

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ «ГРОДНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ЯНКИ КУПАЛЫ»

УДК 621.7:621.217:678.033:537

ЭЙСЫМОНТ
Евгения Ивановна

**ТЕРМОПЛАСТИЧНЫЕ КОМПОЗИТЫ С ПОВЫШЕННЫМИ
ПАРАМЕТРАМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК,
ПОЛУЧЕННЫЕ НАПРАВЛЕННЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ
ВОЗДЕЙСТВИЯМИ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности

05.16.09 – материаловедение (химическая промышленность)

Минск, 2015

Работа выполнена на кафедре материаловедения и ресурсосберегающих технологий учреждения образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы»

Научный руководитель **Струк Василий Александрович**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник НИЧ учреждения образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы»

Официальные оппоненты: **Шапвалов Виктор Михайлович**, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом «Композиционные материалы и рециклинг полимеров» Государственного научного учреждения «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого» Национальной академии наук Беларуси;
Спиглазов Александр Владимирович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой механики материалов и конструкций учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет»

Оппонирующая организация учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта»

Защита состоится «03» ноября 2015 г. в 10.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.08.04 при учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет».

Адрес: 220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, ауд. 240, корп. 4.

Тел.: (+37517)327-63-54, факс: (+37517)327-62-17

E-mail: olga_tolkach@tut.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

Автореферат разослан « » октября 2015 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций
кандидат технических наук, доцент

Толкач О. Я.

ВВЕДЕНИЕ

В конструкциях технологического оборудования и функциональных изделий предприятий горнодобывающих, химических производств и машиностроения широко применяют композиционные материалы на основе термопластичных полимерных и олигомерных матриц для изготовления покрытий, деталей трения, герметизирующих и несущих элементов. При наличии широкой номенклатуры композитов, отличающихся параметрами служебных характеристик и составом, в отечественном хозяйственном комплексе предпочтение имеют материалы, разработанные на базе сырьевых компонентов, производимых на предприятиях Беларуси и удовлетворяющие требованиям государственной стратегии импортозамещения и ресурсосбережения.

Параметры деформационно-прочностных, адгезионных, защитных, триботехнических характеристик изделий и покрытий из термопластичных композитов определяются преимущественно составом и технологией формирования, в которой важнейшую роль играют физико-химические процессы контактного взаимодействия на границе раздела «матрица-модификатор». Кинетика и интенсивность этих процессов в значительной степени определяется энергетическим состоянием компонентов, формируемым с использованием направленных технологических воздействий на различных стадиях технологического процесса – при подготовке компонентов, формировании композиционного материала, переработке его в изделия, целевом модифицировании рабочих поверхностей. Путем управления энергетическими процессами на границе раздела фаз композита и в поверхностных слоях изделий и функциональных покрытий возможно достижение синергических эффектов, обуславливающих значительное повышение эксплуатационного ресурса и снижение затрат при производстве и переработке композитов на основе промышленно выпускаемых термопластов.

В связи с изложенным актуальной является задача исследования роли энергетического состояния компонентов в процессе формирования и переработки полимерных композитов и разработки технологических методов управления им с целью повышения эксплуатационного ресурса композитов для металлополимерных конструкций различного функционального назначения.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами

Диссертационная работа выполнена на кафедре материаловедения и ресурсосберегающих технологий учреждения образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы» в 2008 – 2015 гг. в рамках исследований по 8 заданиям программ Республики Беларусь, в том числе: № X12CO-009/1 «Исследование механизма модифицирующего действия механоактивированных зарядовых нанокластеров оксидов металлов в термопластичных матрицах» НАНБ (БРФФИ) – СО РАН-2012 (№ 20122457, срок выполнения 2012-2014); 4305/1.78 «Разработать и

освоить в производстве ресурсосберегающую технологию нанесения нанофазных покрытий нитридов интерметаллида титан-алюминий, стабилизированных кремнием, для металлообрабатывающего инструмента» ГНТП «Ресурсосбережение, новые материалы и технологии-2015», подпрограмма «Защита поверхностей» (№ 20130262, срок выполнения 2012-2014); А 15-14 «Разработка нанокристаллических и аморфных композиционных покрытий на основе карбонитридов рефракторных металлов и алмазоподобного углерода инженерно-технического назначения и специальных материалов для их изготовления» ГПНИ «Функциональные и композиционные материалы, наноматериалы», подпрограмма «Материалы в технике» (№ 20143522, срок выполнения 2014-2015), А 24-14 «Исследование механизма модифицирующего действия инкапсулированных механоактивированных зарядовых кластеров в термопластичных матрицах» ГПНИ «Конвергенция», подпрограмма «Современное естествознание и технологии будущего» (№ 20143576, срок выполнения 2014-2015).

Прикладные исследования по теме диссертационной работы проведены в ходе выполнения хозяйственных договоров с ОАО «Белкард» и ОАО «БелТАПАЗ».

Цель и задачи исследования

Цель работы состояла в исследовании механизмов изменения структуры и энергетического состояния компонентов и материалов при различных видах энергетического воздействия.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Исследовать особенности строения, морфологии и энергетического состояния компонентов материалов и металлополимерных систем при различных видах технологических воздействий.
2. Исследовать механизмы механохимических взаимодействий и трансформирования структуры при энергетическом воздействии на компоненты функциональных материалов.
3. Разработать технологии активирования поверхностных слоев компонентов, изделий и элементов конструкций для повышения параметров эксплуатационных характеристик.
4. Разработать составы и технологию композиционных материалов на основе полимерных, олигомерных и совмещенных матриц для изготовления изделий и покрытий конструкционного, триботехнического и защитного назначения и провести их апробирование в промышленных предприятиях.

Объект исследования – компоненты и композиционные материалы на основе полимерных, олигомерных и совмещенных матриц.

Предмет исследования – влияние процессов трансформирования структуры и энергетического состояния поверхностных слоев компонентов материалов и металлополимерных систем на параметры деформационно-прочностных, адгезионных, триботехнических и защитных характеристик.

Научная новизна

Научная новизна исследований состоит в установлении роли и механизмов влияния энергетических параметров компонентов, оцениваемых по морфологии поверхностного слоя и величине термостимулированного тока, в межфазных процессах, обуславливающих формирование граничных слоев в композиционных материалах на основе термопластичных матриц.

Положения, выносимые на защиту

На защиту выносятся:

1. Экспериментально установленные механизмы межфазных взаимодействий в композиционных материалах при совместном механохимическом активировании дисперсных частиц наполнителей и матричного термопластичного полимера, состоящие в образовании хемосорбционных связей по месту активных центров полимерных радикалов и силикатсодержащей частицы, обеспечивающие повышение в 1,3–1,5 раз параметров деформационно-прочностных, адгезионных и триботехнических характеристик композитов.

