60 сут старения при темпера- туре 60 °С и относительной влажности 100%	σ_t	848	0,94	[17]
		σ_b	816	0,89	
Т300/Epoxy pultruded	9 сут выдержки в воде при 70 °С	σ_b	1110	0,78	[18]
ВКУ-38ЖН	5 лет климатического старе- ния в Москве	σ_t	1300	0,89	[24]
		σ_b	1320	0,93	
		σ_c	670	0,82	
ВКУ-51	5 лет климатического старе- ния в Геленджике	σ_t	729	1,08	[25]
		σ_b	663	0,95	
ВКУ-45Ж	5 лет климатического старе- ния в Москве	σ_c	660	0,75	[26]
ВКУ-45/3692			610	0,94	
КМУ-4э-2 м	6,25 лет климатического ста- рения в Геленджике	σ_b	1265	0,75	[27]
КМУ-7 т			1333	0,63	
ВКУ-24			1100	0,78	
ВКУ-25			1315	0,61	
ВКУ-27Л	3 г. климатического старения в Геленджике	σ_b	1740	1,03	[28]
ВКУ-46		σ_c	820	1,07	
		σ_b	720	0,96	
		σ_c	495	0,77	
ВКУ-39	3 г. климатического старения в 8 климатических зонах	σ_b	920	1,0—1,14	[29]
		σ_c	670	1,0—1,14	

* Пределы прочности при растяжении (σ_t), сжатии (σ_c), изгибе (σ_b), измерены при комнатной температуре.

* Пределы прочности при растяжении (σ_t), сжатии (σ_c), изгибе (σ_b), измерены при комнатной температуре.

Предварительными исследованиями определены высокий уровень деформационно-прочностных показателей этого матери-

ала [34] и его способность противостоять открытому климатическому воздействию [27—29].

2. Изменение прочностных и физических показателей углепластика ВКУ-39 после натурной экспозиции в Геленджике и г. Ваньнин

Показатель R^*	Экспонирование в Геленджике			Экспонирование в г. Ваньнин		
	исходный	1 г.	3 г.	исходный	1 г.	3 г.
Предел прочности при сжатии (20 °С), МПа	682	678/0,99	642/0,94	636	586/0,92	616/0,97
Предел прочности при сжатии (120 °С), МПа	518	534/1,03	501/0,97	477	470/0,99	369/0,77
Кажущийся предел прочности при межслойном сдвиге (20 °С), МПа	68	64/0,94	67/0,99	62	66/1,06	61/0,98
Кажущийся предел прочности при межслойном сдвиге (120 °С), МПа	48	46/0,96	38/0,79	45	40/0,89	34/0,76
Предел прочности при поперечном изгибе (20 °С), МПа	742	722/0,97	680/0,92	736	698/0,95	634/0,86
Предел прочности при поперечном изгибе (120 °С), МПа	646	584/0,90	550/0,85	690	478/0,69	578/0,84
Массовая доля воды, %	0,36	0,52	0,42	0,53	0,90	0,95
Влагонасыщение, % при $T = 60$ °С, $\varphi = 85\%$	1,15	0,80	0,87	1,70	0,94	1,10
Шероховатость поверхности, мкм	3,9	5,4	7,9	1,1	17,0	23,4

*Числитель — измеренное значение, знаменатель — коэффициент сохранения показателя $k_R = R/R_0$, где R_0 — значение показателя в исходном состоянии, R — значение этого же показателя после старения.

Пластины ВКУ-39 экспонировались в течение 3 лет на открытых стендах в Геленджике и в г. Ваньнин на берегу Южно-Китайского моря. Стенды на территории испытательных станций располагались таким образом, чтобы поверхность пластин была ориентирована на юг под углом наклона к линии горизонта, равным 45°. По данным [36], среднегодовые метеорологические показатели мест испытаний характерны для умеренно теплого и влажного тропического климата. Средняя годовая температура за период испытаний в Геленджике составила $(15,5 \pm 0,7)$ °С. В г. Ваньнин этот показатель оказался выше и стабильнее $((26,4 \pm 0,2)$ °С). Тропический климат характеризуется повышенной относительной влажностью воздуха $((78 \pm 2)\%)$ по сравнению с умеренно теплым климатом Геленджика $((69 \pm 2)\%)$. В течение третьего года испытаний в г. Ваньнин выпало вдвое меньше осадков, чем в Геленджике (362 и 772 мм), а значения годовой суммар-

ной солнечной радиации оказались соизмеримы (4826 и 4960 МДж/м²).

Для определения прочностных показателей углепластика были проведены испытания на сжатие по ГОСТ 25.602, сдвиг по ГОСТ 32659, изгиб по ГОСТ 25.604 при комнатной и повышенной (120 °С) температурах.

Измеренные значения прочностных показателей ВКУ-39 представлены в табл. 2. После 1 и 3 лет экспозиции пределы прочности углепластика при сжатии, межслойном сдвиге и изгибе, измеренные при комнатной температуре, остались на уровне исходных значений ($1,06 \geq k_R \geq 0,92$). Однако при температуре измерений 120 °С показатели уменьшились до 0,76 (см. табл. 2). Аналогичным образом изменялась прочность ВКУ-39 по данным работ [12, 27, 29].

Причины уменьшения k_R будут рассмотрены во 2-й части данной статьи после анализа результатов измерений физических показателей углепластика. На основании

выводов работ [27–29, 32] можно ожидать, что наиболее вероятной причиной обнаруженных изменений прочностных показателей является пластифицирующее действие влаги.

Выводы

Проведенные сравнительные испытания показали, что при экспонировании ВКУ-39 в умеренно теплом климате Геленджика и тропическом климате г. Ваньнин пределы прочности углепластика при сжатии, межслойном сдвиге и изгибе, измеренные при комнатной температуре, остались на уровне исходных значений. При температуре измерений 120 °С эти показатели уменьшились на 10–24%.

Таким образом, по результатам измерений прочностных показателей установлено, что углепластик ВКУ-39 проявляет высокую стойкость к агрессивным климатическим воздействиям. Полученные табличные значения о показателях прочности могут быть использованы для моделирования климатического старения ПКМ.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-19-00009, <https://rscf.ru/project/24-19-00009/>.