2. Технология и механизмы формирования поверхностных слоев заданной морфологии и активности компонентов материалов и металлополимерных конструкций при энергетических технологических воздействиях при изготовлении, переработке и эксплуатации, обеспечивающие образование граничных слоев оптимальной структуры в композиционных материалах и многослойных покрытиях с повышенной в 1,5–2,0 раза износостойкостью и разгаростойкостью.

3. Составы и технология композиционных материалов на основе термопластичных полимерных, олигомерных и совмещенных матриц для защитных, триботехнических покрытий конструкционных и уплотнительных элементов с повышенными в 1,3–2,0 раза параметрами адгезионной прочности и износостойкости.

Научные положения, выносимые на защиту, защищены 5 заявками на получение патентов РФ на изобретение.

Личный вклад соискателя ученой степени

Личный вклад соискателя ученой степени состоит в формулировании цели и задач исследования, разработке методики оценки энергетического состояния поверхностных слоев дисперсных частиц и элементов металлополимерных конструкций при различных видах энергетического воздействия, творческом участии в разработке составов и технологии функциональных композитов для изготовления покрытий и изделий из разработанных композитов на предприятиях машиностроения, горнодобывающей и химической промышленности. Соискатель проводил экспериментальные исследования, участвовал в обсуждении результатов и формулировании основных выводов, патентовании составов и технологии разработанных композиционных материалов.

Промышленное апробирование результатов исследований в виде триботехнических и защитных покрытий, износостойкого инструмента и элементов ленточных конвейеров проведены соискателем на промышленных предприятиях (ОАО «Бел-

кард», ОАО «БелТАПАЗ», УП «Цветлит», ЗАО «СИПР с ОП») совместно с сотрудниками учебно-методического центра «Промагромаш» ОАО «Белкард».

За активную научную работу при обучении в аспирантуре соискатель в 2013 году была удостоена стипендии Президента Республики Беларусь.

Апробация результатов диссертации и информация об использовании ее результатов

Основные положения работы доложены и обсуждены на профильных научно-технических и научных конференциях, семинарах и симпозиумах, в т.ч. международных: 31 международной конференции и семинаре «Композиционные материалы в промышленности», Ялта, 2011; XVIII международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века», Севастополь, 2011; X, XI международной научно-технической конференции «Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка», Минск, 2012, 2014; XIII международной конференции «Материалы. Методы. Технологии», п. Плавья, Карпаты, 2013; Austrian-Slovenian Polymer Meeting-ASPM 2013, Bled, 2013; 2nd Annual Conference & Networking «Technology Transfer and Innovations», Prague, 2013; XXII Всероссийском совещании по неорганическим и органосиликатным покрытиям, Санкт-Петербург, 2014. По результатам исследований отправлено 5 заявок на получение патента на изобретение, получено 1 решение о выдаче патента РБ на изобретение.

Опубликование результатов диссертации

Результаты теоретических, экспериментальных и прикладных исследований, изложенные в диссертационной работе, опубликованы в 26 печатных работах (18,375 авт. лист.), в т. ч. 3 монографиях (в соавторстве), 7 статьях, опубликованных в научных журналах, включенных в перечень изданий, рекомендованных ВАК Республики Беларусь для опубликования результатов научных исследований, 8 статьях, опубликованных в материалах научных конференций и симпозиумов, 2 тезисах докладов конференций.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, 5 глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Работа изложена на 192 страницах машинописного текста, содержит 79 рисунков, 10 таблиц, 263 использованных источника (20 стр.) и 4 приложения (32 стр.).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава диссертационной работы посвящена анализу основных процессов, протекающих в композиционных материалах на основе полимерных, олигомерных и совмещенных матриц при воздействии различных технологических факторов – температуры, скорости деформирования, давления и др. Отмечена особая роль энергетического состояния компонентов в механизме и кинетике протекания межфазных процессов, которые определяют структуру материала на различных

уровнях – надмолекулярном, межмолекулярном и межфазном. Показано, что в работах G.M. Sessler, R. Holm, Дерягина Б.В., Дистлера Г.И., Пинчука Л.С., Климович А.Ф. и сопр. преимущественное внимание уделено механизмам возникновения, движения и релаксации зарядов в высокомолекулярных матрицах.

Проведен анализ методов управления энергетическим состоянием дисперсных частиц при формировании функциональных материалов для конструкционных, триботехнических элементов и покрытий. Показана целесообразность развития исследований в области механохимических технологий получения композиционных материалов, полуфабрикатов и изделий из них.

Проведен анализ современных подходов к разработке теоретических представлений в области разработки механизмов формирования энергетического состояния компонентов при различных видах энергетического воздействия для создания эффективных энергосберегающих технологий получения изделий из полимерных композитов и функциональных покрытий с повышенными параметрами деформационно-прочностных, триботехнических и защитных характеристик металлополимерных трибосистем, конструкций и инструмента. Отмечена перспективность использования многослойных покрытий, сформированных с применением технологических процессов с различной энергоемкостью.

На основании аналитического обзора литературных, патентных и коммерческих источников сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе диссертации рассмотрены методики исследования энергетических параметров, структуры и морфологии компонентов различного состава, строения и дисперсности, применяемых для модифицирования полимерных, олигомерных и совмещенных матриц, а также физико-химических процессов, протекающих на границе раздела фаз, при получении и переработке композитов и эксплуатации изделий из них.

В качестве связующих для получения композитов использовали термопластичные полимеры – полиамид 6 (ПА 6), полиамид 11 (ПА 11), полиэтилен низкого давления (ПЭНД), полипропилен (ПП), политетрафторэтилен (ПТФЭ) в состоянии промышленной поставки (ОАО «Гродно Азот», ОАО «Полимир», ОАО «ХимволокноМогилев»). Отдельные эксперименты проводили с регенерированными термопластами (ПЭНД, ПП, ПЭВД), полученными на ОАО «Белвторполимер» в соответствии с действующей нормативной документацией.

Для формирования многослойных покрытий и модифицирования компонентов при различных видах технологического воздействия использовали фторсодержащие соединения – растворы фторсодержащих олигомеров «Эпилам», «Фолеокс» с молекулярной массой 1000 – 2000 ед. марок Ф-1, Ф-14 и др. (производитель – Институт синтетического каучука им. Лебедева, г. Санкт-Петербург, Россия) и продукты термогазодинамического синтеза политетрафторэтилена, производимые под торговой маркой «Форум» (Институт химии ДВО РАН, г. Владивосток, Россия).