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

При написании статьи не использовались технологии искусственного интеллекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. № S. С. 7–17.
2. Раскутин А.Е. Российские полимерные композиционные материалы нового поколения, их освоение и внедрение в перспективных разрабатываемых конструкциях // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № S. С. 349–367. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-349-367.
3. Irving P., Soutis C. Polymer composites in the aerospace industry // *Polymer Composites in the Aerospace Industry*. 2nd ed. Woodhead Publishing, 2019. 688 p.
4. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения и цифровые технологии их переработки // *Вестник Российской академии наук*. 2020. Т. 90. № 4. С. 331–334.
5. Qureshi J. A Review of Fibre Reinforced Polymer Structures // *Fibers*. 2022. V. 10. N 3. Article 27.
6. Гуняева А.Г., Сидорина А.И., Курносков А.О., Клименко О.Н. Полимерные композиционные материалы нового поколения на основе связующего ВСЭ-1212 и наполнителей, альтернативных наполнителям фирм Porcher Ind и Toho Tenax // *Авиационные материалы и технологии*. 2018. № 3. С. 18–26.
7. Колобков А.С. Полимерные композиционные материалы для различных конструкций авиационной техники (обзор) // *Труды ВИАМ: электрон.-науч.-технич. журн*. 2020. № 6, 7 (124). Ст. 05. DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-67-38-44.
8. Гуляев И.Н., Павловский К.А. Высокомодульные углепластики для изделий гражданской авиационной техники (обзор) // *Труды ВИАМ: электрон.-науч.-технич. журн*. 2023. № 3 (121). Ст. 09. DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-3-95-106.
9. Колокольцева Т.В., Попов Ю.О., Ланцов И.А., Гусев Ю.А. Препрег и углепластик на основе связующего ВСП-3М и углеродной ткани для применения в составе конструкций лопастей рулевого винта вертолетов // *Труды ВИАМ: электрон.-науч.-технич. журн*. 2023. № 11 (129). Ст. 06. DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-11-56-65.
10. Путилина П.М., Куцевич К.Е., Исаев А.Ю. Полимерные композиционные материалы на основе углеродных и стеклянных волокон для изготовления деталей беспилотных летательных аппаратов и перспективы их развития // *Труды ВИАМ: электрон.-науч.-технич. журн*. 2023. № 8 (126). Ст. 08. DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-8-85-99.
11. Afzal A., Bangash M.K., Hafeez A., Shaker K. Aging Effects on the Mechanical Performance

- of Carbon Fiber-Reinforced Composites // International Journal of Polymer Science / ed. Xu P. 2023. V. 2023. Article ID 4379307.
12. **Николаев Е.В., Барботько С.Л., Андреева Н.П., Павлов М.Р.** Комплексное исследование воздействия климатических и эксплуатационных факторов на новое поколение эпоксидного связующего и полимерных композиционных материалов на его основе. Часть 3. Расчет энергии активации и теплового ресурса полимерных композиционных // Труды ВИАМ: электрон.-науч.-технич. журн. 2016. № 5 (41). Ст. 11. DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-5-11-11.
 13. **Старков А.И., Исаев А.Ю., Куцевич К.Е.** Комплексная оценка воздействия эксплуатационных и климатических испытаний на изменение прочностных свойств полимерных композиционных материалов на основе клеевых препрегов. Часть 1. Углепластик марки ВКУ-59 // Труды ВИАМ: электрон.-науч.-технич. журн. 2024. № 3 (133). Ст. 08. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-3-91-100.
 14. **Attukur Nandagopal R., Gin Boay C., Narasimulu S.** An empirical model to predict the strength degradation of the hygrothermal aged CFRP material // Composite Structures. 2020. V. 236. Article 111876.
 15. **Uthaman A., Xian G., Thomas S., Wang Y., Zheng Q., Liu X.** Durability of an epoxy resin and its carbon fiber-reinforced polymer composite upon immersion in water, acidic, and alkaline solutions // Polymers. 2020. V. 12. N 3. Art. 614.
 16. **Bone J.E., Sims G.D., Maxwell A.S., Frenz S., Ogin S.L., Foreman C., Dorey R.A.** On the relationship between moisture uptake and mechanical property changes in a carbon fibre/epoxy composite // Journal of Composite Materials. 2022. V. 56. N 14. P. 2189—2199.
 17. **Tao L., Min W., Qi L., Cheng C., Song T., Sun Z., Yu M.** The hygrothermal aging process and mechanism of CFRP papered by prepreg that may be stored at room temperature // Polymer Degradation and Stability. 2020. V. 182. Art. 109395.
 18. **Zhu R., Li X., Wu C., Du L., Du X., Tafsirojjaman T.** Effect of Hydrothermal Environment on Mechanical Properties and Electrical Response Behavior of Continuous Carbon Fiber/Epoxy Composite Plates // Polymers. 2022. V. 14. N 19. Art. 4072.
 19. **Khaleel S.M., Rolfe B., Al-Ameri R., Hiliditch T.** Influence of Different UV Exposure Time on the CFRP/Aluminum Single Lap Joints Strength and Fracture Modes // International Journal of Automotive Technology. 2019. V. 20. N 2. P. 379—387.
 20. **Park S.Y., Choi W.J., Choi C.H., Choi H.S.** An experimental study into aging unidirectional carbon fiber epoxy composite under thermal cycling and moisture absorption // Composite Structures. 2019. V. 207. P. 81—92.
 21. **Arutyunyan A.R.** Influence of aging on fatigue strength of carbon fiber reinforced plastics // Materials Physics and Mechanics. 2024. V. 52. P. 118—125.
 22. **Kudo A., Ben G.** Estimation of weatherability flexural properties for CFRP subjected to long-term outdoor exposure // 18th International Conference on Composite Materials. 2011. W27-3. 6 p.
 23. **Авиационные материалы.** Справочник в 13 томах. Том 13. Климатическая и микробиологическая стойкость неметаллических материалов / Под ред. Каблов Е.Н. Москва, 2015. 270 с.
 24. **Гуляев И.Н., Зеленина И.В., Валева Е.О., Хасков М.А.** Влияние климатического старения на свойства высокотемпературных углепластиков // Труды ВИАМ: электрон.-науч.-технич. журн. 2021. № 2 (96). Ст. 05. DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-2-39-51.
 25. **Евдокимов А.А., Петрова А.П., Павловский К.А., Гуляев И.Н.** Влияние климатического старения на свойства ПКМ на основе эпоксвинилэфирного связующего // Труды ВИАМ: электрон.-науч.-технич. журн. 2021. № 3 (97). Ст. 12. DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-3-128-136.
 26. **Коваль Т.В., Велигодский И.М., Громова А.А.** Исследование пластифицирующего влияния влаги на свойства ПКМ на основе эпоксидного связующего ВСЭ-34 после 5 лет экспозиции в различных климатических зонах // Труды ВИАМ: электрон.-науч.-технич. журн. 2021. № 9 (103). Ст. 11. DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-9-105-116.
 27. **Старцев В.О., Славин А.В.** Стойкость углепластиков и стеклопластиков на основе расплавных связующих к воздействию умеренно холодного и умеренно теплого климата // Труды ВИАМ: электрон.-науч.-технич. журн. 2021. № 5 (99). Ст. 12. DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-5-114-126.

28. **Старцев В.О., Велевин Е.О., Гуляев А.И.** Влияние старения поверхности полимерных композиционных материалов на их механические свойства // Труды ВИАМ: электрон.-науч.-технич. журн. 2020. № 8 (90). Ст. 07. DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-8-64-76.
29. **Велигодский И.М., Коваль Т.В., Гуляев И.Н.** Влияние климатических условий на углепластик ВКУ-39 после трех лет натурной экспозиции в восьми климатических зонах // Труды ВИАМ: электрон.-науч.-технич. журн. 2023. № 8 (126). Ст. 10. DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-8-113-128.
30. **Lebedev M.P., Startsev O.V., Petrov M.G., Kopyrin M.M.** The Formation of Microcracks during Climatic Aging of Polymer-Composite Materials // Polymer Science — Series D. 2023. V. 16. N 1. P. 116—123.
31. **Сальников В.Г.** Исследование влагопоглощения авиационных углепластиков в условиях теплого влажного климата // Системы контроля окружающей среды. 2021. № 2. С. 46—53.
32. **Старцев О.В., Старцев В.О., Коган А.М., Варданян А.М.** Изменение пластифицирующего воздействия влаги при климатическом старении полимерных композиционных материалов // Деформация и разрушение материалов. 2024. № 1. С. 16—26.
33. **Николаев Е.В., Коренькова Т.Г., Шведкова А.К., Велевин Е.О.** Исследование влияния температурных факторов на процесс старения новых полимерных композиционных материалов для мотогондолы авиационного двигателя // Труды ВИАМ: электрон.-науч.-технич. журн. 2015. № 3. Ст. 12. DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-3-12-12.
34. **Мишуров К.С., Мишкин С.И.** Влияние внешней среды на свойства углепластика ВКУ-39 // Труды ВИАМ: электрон.-науч.-технич. журн. 2016. № 12 (48). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-12-8-8.
35. **Старцев В.О., Велевин Е.О., Павлов М.Р., Скирта А.А.** Исследование климатической стойкости тиоколовых и силиконовых герметиков // Клеи. Герметики. Технологии. 2024. № 1. С. 24—31.
36. **Старцев В.О., Горбовец М.А., Велевин Е.О., Скирта А.А., Старцев О.В.** Сравнение коррозионной стойкости авиационных алюминиевых сплавов в приморской атмосфере умеренно теплого и влажного тропического климата // Коррозия: материалы, защита. Приложение к журналу «Технология металлов». 2024. № 13. С. 9—18.
37. **Сидорина А.И., Сафронов А.М., Куцевич К.Е., Клименко О.Н.** Углеродные ткани для изделий авиационной техники // Труды ВИАМ: электрон.-науч.-технич. журн. 2020. № 12 (94). Ст. 05. DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-12-47-58.
38. **Николаев Е.В., Барботько С.Л., Андреева Н.П., Павлов М.Р.** Комплексное исследование воздействия климатических и эксплуатационных факторов на новое поколение эпоксидного связующего и полимерных композиционных материалов на его основе. Часть 1. Исследование влияния сорбированной влаги на эпоксидную матрицу и углепластик на ее основе // Труды ВИАМ: электрон.-науч.-технич. журн. 2015. № 12. Ст. 11. DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-12-11-11.

УДК 621.923

Методика исследования структуры порошковых материалов

В.А. Скрыбин, д-р техн. наук*Пензенский государственный университет (г. Пенза, 440026, Россия)**E-mail: vs_51@list.ru*

DOI: 10.31044/1994-6260-2024-0-12-38-41

Поступила в редакцию 29.11.2023

После доработки 23.05.2024

Принята к публикации 23.08.2024

В статье рассмотрены исследования структурных параметров порошковых материалов. Показаны особенности приготовления шлифов для металлографических исследований структуры поверхности деталей из порошковых материалов. Приведена приборная база. Рассмотрены новые методы исследования структуры порошковых материалов, позволяющие более полно исследовать структуру и свойства деталей, полученных методом порошковой металлургии.

Ключевые слова: структурные параметры, порошковые материалы, новые методы, металлографические исследования, приборная база.

Развитие современной техники, совершенствование технологических процессов неразрывно связаны с применением материалов, полученных методами порошковой металлургии. Из таких материалов изготавливают детали автомобилей, сельхозмашин, приборов, космической техники и т.д. Имеется достаточно большое количество учебной и специальной литературы, в которой рассматриваются проблемы теории и практики порошковой металлургии.

Исследованиями установлено, что структурное состояние порошковых материалов обусловлено свойствами исходных порошков и технологией изготовления деталей из этих порошков. Характерной особенностью порошковых материалов является пористость [1–3]. Количество структурных параметров, определяющих свойства по-

рошковых материалов больше, чем у материалов, полученных литьем и последующей термомеханической обработкой. Кроме таких параметров, как химический и фазовый состав, форма и размер зерен, кристаллографическая текстура, характеристика дислокационной структуры, в порошковых материалах важную роль играет пористость, а также качество межчастичных контактов.

Анализ микроструктуры порошковых материалов с использованием оптических микроскопов проводят на нетравленных и травленных шлифах, соблюдая определенную последовательность: на нетравленных шлифах при увеличении в 100 или 200 крат определяют наличие дефектов (различного рода включения, крупные поры, трещины) и пористость. На шлифах, травленных

в соответствующих травителях, при малом увеличении (100–200 крат) составляют общую картину структуры, при большом (более 500 крат) — детально изучают строение выявленных фаз, характер (равномерный или неравномерный) их распределения, определяют количество, форму и распределение твердой фазы и пор. Форму пор и их распределение исследуют на шлифах, приготовленных по различным направлениям по отношению к направлению прессования [4, 5].

Приготовление шлифов из порошковых материалов имеет ряд особенностей:

для сохранения формы пор при разрезе образца необходимо использовать острый, например алмазный, инструмент. Для предотвращения нагрева образца в процессе шлифования и, соответственно, деформации поверхности пор целесообразнее проводить шлифование с охлаждением;

полировальная паста, продукты износа полировальных материалов забивают поры, затрудняют получение качественных шлифов, поэтому порошковые материалы, особенно высокопористые, перед приготовлением шлифов необходимо пропитывать лаком или полимерами. Наиболее пригодными для пропитки являются термопластики, так как они отвечают необходимым требованиям: низкая вязкость; время до затвердевания больше времени полного заполнения пор; отсутствие взаимодействия с материалом образцов; неизменность объема в процессе полимеризации или затвердевания; достаточные коррозионная стойкость и твердость для хорошей шлифуемости и полируемости;

при изготовлении шлифов без предварительной пропитки образцы после шлифовки и полировки подвергают очистке в неокисляющей жидкости с приложением ультразвука;

в процессе приготовления шлифов порошковых материалов необходимо строго

соблюдать последовательность переходов от крупнозернистых абразивов к мелкозернистым. Это особенно важно при наличии в структуре хрупких составляющих или мягких включений (графит, свинец, медь, олово);

переходя к очередному номеру шлифовальной шкурки, шлиф промывают спиртом для удаления частиц более крупного абразива и сушат фильтровальной бумагой. Направление шлифования меняют на 90°. После обработки поверхности шлифа шкурками переходят к шлифованию алмазными пастами различной зернистости. Пасты наносят на бумагу или сукно. При смене паст шлиф также промывают спиртом.