Для управления параметрами энергетического состояния и дисперсности компонентов использовали технологические приемы, основанные на механическом

диспергировании, механохимическом совмещении, воздействии энергетических потоков при термообработке, СВЧ-излучения, лазерного излучения с использованием оригинальных установок криогенного диспергирования, установки планетарного смешивания АГО-2 (Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН), установки для обработки СВЧ-излучением, лазера КВАНТ-15, высокоэнергетического измельчителя - дисмембратора, установок для нанесения электростатических покрытий (ОАО «Гродненский механический завод», ОАО «Белкард», ОАО «Лакокраска», ГНУ «ИММС им. В.А. Белого НАН Беларуси»). Выбор типа энергетического воздействия и режимов для осуществления процесса активации был обусловлен структурно-химическими и размерными параметрами компонентов, функциональным назначением покрытий или изделий.

Для получения композиционных материалов использовали высокодисперсные, в т.ч. наноразмерные частицы углеродсодержащих (УДА, УДАГ, нанотрубки, коллоидный графит, ТРГ), кремнийсодержащих (слюды, глины, кремний, шунгит, трепел), фторсодержащих (УПТФЭ) и металлсодержащих (оксиды Fe, Cu, Zn) соединений, полученных по оригинальным технологиям производителя (ЗАО «Синта», ГНУ «Институт теплообмена им. Лыкова НАН Беларуси», Институт химии ДВО РАН) или в результате специальных технологических воздействий на полуфабрикат (механохимического диспергирования, сублимации).

Физико-химические процессы на границе раздела фаз «матрица-наполнитель», «покрытие-субстрат» при получении, переработке композитов и покрытий и эксплуатации изделий оценивали с использованием методов ИК-спектроскопии (Tensor-27), рентгеновской дифрактометрии (ДРОН 2,0, ДРОН 3,0), ДТА (Thermoscan-2) по общепринятым методикам. Морфологические параметры частиц и субстратов, подвергнутых различным видам энергетического воздействия, исследовали с применением атомно-силового (NT-206), растрового электронного (Mira, Tescan), оптического (MDS) микроскопов. Энергетическое состояние дисперсных частиц, образцов композитов, покрытий и субстратов исследовали методом термостимулированных токов (ТСТ-анализа) на оригинальной установке (ОДО «Микротестмашины»).

Тонкопленочные покрытия на основе углерода и соединений титана (алмазоподобные, TiN, TiCN, TiAlN) получали осаждением из активной газовой фазы в вакууме на оригинальных установках ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси».

Параметры деформационно-прочностных, триботехнических, адгезионных и защитных характеристик материалов и покрытий определяли по общепринятым методикам в соответствии с действующими стандартами РБ или нормативной документацией, разработанной потребителями продукции.

Стендовые испытания изделий и покрытий проводили на ОАО «Белкард», ОАО «БелТАПАЗ», ЗАО «СИПР с ОП», ПУЧП «Цветлит», ОАО «Белвторполимер». Обработку экспериментальных данных осуществляли с применением программных продуктов «Statistica».

В третьей главе рассмотрены предпосылки формирования особого энергетического состояния компонентов металлополимерных систем и компонентов композиционных материалов на основе высокомолекулярных матриц (полимерных, олигомерных, совмещенных).

С использованием фундаментальных представлений физики конденсированного состояния и квантовой физики рассмотрены особенности проявления энергетического состояния дисперсных частиц композиционных материалов и компонентов металлополимерных систем различного типа. Установлены основные факторы, определяющие значения энергетических параметров, которые позволили обосновать эффективные технологии их достижения.

В рамках модели формирования энергетического состояния металлических субстратов и барьерной модели образования ювенильных поверхностей, разработанных в работах Лиопо В.А., Авдейчика С.В., и сотр., показана целесообразность формирования специфического рельефа поверхностного слоя, включающего компоненты наноразмерного диапазона. Наличие такого нанорельефа обуславливает энергетическое состояние подслоя, которое позволит управлять параметрами структуры многослойного композиционного покрытия и материалов на основе высокомолекулярных матриц.

При использовании барьерной модели установлены принципиальные направления реализации особенностей кристаллохимического строения и состава кремнийсодержащих полуфабрикатов при создании активных частиц модификаторов, проявляющих характерные признаки наносостояния. Установлены факторы, влияющие на наносостояние дисперсных частиц, предложены эффективные направления активации функциональных наполнителей и модификаторов высокомолекулярных матриц. Обоснована целесообразность использования технологии совместного механоактивирования компонентов для реализации межфазных взаимодействий заданной интенсивности.

Проведенные модельные исследования позволили обосновать критерии выбора компонентов для модифицирования высокомолекулярных матриц на различных структурных уровнях композита.

Четвертая глава диссертационной работы посвящена исследованию особенностей структуры, морфологии и энергетического состояния дисперсных частиц и компонентов металлополимерных систем, подвергнутых различным видам энергетических воздействий.

Используемые в материаловедении композиционных материалов на основе полимерных, олигомерных и совмещенных матриц дисперсные модификаторы, различаются не только по составу, кристаллохимическому строению и геометрическим размерам (дисперсности), но и энергетическому состоянию, которое определяет их активность в процессах межфазных взаимодействий. Рассмотрено влияние распространенных видов технологических воздействий – термического, лазерного, механохимического, ультразвукового на параметры морфологии и энергетического состояния дисперсных частиц и покрытий, полученных из природных и синтетиче-

ских полуфабрикатов – глин, кремня, шунгита, трепела, фрагментов УВ, полиамида 6, политетрафторэтилена (ПТФЭ), полиолефинов (ПЭНД, ПП, СЭВА), полиэфира (ПЭТФ) и др.

Анализ морфологии поверхностного слоя, единичных частиц, полученных при использовании различных технологических воздействий и геохимических факторов, свидетельствует о наличии наноразмерных элементов сферического, висцерного и пластинчатого габитуса (рисунок 1).

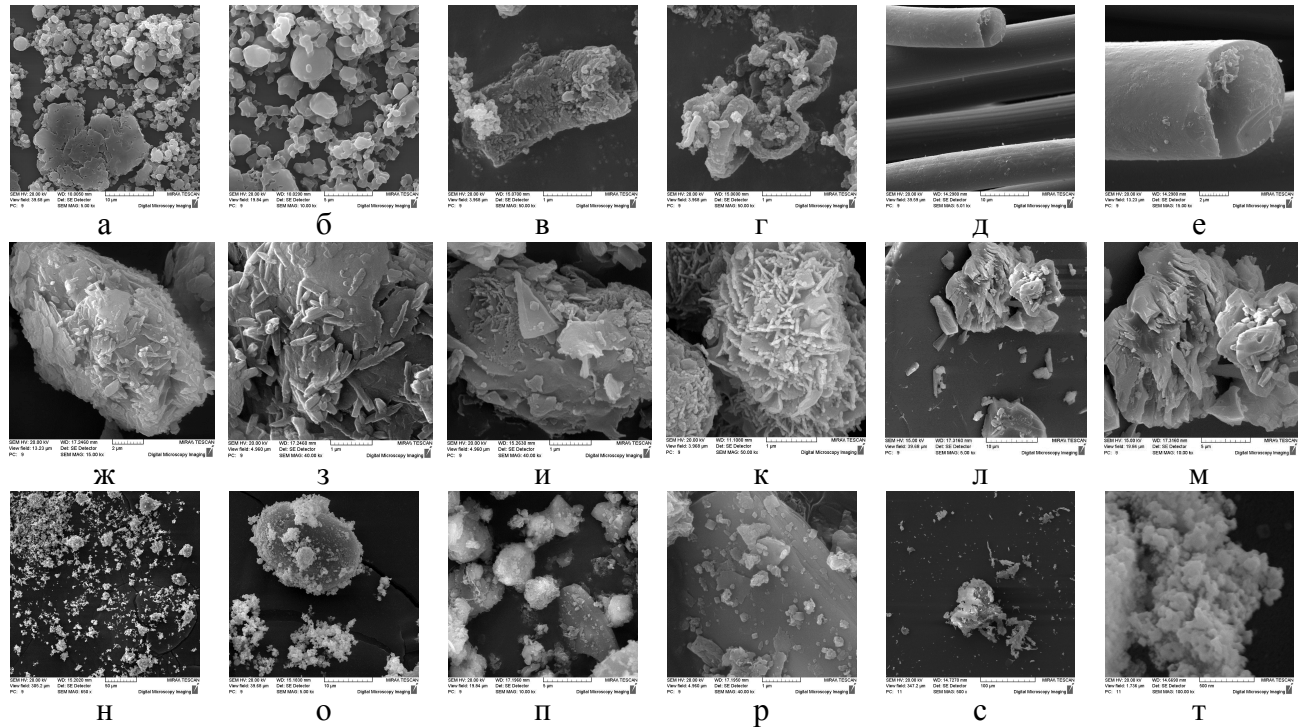
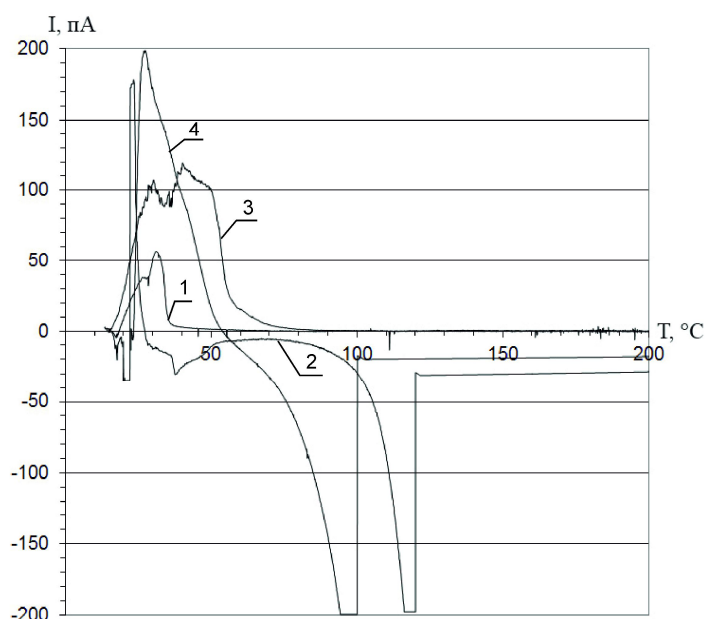


Рисунок 1. – Характерная морфология дисперсных модификаторов полимерных матриц: ультрадисперсного политетрафторэтилена (а, б), углеродных нанотрубок (в, г), углеродных волокон (д, е), глин (ж, з), трепела (и, к), стекла (л, м), продуктов металлургического производства (н, о), шунгита (п, р), криогенно измельченного ПА 6 (с, т)

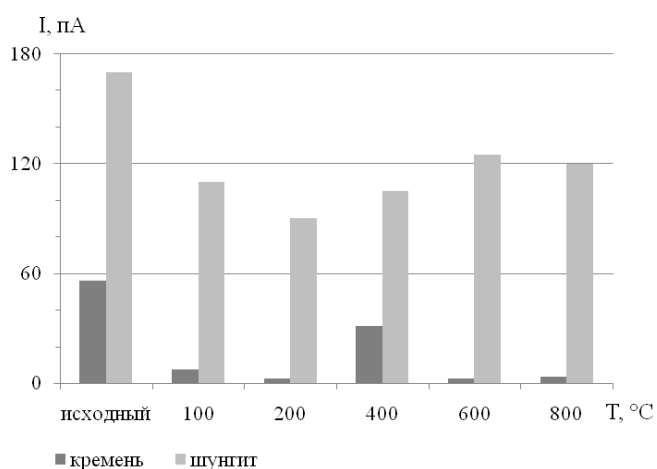
Наличие таких наноразмерных элементов в соответствии с современными представлениями физики конденсированного состояния и квантовой физики, развитыми в работах Суздалева И.П., Кобаяси Н., Гусева А.И., Ајауан Р.М., Анищика В.М., Лиопо В.А., Трефилова В.И. и сотрудников, обуславливает особое энергетического состояния поверхностного слоя, характеризуемое понятием «наносостояние». Очевидно, что кинетика и механизмы межфазных процессов в высокомолекулярных матрицах, модифицированных активными частицами, зависят от параметров энергетического состояния и его влияния на структуру граничных слоев при воздействии технологических факторов формирования композита. Анализ энергетического состояния дисперсных частиц различного состава, технологической предыстории и строения по критерию величины термостимулированных токов (ТСТ) свидетельствует о наличии предпосылок воздействия на структуру граничных слоев, определяемых температурой (рисунок 2), при которой проявляется эффект «наносостояния», обусловленный наличием наноразмерных элементов на поверхности модификатора.



Дисперсность частиц 100 – 200 мкм

Рисунок 2. – Спектры термостимулированных токов дисперсных частиц кремния (1), шунгита (2), трепела (3), углеродных нанотрубок (4)

Характерной особенностью энергетического воздействия является изменение исходной морфологии поверхностного слоя дисперсных частиц.