Полирование шлифов является самой ответственной и сложной операцией в их изготовлении. Поскольку при полировании может происходить заволакивание пор, размазывание мягких включений по поверхности шлифа, необходимо стремиться к минимальной продолжительности данной операции. При полировании удаляются только очень тонкие царапины на поверхности шлифа, а грубые удаляются повторным шлифованием. Полирование осуществляют тонкодисперсными абразивами в виде суспензий (с дистиллированной водой, спиртом, керосином, глицерином) или в виде пасты, которые наносят на сукно, драп или фетр. В качестве абразивов для полирования применяют оксиды хрома, алюминия, магния. При полировании шлифов порошковых материалов образец должен непрерывно вращаться для устранения «хвостов», которые появляются в местах расположения пор и на неметаллических включениях. После полирования шлиф промывают спиртом и сушат шлифовальной бумагой. Качество полированных шлифов контролируется путем просмотра под микроскопом. Поверхность шлифа должна быть зеркальной, не иметь рисок,

царапин, выкрашивания структурных составляющих, «хвостов» [6, 7].

Для травления шлифов порошковых материалов применяют растворы, которыми травят шлифы литых материалов соответствующего химического состава. При травлении шлифов, особенно из высокопористых материалов, наиболее сильно растравливаются участки шлифа, прилегающие к порам, что приводит к искажению вида структуры. Поскольку травитель может оставаться в порах, особенно мелких, приводя к их постепенному растравливанию, целесообразно промывать шлифы в ультразвуковой ванне и исследовать сразу после приготовления.

Для автоматических металлографических исследований применяют количественные анализаторы структуры — приборы «Квантимет-360», «Квантимет-720», «Омникон» и др. Принцип работы автоматических анализаторов структуры основан на регистрации и классификации импульсов от обладающих разной отражательной способностью фаз, пор, микрочастиц, при сканировании электронным или световым пучком по тщательно подготовленной поверхности. Преимущество применения анализатора изображения при анализе пористости состоит в том, что можно делать обсчет пористости и размера пор с фотографий и прямого изображения, полученных при помощи оптического или сканирующего электронного микроскопов при увеличении от 50 до 100 000 крат.

Для изучения структуры порошковых материалов используют такие новые направления в световой микроскопии, как фазоконтрастный метод, ультрафиолетовую и высокотемпературную микроскопию.

Фазоконтрастная микроскопия применяется не только для увеличения контраста различных структурных составляющих сплавов. Этот метод особенно чувствителен

к рельефу поверхности образцов. Поэтому с его помощью изучают рельеф, полученный после полирования, вакуумного травления или возникающий при деформировании и проявляющийся микронадрывами на поверхности полированных образцов.

Метод высокотемпературной металлографии позволяет проводить прямые наблюдения за изменением микроструктуры металлов и сплавов, развитием процессов деформации и разрушения при различных температурах в зависимости от состава, механической и термической обработок. Высокотемпературные микроскопы позволяют проследить и просчитать некоторые длительные процессы, происходящие при спекании, например диффузионные процессы, появление и перемещение жидкой фазы, рекристаллизацию, полиморфные превращения, рост зерна и др. Эти микроскопы используются также для исследования процессов рекристаллизации при отжиге деформированных материалов.

Оценка размеров зерна может быть осуществлена с помощью специальной окулярной сетки. Существуют микроскопы, способные исследовать материалы при нагреве до 1600 °С. Для предотвращения окисления шлифа нагрев образцов производится в вакууме или в инертном газе. Для анализа быстро протекающих превращений, например мартенситного превращения в стали, распространения трещин и др., используется высокотемпературная киносъемка структуры. Сочетание киносъемки структуры с измерениями скорости распространения звуковых волн, генерируемых растущими мартенситными пластинами, позволяет измерить скорость роста мартенситного кристалла. Киносъемка структуры дает возможность построения кинетических кривых роста новых фаз в металлах и сплавах.

Поскольку разрешающая способность оптического микроскопа ограничена длиной волны видимого света, для исследова-

ния микроскопических и субмикроскопических объектов применяют электронные микроскопы — просвечивающие (ПЭМ) и растровые (сканирующие) (РЭМ и СЭМ). Применение ПЭМ для изучения структуры порошковых материалов связано с большими сложностями в связи с подготовкой пористых образцов. Порошковые материалы и форму частиц порошка исследуют на растровых микроскопах.

Для исследования диффузии в порошковых материалах применяют метод авторадиографии. На поверхность образца наносят слой радиоактивных изотопов, проводят спекание, а затем диффузионный слой совмещают с фотопленкой. Концентрацию радиоактивного изотопа оценивают по степени почернения пленки.

Макроструктурный анализ и анализ изломов, выполненный визуально или с применением луп, позволяет судить об однородности строения, наличии обезуглероживания, окислении или оплавлении. Для количественного металлографического и стереометрического анализа используют стандартные методики, применяемые для анализа структуры компактных материалов.

Свойства и структуру порошковых материалов изучают также методами внутреннего трения, рентгеновским, определяют электро- и теплопроводимость, магнитные свойства и др.

При увеличении в 100 или 200 крат в шлифах определяют наличие дефектов (различного рода включения, крупные поры, трещины) и пористость.

Выводы

На основе проведенных исследований выявлены новые возможности изучения

структуры поверхностей деталей, полученных методами порошковой металлургии.

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Пензенского государственного университета. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

При написании статьи не использовались технологии искусственного интеллекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Витязь П.Л.** Пористые порошковые материалы и изделия из них / П.А. Витязь, В.М. Капцевич, В.К. Шелег. Минск.: Выш. шк., 2005. 160 с.
2. **Дорофеев Ю.Г., Сергиенко С.Н.** Неравномерность уплотнения материала при поперечной горячей штамповке // Порошковая металлургия. 2015. № 3, 4. С. 20—23.
3. **Скрябин В.А., Зверовщиков А.Е.** Металлографический анализ образцов из порошковых материалов // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2019. № 3. С. 33—37.
4. **Савицкий А.П.** Многоуровневое моделирование объемных изменений двухкомпонентных порошковых тел при спекании // Журнал технической физики. 2010. Т. 80. Вып. 3. С. 63—68.
5. **Скрябин В.А.** Финишная обработка порошковых деталей // Техника машиностроения. 2017. № 9. С. 30—31.
6. **Либенсон Г.А.** Процессы порошковой металлургии в 2-х т. Т. 1. Производство металлических порошков. Учебник для вузов. Издание переработанное и дополненное / Г.А. Либенсон, В.Ю. Лопатин, Г. В. Копарницкий. М.: МИСИС, 2017. 463 с.
7. **Чернышева О.В.** Свойства хромовых и никелевых покрытий при финишной обработке // Успехи современного естествознания. 2016. № 4. С. 57—64.