Дисперсность частиц 50-100 мкм

Рисунок 3. – Зависимость величины максимального термостимулированного тока I_{\max} от температуры обработки дисперсных частиц: кремня, шунгита

Углеродные частицы (углеродные нанотрубки, углеродные волокна) обладают поверхностным слоем, сформированным из глобулярных фрагментов и достаточно высокой дефектностью. Силикатсодержащие частицы (кремь, стекло, трепел, глина) практически не изменяют исходные параметры шероховатости после термической обработки.

Воздействие концентрированным потоком лазерного излучения позволяет получить частицы с развитым рельефом как при использовании полимерных орга-

Другим фактором, определяющим активность частицы, является интенсивность энергетического воздействия (теплового, механического, лазерного, ионизирующего и др.) на полуфабрикат или субстрат, которая определяет механизмы десорбции, дегидратации, дегидроксиляции, окисления, деструкции и др. процессов, изменяющих концентрацию носителей заряда различного типа. Например, при предварительной термообработке частиц распространенных модификаторов полимерных матриц шунгита и кремня в диапазоне температур 100–800 °C существенно изменяется значение параметра термостимулированного тока I , пА (рисунок 3).

Анализ морфологии поверхностного слоя дисперсных частиц, полученных диспергированием различных полуфабрикатов путем энергетического воздействия различного вида (термического, механического, лазерного), свидетельствует о наличии характерных признаков, обуславливающих активность в межфазных взаимодействиях. Для природных углеродсодержащих полуфабрикатов (окисленный графит, шунгит) характерно образование относительно гладкого поверхностного слоя с наноразмерной шероховатостью. Синтетические углерод-

нических (ПТФЭ, ПЭНД, ПЭТФ), так и углеродсодержащих (УВ, шунгит, электродный графит) и кремнийсодержащих (кремний, стекло) полуфабрикатов. При этом установлено влияние вида энергетического воздействия на энергетическое состояние дисперсных частиц. Энергетические параметры, характеризующие величину термостимулированных токов, при объемном термическом воздействии снижаются (рисунок 3), а при концентрированном (локальном) воздействии увеличиваются. Данный фактор свидетельствует о необходимости при обосновании технологических режимов изготовления композиционных материалов и их переработки в изделия учета фактора морфологии и энергетического состояния для оптимизации условий интенсивного межфазного взаимодействия компонентов на различных структурных уровнях. Установлены общие закономерности формирования активного состояния дисперсных частиц модификаторов, которые обусловлены сочетанием кристаллохимических предпосылок и морфологии поверхностного слоя. Выбор вида активирующего энергетического воздействия зависит не только от особенностей состава и строения модификатора, но и от проявления наиболее эффективного действия непосредственно в процессе формирования композиционного материала (изделия) при заданных параметрах воздействия технологических факторов. Поэтому оптимальным модифицирующим действием обладают компоненты с развитой морфологией поверхностного слоя, у которых энергетические параметры зависят не только от структуры, но и от геометрических размеров, обуславливающих возможность реализации наносостояния.

В пятой главе диссертационной работы рассмотрены прикладные аспекты использования экспериментальных исследований при разработке составов и технологии композиционных материалов на основе полимерных, олигомерных и совмещенных матриц для металлополимерных систем с повышенным эксплуатационным ресурсом.

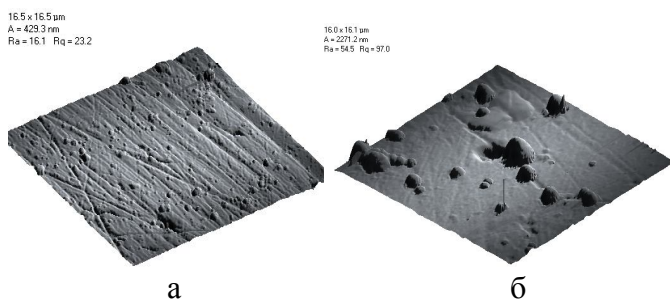


Рисунок 4. – Характерная морфология пленок, осажденных из активной газовой фазы в вакууме: алмазоподобной (а), AlTiN (б)

технологией получения (рисунок 4 а, б).

Установленные морфологические и энергетические закономерности тонких пленок позволили определить направления их эффективного применения в качестве подслоев при получении многослойных покрытий металлообрабатывающего инструмента, антиразгарных покрытий, триботехнических покрытий для тяжело-

Для анализа перспективности использования в качестве основы многослойных покрытий исследованы особенности структуры, морфологии и энергетического состояния пленок, осажденных из активной газовой фазы (алмазоподобных, TiN, TiCN, TiAlN). Установлены характерные структурные признаки конденсированных пленок, обусловленные техно-

нагруженных узлов трения автокомпонентов и прецизионной технологической оснастки (рисунки 4, 5).

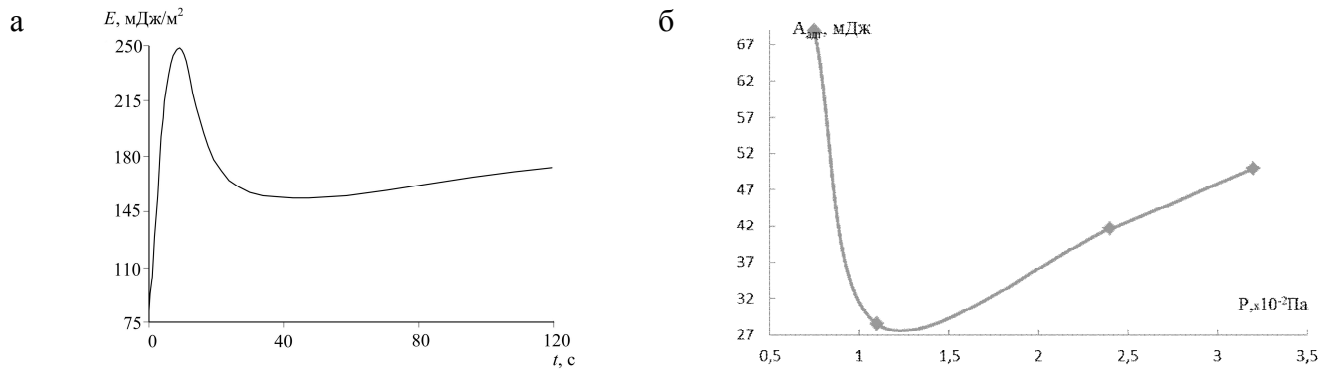
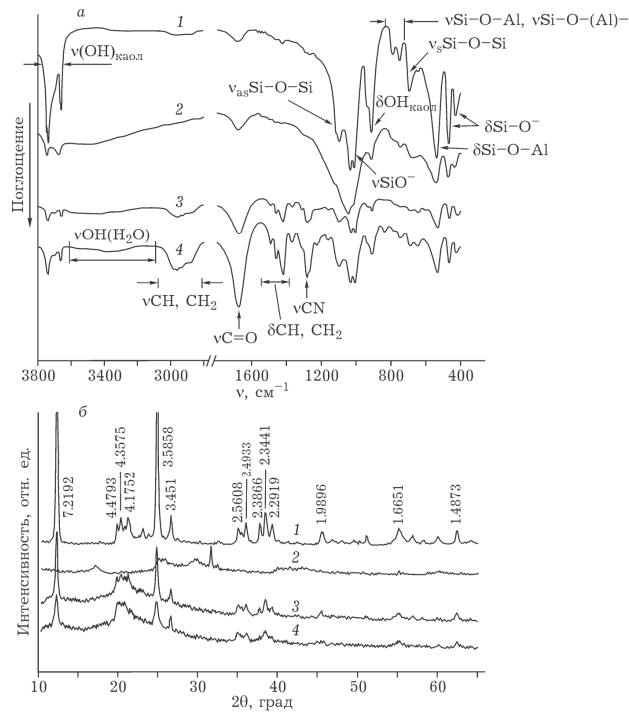