Информация

Новости литературы

Ауксетическое и магнитострикционное поведение галфенола и алфенола. Г.Ю. Тимофеева, П.Е. Демин, А.В. Косачев // Технология металлов. 2024. № 8. С. 2—10.

Описано необычное ауксетическое и магнитострикционное поведение бинарных сплавов на основе железа: галфенола $\text{Fe}_{100-x}\text{Ga}_x$ и алфенола $\text{Fe}_{100-x}\text{Al}_x$. Приведены экспериментальные и теоретические результаты для объяснения внутренних ауксетических свойств галфенола и алфенола в диапазоне $0 < x < 27,2$. Приведены теоретические условия получения отрицательных коэффициентов Пуассона в ОЦК-металлах и рассчитанные значения коэффициентов Пуассона и модулей Юнга для галфенола и алфенола в зависимости от процентного содержания внедряемых атомов (Ga и Al) в композиции железного сплава. Отрицательные коэффициенты Пуассона были приписаны упругой анизотропии, т.е. разнице между значениями тетрагонального С и ромбоэдрического С44 модулей упругости в кубическом монокристалле. Описаны экспериментальные результаты анизотропного магнитострикционного поведения галфенола и алфенола в зависимости от направления приложенного магнитного поля. Приведены концентрационные зависимости тетрагональной и ромбоэдрической магнитострикции для галфенола. Необычное поведение в магнитном поле связывается с различным фазовым составом сплавов. Рассмотрено маг-

нитоупругое поведение сплавов, выявлена взаимосвязь между модулями упругости С11, С12, С44, магнитоупругими постоянными b_1 и b_2 и магнитострикцией λ в кубических кристаллах.

Влияние карбида хрома и графита, вводимого в шихту порошковой проволоки, на структуры наплавленного металла. Н.В. Коберник, А.С. Панкратов, В.В. Александрова, Ю.В. Андриянов, А.Л. Галиновский, А.Г. Орлик // Технология металлов. 2024. № 8. С. 30—38.

Рассмотрено влияние карбида хрома и графита, содержащегося в шихте порошковой проволоки, на структуру наплавленного металла, выполненного дуговой наплавкой с применением присадочной проволоки. Установлено, что карбид хрома преимущественно разрушается, однако с ростом количества графита в шихте порошковой проволоки стабильность карбидов повышается. Разрушение карбида хрома в процессе наплавки позволяет легировать наплавленный металл хромом и углеродом, что при определенном составе порошковых проволок разрешает получить заэвтектическую структуру. При этом твердость наплавленного металла изменяется незначительно.

Влияние режимов зонной плавки на структуру и механические свойства литых стержней околоэвтектического Со-сплава. А.А. Алпатов,

В.В. Молоканов, А.В. Крутилин, Н.А. Палий, М.А. Каплан, Т.Р. Чуева, П.П. Умнов // *Электromеталлургия*. 2024. № 8. С. 10—16.

Проведено исследование структуры и механических свойств при изгибе и сжатии литых стержней Со-сплава 84КХСР, обработанных зонной плавкой (ЗП) по различным режимам. По результатам исследований на трехточечный изгиб определен оптимальный режим ЗП: температура зоны расплава 1150 °С, скорость перемещения зоны расплава в индукторе 10 мм/мин. Отмечено, что данный режим обеспечивает максимальные прочность и упругий прогиб образца; в стержне формируется дисперсная эвтектика, структурно упрочненная продольно ориентированными дендритами. Показано, что при сжатии высокая прочность 2300—2600 МПа и эффект сверхупругости фиксируются при температуре расплава 1150 °С при скоростях перемещения зоны расплава от 1 до 20 мм/мин. Упругая деформация составляет 2—3%, общая обратимая деформация может достигать 6%, следы пластической деформации отсутствуют. Показаны перспективы использования высокопрочных сверхупругих околоэвтектических литых стержней.

Закономерности формирования линейных градиентных структур в титановых сплавах при термоводородной обработке. А.С. Степушин, О.Н. Гвоздева, А.В. Шалин, П.А. Смирнов, А.С. Журбенко // *Электromеталлургия*. 2024. № 8. С. 2—9.

Исследованы закономерности формирования структуры при вакуумном отжиге в титановом сплаве ВТ22, предварительно легированном водородом. Установлено, что за счет протекания $\beta \rightarrow \alpha$ -превращения при низкотемпературном вакуумном отжиге в сплаве происходит преобразование крупнопластинчатой структуры в дисперс-

ную с размером образующейся при дегазации ($\alpha_{\text{дег}}$) фазы не более 0,5 мкм и твердостью порядка 38,0 ед. HRC. Установлено, что толщина слоя с дисперсной структурой при однонаправленном наводороживании с барьерным покрытием в 1,3 раза больше, чем при равнонаправленном наводороживании без покрытия при одинаковых температурно-скоростных условиях процесса.

Исследование износостойкости маломагнитной азотсодержащей аустенитной стали в условиях сухого трения скольжения при различных параметрах испытания. Г.С. Севальнев, О.В. Фомина, Е.И. Лукин, И.О. Банных, А.С. Тепленичева, К.Д. Обливанцев // *Электromеталлургия* 2024. № 7. С. 12—22.

Проведены исследования триботехнических характеристик высокопрочной коррозионно-стойкой аустенитной стали марки 04Х20Н6Г11М2АФБ в зависимости от параметров испытаний на изнашивание (нагрузка и скорость скольжения) в условиях сухого трения скольжения. По результатам исследований установлено, что наилучшей износостойкостью обладают образцы после горячей деформации при наибольших параметрах испытаний. Выявлено, что интенсивность изнашивания образцов с идентичной твердостью после термической обработки на 15% выше, чем у образцов после горячей деформации.

Исследования теплофизических характеристик композиционного материала на основе стекловолоконного наполнителя, сцементированного фосфатным связующим. Е.А. Антипов, А.В. Смирнов, С.А. Терехов, Ю.А. Курганова // *Технология металлов*. 2024. № 6. С. 37—40.

Проведены исследования теплофизических характеристик композиционного материала, состоящего из стекловолоконно-

го армирующего наполнителя, сцементированного фосфатным связующим в виде антипригарного огнеупорного состава (АОС-1). Оценка эрозионной стойкости проводилась методом воздействия высокотемпературного потока воздуха на образцы. В результате испытаний установлена возможность применения материала при температуре до 1750 °С.

К вопросу о критериях оценки качества модификаторов. Д.А. Болдырев // Технология металлов. 2024. № 6. С. 37—40.

Показаны ограниченность и несостоятельность существующего подхода оценки качества модификаторов по фракционному и общему химическому составу. Из производственного опыта модифицирующей обработки чугунов аргументировано использование двух таких дополнительных критериев, как общее содержание кислорода (окисленность) и предел прочности на сжатие. Сделан вывод о наибольшей объективности оценки качества модификатора по результатам его совместной четырехкритериальной оценки.

Ключевые параметры процессов модифицирования при получении графитизированных конструкционных чугунов. Д.А. Болдырев, Л.И. Попова // Технология металлов. 2024. № 8. С. 39—48.

Изложены особенности формирования структуры ВЧ после позднего графитизирующего модифицирования и без него, а также специфика графитизирующего модифицирования, определяющие факторы модифицирующей обработки. Представлены отличия модифицирования расплава чугуна чистым магнием и ферросиликомагниевыми лигатурами, а также приведена для них специфика влияния основных элементов. Подробно разобраны способствующие модифицированию факторы процесса плавки;

факторы, влияющие на выбор метода и материалов модифицирующей обработки; факторы, стимулирующие рост графитных включений; результаты процесса старения модифицирующего эффекта в расплаве чугуна. Приведены полиномиальные зависимости влияния содержания магния на количество глобулей графита и усадку в ВЧ, расхода графитизирующего модификатора на отбел в чугуне, количества глобулей шаровидного графита от расхода графитизирующего модификатора, основные причины возникновения отбела в СЧ. Описаны основные особенности механизма сфероидизации графитных включений с объяснением механизма их образования и роста. Перечислены основные ковшевые методы обработки расплава чугуна магнием, охарактеризована их эффективность для получения ВЧ. Подробно проанализирован один из эффективных способов получения ВЧ — с использованием технологии «ковш с крышкой». Классифицированы по степени эффективности вводимые в графитизирующие модификаторы химические элементы. Приведена общая характеристика ЧВГ, указана главная проблема его получения. Показаны полиномиальные зависимости основных механических свойств ЧВГ и теплопроводности от содержания в нем шаровидного графита. Перечислены 5 основных способов получения ЧВГ. Описаны основные особенности и характеристики способа получения ЧВГ ковшевым модифицированием магний-РЗМ-содержащим модификатором. Приведены рекомендуемые печной и конечный в отливке химические составы ЧВГ. Показаны полиномиальные зависимости величины навески магний-РЗМ-содержащего модификатора и времени выдержки обработанного модификатором расплава чугуна на степень компактности графита (СКГ).

Редколлегия

Содержание журнала «Все материалы. Энциклопедический справочник» за 2024 г.

Научные школы

Аким Э.Л., Рыбников О.В., Федорова О.В., Таразанов А.А., Бобкова Е.А., Юрьева Ю.Т., Гришин А.А., Роговина С.З., Берлин А.А. Органоминеральные целлюлозные композиционные материалы информационного назначения (офисные виды бумаги) .5

Старение полимерных и полимерных композиционных материалов. Обзор работ О.В. Старцева 1

Материаловедение и технология новых материалов

Сидоров М.И., Ставровский М.Е., Кравченко И.Н., Сидоров И.М., Постникова Е.С., Кузнецов С.Н. К вопросу о кинетическом подходе в моделировании процессов разрушения материалов 2

Экология

Бобина Е.А., Данилаев М.П., Дебердеев Т.Р., Ильинская О.Н., Карандашов С.А., Куклин В.А., Хонг Куан Ли, Яковлева Г.Ю. Стойкость полимерной композиции с биоцидным эффектом к воздействию морской среды тропического климата 9

Иванкин А.Н., Зарубина А.Н., Борисова О.А. Бактериостатические бумажно-полимерные композиты на основе стирола 3

Иванкин А.Н., Олиференко Г.Л. Ингибирование коррозии с использованием «зеленых» полимерных систем и соединений природного происхождения 7

Подзорова М.В., Тертышная Ю.В., Мамин Э.А., Михайлова М.Е., Якубова Л.Ю. Композиционные материалы на основе полиэфиров для АПК. 2

Сергеев С.Н., Тараскин К.А., Барнашова Е.К., Вертикова Е.А., Орлов Д.С., Будник М.И. Перспективы применения клеевых материалов природного происхождения для создания составов предпосевной обработки семян 8

Чашилов Д.В. Регенерированная целлюлоза. Обзор. Часть 2. Предварительная обработка целлюлозы, технологии получения регенерированной целлюлозы 1

Шайхиев И.Г., Хаматгалимова Д.Н., Дебердеев Т.Р., Свергузова С.В. Кора деревьев — перспективный сорбционный материал для извлечения углеводов из водных сред (обзор мировой и отечественной литературы) 2

Шайхиев И.Г., Шайхиева К.И., Свергузова С.В., Дебердеев Т.Р. Использование отходов от переработки злаковых культур для удаления разливов углеводов с водной поверхности. 1. Пшеничная и рисовая солома (обзор мировой литературы) . . . 9

Шайхиев И.Г., Шайхиева К.И., Свергузова С.В., Дебердеев Т.Р. Использование отходов от переработки злаковых культур для удаления разливов углеводов с водной поверхности. 2. Ячменная и кукурузная солома (обзор мировой литературы) . . 10

Композиционные материалы

Бобина Е.А., Данилаев М.П., Дебердеев Т.Я., Дробышев С.В., Карандашов С.А., Клабуков М.А., Куклин В.А., Файзуллин К.В. Механические свойства композиции на основе полиэфирной смолы с частицами оксида меди (I) 4

Галиновский А.Л., Абашин М.И., Мартысюк Д.А., Михайлов А.А., Цзя Чжэньюань Разработка метода оценки качества углепластиков, полученных методом вакуумной инфузии 2

Давидьянц Н.Г., Горбунова И.Ю., Редькина А.А., Кравченко Т.П., Чалая Н.М., Мжачих И.Е., Хорошилов А.В. Влияние добавки наноглины на свойства материала на основе модифицированного вторичного полистирола 5

Давидьянц Н.Г., Костромина Н.В., Шишкинская В.А., Кравченко Т.П., Горбунова И.Ю., Юцкова Е.В. Исследование

свойств композиционных материалов
на основе полипропилена 6

**Колесова Е.С., Гоголева О.В., Петро-
ва П.Н., Федоров А.Л.** Изучение влияния
климатических факторов Якутии на струк-
туру и свойства СВМПЭ и ПКМ на его основе . . . 6