Рисунок 5. – Энергетические параметры пленок, осажденных из активной газовой фазы: алмазоподобной (а), TiAlN (б)

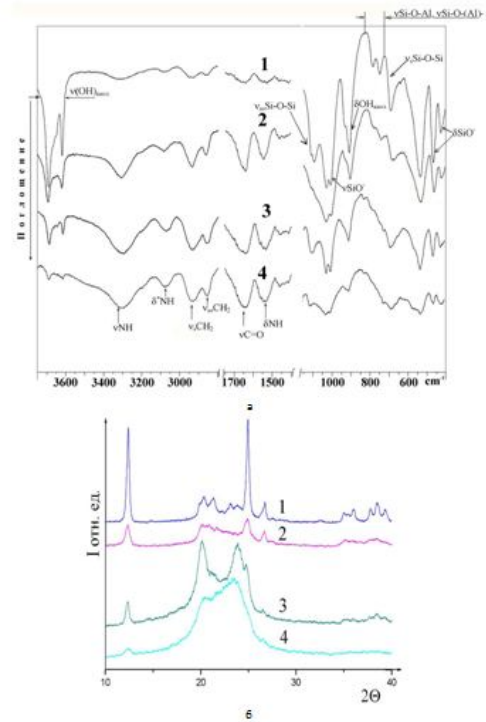
Классические представления механохимии конденсированных сред, развитые в работах проф. Болдырева В.В., Ляхова Н.З., Барамбойма Н.К., Ловшенко Ф.Г. и сотрудников, а также исследования в области трибохимии металлополимерных систем, выполненные проф. Струком В.А. и сотрудниками, позволили обосновать целесообразность использования технологии совместной механоактивации для подготовки компонентов функциональных материалов на основе термопластичных матриц (ПА 6, ПЭНД, ПП, СЭВА, ПТФЭ).

Модельные исследования эффективности механохимического активирования (МА) смесей компонентов были проведены на дисперсных порошках термопластичных полимеров различного состава, строения, кристалличности и гигроскопичности (севилен, полипропилен, полиамид 6, поли-N-винилпирролидон ПВП) и кремнийсодержащих модификаторах, нашедших широкое применение в материаловедении полимерных композитов, в т.ч. наноматериалов (каолинит, кремень, SiO₂). Обработку смеси компонентов проводили в высокоэнергетической мельнице ударного типа АГО-2 при действии ускорения в диапазоне значений 20 – 60 g в течение 1 – 4 мин. Методом ИК-спектроскопии и рентгеноструктурного анализа (рисунки 6, 7) установлено, что при совместной активации СЭВА, ПВП и каолинита осуществляется взаимодействие за счет неподеленной пары электронов полимера и активных центров кислотного характера на ювенильных поверхностях каолинита.

Аналогичные результаты получены и при совместной МА других смесей – ПЭНД, ПП, ПТФЭ с кремнийсодержащими и углеродсодержащими компонентами (кремень, SiO₂, УВ), что свидетельствует об общности механизмов межфазного взаимодействия активных фрагментов, образующихся вследствие действия механических напряжений, приводящих к разрушению исходной структуры и образованию активных фрагментов, способных в рекомбинации. Проведенные исследования позволили обосновать целесообразность применения энергетических воздействий различного вида при создании композиционных материалов и многослойных систем для использования в технологии функциональных композитов.



Содержание полимера в смеси 30 масс. % (1, 2) и 80 масс. % (3, 4)
Рисунок 6. – ИК-спектры (а) и дифрактограммы (б) смесей каолинита с ПВП до (1, 3) и после механоактивирования в течение 4 мин (2, 4)



Содержание полимера в смеси 30 масс. % (1, 2) и 80 масс. % (3, 4)
Рисунок 7. – ИК-спектры (а) и дифрактограммы (б) смесей каолинита с полиамидом 6 до (1, 3) и после механоактивирования в течение 4 мин (2, 4)

Для разработки композиционных материалов для нанесения триботехнических покрытий использовали полимерные термопластичные матрицы, выпускаемые многотоннажно, в т.ч. отечественными производителями – ПА 6, ПЭНД, ПП. Модифицирование матричных полимеров функциональными компонентами (трепел, кремь, каолин, УПТФЭ, ПЭНД) осуществляли методом механохимического активирования (МА) с последующим измельчением при криогенных температурах ($-198\text{ }^{\circ}\text{C}$). Покрытия формировали методом псевдооживленного слоя с применением оригинальных установок ГНУ ИММС им. В.А. Белого НАН Беларуси. Сравнительные исследования (таблица 1) свидетельствуют о том, что разработанные составы для триботехнических покрытий не только не уступают импортному аналогу ПА 11 («Rilsan», Франция), но и существенно его превосходят по износостойкости. При этом разработанные на основе отечественного полиамида 6 (ОАО «Гродно Азот») составы композиционных материалов имеют стоимость в 3 – 5 раз более низкую, чем импортный аналог.

Разработаны составы и технология многослойных покрытий на основе твердых и высокотвердых подложек, формируемых осаждением из активной газовой фазы. Для оптимизации параметров деформационно-прочностных характеристик подслоев из алмазоподобного углерода (АПП) и соединений титана (TiCN , TiAlN) предложена обработка сверхвысокочастотным излучением (СВЧ) с длиной волны $\lambda=12,25\text{ см}$, частотой 2450 МГц. На подслои с повышенными пара-

метрами твердости наносили методом окунания и натирания (ротационный метод) слои фторсодержащих олигомеров («Фолеокс») и полимер-олигомерных продуктов термогазодинамического синтеза (УПТФЭ). Композиционные многослойные покрытия с активированными компонентами на основе АПП, TiCN, TiAlN эффективны для применения в качестве противоизносных и антиразгарных в конструкциях узлов трения прецизионной технологической оснастки (токарных патронов) и литьевых форм для изготовления изделий из цветных металлов, выпускаемых на УП «Цветлит».