**Онискив В.Д., Столбов В.Ю., Макаре-
вич Ю.Л., Чунаев В.Ю.** Некоторые ре-
зультаты исследования прочности и ради-
ационной стойкости углерод-базальтовых
композиционных материалов 3

**Полунин С.В., Горбунова И.Ю., Кер-
бер М.Л.** Свойства эпоксидной матрицы,
модифицированной нитридом бора 4

**Тертышная Ю.В., Мороков Е.С., Ждано-
ва К.А., Захаров М.С.** Физико-механиче-
ские и упругие характеристики композици-
онных материалов полилактид-5,10,15,20-
тетракис(4-*n*-гексилоксифенил)-порфирина 3

**Шоничев И.Д., Тынченко В.С., Бороду-
лин А.С., Музыка С.С.** Применение тех-
нологий машинного обучения при проек-
тировании и производстве конструкций
из композиционных материалов 6

Полимерные материалы

**Галиновский А.Л., Михайлов А.А., Выше-
городцева А.С., Виноградова И.К., Мар-
тысюк Д.А.** Разработка модели генерации
точек взаимодействия образца с абразив-
ными частицами при оценке эрозионной
стойкости лакокрасочных покрытий 1

**Овчинников В.А., Абушахманова З.Р.,
Масталыгина Е.Е., Пантюхов П.В., Ма-
мин Э.А., Купинский Н.Г., Попов А.А.** Ки-
нетические особенности окислительной
деструкции полиэтилена при добавлении
стеаратов различных переходных металлов 1

**Черноусова Н.В., Захарова В.А., Де-
дов А.В.** Моделирование кинетики де-
сорбции лекарственного средства из таб-
летки на основе полимерной матрицы 1

Материалы специального назначения

Борисова О.А., Иванкин А.Н. Бумажно-
полимерные композиционные материа-
лы. Обзор 12

**Александров А.И., Евтушенко Ю.М., Тка-
чев В.В., Григорьев Ю.А., Безсуднов И.В.,
Шевченко В.Г.** Разрушение эпоксидно-
ангидридных компаундов при импульс-
ном механическом воздействии 11

Гетманцева В.В., Гусева М.А. перспекти-
вы переработки пластика в текстильной
и легкой промышленности 7

**Гребенева Т.А., Кутергина И.Ю., Пани-
на Н.Н., Чурсова Л.В.** Связующие для по-
жаробезопасных полимерных компози-
ционных материалов, получаемых по тех-
нологии вакуумной инфузии (Обзор) 11

Гуляев И.Н. Применение углепластиков
в медицине (обзор) 5

Заикин А.Е. Маслобензостойкий и моро-
зостойкий термоэластопласт на основе
смеси двух разнополярных термопластич-
ных вулканизатов 11

**Исаева И.Ю., Остаева Г.Ю., Морен-
ко И.В., Грушина В.В., Овчаров А.В.** Ком-
позиционные наночастицы как основа
для создания гетерогенных катализаторов 12

**Кравченко И.Н., Кадырметов А.М., Куз-
нецов Ю.А., Жачкин С.Ю., Барано-
ва Н.С.** Способ разделения порошковых
материалов на фракции определенного
гранулометрического состава 4

**Краснов К.В., Чалая Н.М., Осипчик В.С.,
Давидьянц Н.Г., Кравченко Т.П.** Исследо-
вание влияния антипирирующих добавок
на свойства композиционных материалов
на основе термоэластопластов 7

**Костромина Н.В., Олихова Ю.В., Крав-
ченко Т.П., Горбунова И.Ю.** Исследо-
вание свойств текстолита на основе феноло-
формальдегидных смол 8

**Кузнецова Ю.Л., Лобанова К.С., Гущи-
на К.С., Ведерникова Н.В., Румянце-
ва В.О., Митин А.В., Хмелевский К.П.,
Вавилова А.С., Семеньева Л.Л.** Особен-
ности формирования 3d-структур для ре-
генеративной медицины на основе кол-
лагена, пектина и акриловых мономеров
в присутствии комплекса триэтилбора
с гексаметилендиаминном 10

**Мединцева Т.И., Ришина Л.А., Лала-
ян С.С., Прут Э.В.** Термопластичные

эластомеры на основе атактического полипропилена 8

Назаров В.Г., Дедов А.В. Влияние толщины покрытия из соединений окисленного кремния на десорбцию диоктилфталата из пленок полиэтилентерефталата 8

Руднев В.П., Мекалина И.В. Климатическая стойкость органических триплексов в свободном и нагруженном состояниях в условиях приморской атмосферы влажных субтропиков 3

Русанова С.Н., Юсупов Б.Н., Бородин А.С., Темникова Н.Е., Зиганшина А.С., Стоянов О.В. Исследование смесей полиолефинов с сополимерами этилена и винилового спирта 2

Скрябин В.А. Химические и физические свойства порошковых материалов 5

Соколова М.Д., Петрова П.Н., Гоголева О.В., Маркова М.А., Колесова Е.С., Федоров А.Л., Портнягин А.С. Разработка герметизирующих морозостойких полимерных материалов для снижения потерь гелия при трубопроводной транспортировке гелионосного природного газа 10

Тертышная Ю.В., Хватов А.В., Подзорова М.В., Бузанов Г.А. Разрушение в почве нетканых волокнистых материалов полилактид—натуральный каучук: структурные эффекты 5

Толстов А.М., Наумова Ю.А., Поповских Е.Г., Худякова И.П. Роль технологических факторов в формировании структуры открытопористых вспененных материалов на основе этилен-пропилен-диеновых сополимеров путем компрессионного формования . . . 9

Торопова Д.П., Андреева Т.И., Ляшенко Е.Ю., Золкина И.Ю., Кравченко Т.П., Горбунова И.Ю., Давидьянц Н.Г. Исследование свойств окрашенных термостойких термопластов 2

Трифонов Г.И., Жачкин С.Ю. Влияние технологических режимов плазменного напыления на прочность сцепления покрытия с винтовой основой детали 3

Хараев А.М., Бажева Р.Ч., Парчиева М.М., Ялхороева М.А., Инаркиева З.И., Алакаева Д.А. Галогенсодержащие ненасыщенные полиариленаэфиркетоны. . . . 9

Хараев А.М., Бажева Р.Ч., Бесланеева З.Л., Алакаева Д.А., Парчиева М.М., Ялхороева М.А., Инаркиева З.И. Полиариленаэфиркетоны с дихлорэтиленовыми группами . . . 12

Стегно Е.В., Абрамова Н.А., Бухаров С.В., Шаулов А. Ю., Берлин А.А. Синтактные композиты с неорганическими связующими холодного отверждения 10

Повышение качества материалов

Безменов В.С. Автоматизированные системы расфасовки сиропов на базе пневматических датчиков уровня 12