Таблица 1 – Характеристики композиционных материалов для триботехнических покрытий (заявка на получение патента № а 20121816)

Характеристика	Параметр для материала		
	ПА 11 «Rilsan», Франция	ПА 6, ОАО «Гродно Азот»	Разработанный состав
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа, не менее	43	50	67-78
Адгезионная прочность, см, не менее	20	15	27-32
Твердость по Бринеллю, МПа	90	100	89-94
Коэффициент трения	0,05-0,2	0,15-0,25	0,10-0,15

Разработаны составы многослойных композиционных покрытий на основе соединений титана (TiN, TiCN, TiAlN) и фторсодержащих олигомеров для нанесения на металлообрабатывающий инструмент (сверла, метчики, фрезы, протяжки и др.), применяемый при производстве автокомпонентов, токарных патронов и горнодобывающего оборудования на ОАО «Белкард», ОАО «БелТАПАЗ», ЗАО «СИПР с ОП».

Активность дисперсных частиц, подвергнутых энергетическим воздействиям, проявляющаяся в развитой морфологии поверхностного слоя и наличии нескомпенсированного заряда с большим временем релаксации, позволила разработать эффективные составы смазочных масел и пластичных смазок для тяжело нагруженных узлов трения на основе промышленных продуктов (МС-20, И-5, ЦИАТИМ-201, Литол-24, Итмол). Разработаны составы смазочных масел, гидравлических жидкостей и пластичных смазок для применения в конструкциях автокомпонентов (тормозных камер, карданных валов) и токарных патронов для металлообрабатывающего оборудования. Введение в базовый состав наноразмерных продуктов, полученных лазерной или термической абляцией ПТФЭ в сочетании с активированными силикатсодержащими частицами (SiO₂, кремень) позволяет стабилизировать вязкость амортизирующей жидкости на основе минеральных масел в диапазоне температур 25–80 °С, увеличивает стойкость к заеданию узла привода токарного патрона в 1,5–2,0 раза и ресурс игольчатого подшипника крестовины карданного вала грузовых автомобилей МАЗ, БелАЗ, КАМАЗ. Разработанные составы прошли апробирование на

ведущих предприятиях Гродненского региона (ОАО «Белкард», ОАО «БелТА-ПАЗ») и рекомендованы к внедрению.

На разработанные составы композиционных материалов и смазочных сред разработана нормативная техническая документация, регламентирующая применение их в узлах трения, конструкциях автокомпонентов и ленточных конвейеров (технические условия ТУ ВУ 500013879.001-2011, ТУ ВУ 500013879.003-2012). Расчетный эффект от применения импортозамещающих покрытий на основе полиамида 6, модифицированного активированными компонентами, составляет не менее 350 тысяч рублей на карданный вал. В 2012–2013 гг. в рамках выполнения проекта «Разработка импортозамещающего состава и технологии композиционных материалов для шлицевых соединений карданных валов и выпуск опытно-промышленной партии втулок с покрытием» для ОАО «Белкард» изготовлена опытная партия комплектующих элементов с покрытиями в количестве 4000 штук.

На ЗАО «СИПР с ОП» изготовлена опытная партия ленточных конвейеров с металлополимерными опорными роликами, в конструкции которых использованы композиционные материалы на основе регенерированных полиолефинов и активных дисперсных модификаторов. Производство опытной партии трубных заготовок для изготовления металлополимерных роликов организовано на ОАО «Белвторполимер».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

Проведены системные исследования влияния вида технологического воздействия на параметры морфологии, геометрических характеристик и энергетического состояния дисперсных частиц и тонких пленок из органических и неорганических углеродсодержащих, кремнийсодержащих и азотсодержащих полуфабрикатов. Обоснован выбор технологии активации компонентов функциональных материалов и металлополимерных систем, обеспечивающий эффективное межфазное взаимодействие и достижение оптимальных параметров деформационно-прочностных, триботехнических, адгезионных и защитных характеристик изделий и покрытий, применяемых при создании конструкций автокомпонентов, технологической оснастки, ленточных конвейеров, запорной и регулирующей арматуры для предприятий химической, перерабатывающей промышленности и машиностроения [1–26].

1. Установлен механизм межфазных взаимодействий при совместной механической активации дисперсных частиц термопластичных полимеров (ПА 6, ПП, СЭВА, ПТФЭ) и силикатсодержащих модификаторов комплексным воздействием механических напряжений (МА), состоящий в образовании хемосорбционных связей по месту активных центров полимерных радикалов и поверхностного слоя силикатсодержащей частицы (каолинит, оксид кремния, кремень). Установлена возможность механохимических взаимодействий дисперсных частиц слоистых силикатов, органических кислот или их солей (янтарной, бензойной, стеаратами и бензоатом

натрия и др.) при проведении МА с образованием слоистых композитов, в которых природный силикат является носителем привитого органического компонента. Показана целесообразность применения механоактивированных компонентов для получения композиционных материалов с повышенными параметрами служебных характеристик [7; 8].

2. Установлены основные факторы, определяющие энергетическое состояние дисперсных частиц и компонентов металлополимерных систем различного состава и функционального назначения. Исследованы особенности морфологии и энергетического состояния дисперсных частиц углеродсодержащих и кремнийсодержащих полуфабрикатов (шунгит, трепел, кремень, электродный графит, политетрафторэтилен, полиэтилен и др.), полученных при технологических воздействиях с различной энергией. Установлен факт образования преобладающей формы и активного состояния дисперсных частиц, обусловленного протеканием процесса разрушения кристаллохимической решетки или молекулярной структуры, который приводит к локализации носителей заряда в поверхностных слоях частицы с развитым строением и повышению ее способности к адсорбционному взаимодействию с полимерными, олигомерными матрицами и фрагментами их деструкции, образующимися при воздействии энергетических факторов (тепловых, лазерных, механических) [4; 7; 8; 12–13; 18].

3. Исследованы процессы формирования многослойных покрытий при нанесении на подслои, полученный осаждением из активной газовой фазы соединений углерода (АПП) и титана (TiN, TiCN, TiAlN), фторсодержащих олигомерных или полимер-олигомерных покрытий. Показана возможность управления структурными параметрами композиционных покрытий путем энергетического воздействия на подслои СВЧ-излучением с длиной волны $\lambda=12,25$ см, мощностью 2500 Вт, частотой 2450 МГц в течение 0–120 с, которое приводит к изменению его энергетического состояния, структуры и деформационно-прочностных характеристик и обеспечивает формирование многослойной структуры с повышенной износостойкостью и разгаростойкостью [5; 9; 17; 20; 21].