Борукаев Т.А., Китиева Л.И., Хараев А.М., Шаов А.Х., Хараева Р.А. Влияние добавки соли меламина/борная кислота на огнестойкость и физико-механические свойства полипропилена 4

Давыдова М.Л., Шадрин Н.В., Федорова А.Ф., Халдеева А.Р., Соколова М.Д. Исследование стойкости этиленпропиленовых резин к термоциклированию в разных рабочих средах 11

Петрова Л.Г., Тимофеева Г.Ю., Косачев А.В. Влияние азотирования на структуру и свойства стали 09Г2С с цинковыми покрытиями 11

Подзорова М.В., Тертышная Ю.В. Анализ подверженности биодegradации материалов на основе полимолочной кислоты 4

Черезова Е.Н., Паль В.А. Влияние олигосилоксанов на процесс отверждения эпоксидной смолы композицией аминоксидных отвердителей и свойства эпоксиполимера . . 10

Шишкина Н.Н., Закирова Л.Ю. Повышение адгезионной прочности резин в напорных рукавах для транспорта нефтепродуктов . . . 11

Методы испытания материалов

Винокуров Г.Г., Стручков Н.Ф., Лебедев Д.И. Профилометрические исследования поверхностей порошковых покрытий и металлических контртел при трении скольжения в условиях низких климатических температур 8

Галиновский А.Л., Мартысюк Д.А., Каткова Е.Д., Музафарова А.Д., Михай-

лов А.А. Разработка метода оценки результативности резания отрезными абразивными дисками	6
Дворянкин А.О., Баурова Н.И. Особенности применения силиконовых материалов при создании литейных форм на основе 3D мастер-моделей	6
Кожус О.Г., Галиновский А.Л., Барсуков Г.В., Тинякова Е.А., Петрухин А.В. Анализ образования слоя поверхностно-активного вещества в канале сопла установки для гидроабразивного резания	7
Назаров В.Г., Дедов А.В. Моделирование кинетики десорбции диоктилфталата из поливинилхлорида в кровь человека и имитационные жидкости	7
Рузанкин П.А., Баурова Н.И. Определение прочностных характеристик полимерного ремонтного банджа для рукавов высокого давления	7
Скрябин В.А. Методика исследования структуры порошковых материалов	12
Старцев О.В., Двирная Е.В., Корниенко Г.В., Коваль Т.В., Велигодский И.М. Исследование влияния температуры, влаги и раствора солей на свойства полиамида-11. 1. Растяжение и сжатие	8
Старцев О.В., Двирная Е.В., Корниенко Г.В., Коваль Т.В., Велигодский И.М. Исследование влияния температуры, влаги и раствора солей на свойства полиамида-11. 2. Деформативность и стеклование	9

Старцев О.В., Скирта А.А., Старцев В.О., Валева Е.О., Коган А.М. Старение углепластика вк-39 в условиях умеренно теплого и тропического климата. 1. Изменение прочностных показателей	12
Папич А. Выбор факторов оптимизации при решении технологической задачи	9

Информация

Белицкая О.А., Арестов С.О., Мавлютов А.А. Установка для изучения трибоэлектрических свойств материалов в широком диапазоне температур	4
Еремина А.А., Гетманцева В.В. Материалы с фазовым изменением в текстиле, способы получения и методы исследования	1
Информационное письмо	3
Новости литературы	1, 2, 12
Свойства и долговечность материалов в экстремально холодном климате (XI Евразийский Симпозиум по проблемам прочности и ресурса в условиях климатически низких температур)	1
Содержание журнала «Все материалы. Энциклопедический справочник» за 2024 г.	12
Современные технологии и материалы для сварки, наплавки и обработки изделий техники и конструкций Севера	4
IV Международная научно-техническая конференция «Современные достижения в области клеев и герметиков: материалы, сырье, технологии»	3—7, 10

ООО «Наука и технологии»

Учредитель журнала ООО «Наука и технологии»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия.

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-21982 от 21 сентября 2005 г.

Оригинал-макет и электронная версия изготовлены в ООО «СиД».

Сдано в набор 17.09.2024. Подписано в печать 12.11.2024.

Формат 60×88/8. Печать цифровая. Усл. печ. л. 5,86. Уч.-изд. л. ?,??. Тираж 40 экз. «Свободная цена».

Отпечатано в ООО «СиД»

Уважаемые читатели!

Продолжается подписка на ежемесячный научно-технический
и производственный журнал

«ВСЕ МАТЕРИАЛЫ. Энциклопедический справочник»

на 1-е полугодие 2025 г.

Журнал распространяется только по подписке

Подписная цена журнала на полугодие — **50 400 руб.**

Стоимость одного журнала — **8400 руб.** НДС не облагается.

Вы можете оформить подписку на журнал с любого номера
до 25-го числа предподписного месяца:

- на сайте издательства **<http://www.nait.ru>** открыта электронная подписка на полнотекстную версию журнала с мая 2009 г.;
- **по безналичному расчету:** ООО «Наука и технологии» (ИНН 7728161750, КПП 771901001), р/с № 40702810806010000025, филиал «Центральный» Банка ВТБ (ПАО) в г. Москве, БИК 044525411, к/с № 30101810145250000411. В графе «Назначение платежа» укажите: подписка на журнал (название журнала) на (срок). Укажите адрес, ИНН, название организации (или ФИО получателя), телефон. Только при подписке по безналичному расчету подписная цена журнала включает и стоимость пересылки.
- по каталогу периодических изданий «Урал-Пресс» на сайте **www.ural-press.ru**;
- **по Объединенному каталогу**, подписной индекс **85344**, а также на сайтах **www.ppressa-rf.ru** или **www.akc.ru**. В отделе продаж на сайте по e-mail: **podpiska@pressa-rf.ru** или по тел.: **+7 (495) 631-62-54**.

Редакция журнала предоставляет вам возможность опубликовать свои материалы о самых различных свойствах **черных и цветных металлов, сплавов, чугунов, композитов, пластмасс, керамики, стекол, клеев, герметиков, связующих, каучуков, лакокрасочных материалов, резин, растворителей, стройматериалов, материалов для упаковки, драгметаллов и др.**

Плата за публикацию статей с авторов, в том числе с аспирантов, не взимается.

По вопросам формирования редакционного портфеля обращайтесь по адресу:

105215, Москва, 9-я Парковая ул., д. 60.

Тел.: +7 (495) 988-98-67.

E-mail: korhimk@nait.ru

**По всем вопросам подписки, распространения и размещения рекламных материалов
обращайтесь по адресу:**

105215, Москва, 9-я Парковая ул., д. 60.

Тел.: +7 (499) 995-45-23, +7 (495) 223-09-10.

E-mail: market@nait.ru