4. Разработаны составы смазочных масел, гидравлических жидкостей и пластичных смазок с регулируемыми параметрами реологических и триботехнических характеристик. Установлено, что при введении в состав смазочной основы дисперсных модификаторов, активированных термическим, лазерным или механическим воздействием, образуются зарядовые кластеры, увеличивающие стабильность реологических характеристик в диапазоне температур 30–80 °С, нагрузочную способность и теплостойкость граничного слоя в зоне фрикционного контакта при удельных нагрузках 1–10 МПа и скоростью скольжения 0,1–1 м/с [11; 14; 16].

5. Разработаны составы и технология получения дисперсных композиционных материалов на основе термопластичных матриц (ПА 6, ПТФЭ) путем совместной механоактивации компонентов в диапазоне ускорений 20 – 60g с последующим диспергированием продуктов механохимического взаимодействия при криогенных температурах (-150 ÷ -198 °С) и формированием изделий или покрытий по техноло-

гии псевдооживленного слоя или прессования. Дисперсные продукты механохимических взаимодействий формируют композиты с параметрами деформационно-прочностных и трибохимических характеристик в 1,1–1,3 раза, превосходящими параметры аналогов [1–3; 10; 19].

Результаты научных исследований использованы в 5 заявках на получение патентов РБ на изобретение [22–26]. Получено 1 решение о выдаче патента РБ на изобретение.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Дисперсные частицы с развитой морфологией поверхностного слоя и повышенной активностью, полученные диспергированием углеродсодержащих и кремнийсодержащих полуфабрикатов (шунгит, кремень, электротехнический графит, ПТФЭ, силикатное стекло) с использованием технологий механического, температурного или лазерного воздействий, эффективны для использования в качестве модификаторов термопластичных матриц (ПА 6, ПЭНД, ПП, ПТФЭ), смазочных материалов и гидравлических жидкостей с целью повышения параметров деформационно-прочностных и триботехнических характеристик и стабилизации реологических характеристик в диапазоне температур эксплуатации 30–80 °С.

При модифицировании регенерированных матриц (ПП, ПЭНД) достигаются параметры, близкие к параметрам первичных материалов, что позволяет использовать эти композиты в качестве экономически и технологически целесообразной альтернативы при изготовлении защитных кожухов карданных валов сельскохозяйственной техники (ОАО «Белкард») и ленточных конвейеров, используемых на предприятиях химической, перерабатывающей и горной промышленности (ЗАО «СИПР с ОП»).

Изготовлены опытные партии ленточных конвейеров с опорными металлополимерными роликами и партия карданных валов сельскохозяйственного оборудования с защитными элементами на основе композиционных материалов, содержащих регенерированные полиолефины (ПП, ПЭНД, ПЭВД) и активные дисперсные модификаторы.

Композиционные покрытия на основе твердых и сверхтвердых подслоев (TiN, TiCN, TiAlN, АПП) и фторсодержащих олигомеров обеспечивает увеличение в 1,3–1,5 раза ресурс металлообрабатывающего инструмента (ОАО «Белкард», ЗАО «СИПР с ОП») и технологической оснастки, применяемой для литья под давлением цветных металлов и сплавов (алюминий, латунь) на УП «Цветлит».

Триботехнические покрытия на основе механоактивированных продуктов полиамида 6 (ПА 6), силикатных и олигомерных модификаторов (шунгит, каолинит, УПТФЭ), по параметрам износостойкости превосходят импортный аналог ПА 11 («Rilsan»), являются его полноценной альтернативой при изготовлении конструктивных элементов (втулок с покрытием) карданных валов, производимых ОАО «Белкард». Расчетный экономический эффект от выпуска опытной партии карданных валов в количестве 4000 шт. составляет 1 438 729 400 руб. Для практического применения разработанных составов композиционных материалов, технологий ак-

тивирования компонентов в конструкциях запорной и регулирующей арматуры, автокомпонентов, ленточных конвейеров разработана и утверждена нормативная техническая документация (ТУ, ТР), регламентирующая технические параметры качества продукции, режима переработки композитов и условия использования изделий.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Монографии

1. Механизмы формирования структуры нанокomпозиционных материалов на основе полимерных и олигомерных матриц. Методы формирования противоизносных слоев на рабочих поверхностях элементов трибосистем / Е. И. Эйсымонт [и др.]. // Прогрессивные машиностроительные технологии: в 5 т. / С. В. Авдейчик [и др.]; под ред. А. В. Киричека. – М.: Изд. дом «Спектр», 2012. – Т. II. – 336 с. – Раздел 4, 6. – С. 159–248; 290–330.

2. Нанокomпозиционные плазмохимические покрытия / Е. И. Эйсымонт [и др.] // Прогрессивные машиностроительные технологии, оборудование и инструменты: в 5 т./ И. П. Акула [и др.]; под ред. А. В. Киричека. – М.: Изд. дом «Спектр», 2014. – Том IV– 432 с. – Раздел 8. – С. 369–429.

3. Композиционные силикатсодержащие полимерные материалы / Е. И. Эйсымонт [и др.] // Прогрессивные машиностроительные технологии, оборудование и инструменты: в 5 т. / А. С. Верещагин [и др.]; под ред. А. В. Киричека. – М.: Изд. дом «Спектр», 2015. – Том V. – 464 с. – Раздел 1. – С. 33–144.

Статьи

4. Структурно-морфологические особенности покрытий на базе соединений Al–Ti–N / Е. В. Овчинников, Н. М. Чекан, В. В. Посылкин, Е. И. Эйсымонт, К. В. Кравченко, А. Г. Шагойка [и др.] // Веснік ГрДУ, Сер. 6. – 2012. – № 2 (133). – С. 18–23.

5. Особенности структуры нанокomпозиционных механоактивированных кремнийсодержащих частиц / Н. З. Ляхов, Е. В. Овчинников, Т. Ф. Григорьева, Е. И. Эйсымонт // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. 6. Тэхніка. – 2012. – № 3(137). – С. 32–40.

6. Эйсымонт, Е.И. Зарядовая активность механоактивированных частиц неорганических веществ / Е. И. Эйсымонт, Е. В. Овчинников, Т. Ф. Григорьева // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. 6. Тэхніка. – 2012. – № 4 (141). – С.101–112.

7. Энергетические характеристики покрытий на базе соединений AlTiN / Е. В. Овчинников, Н. М. Чекан, В. В. Посылкин, Е. И. Эйсымонт, А. Г. Шагойка, К. В. Кравченко // Веснік ГрДУ, Сер. 6. Тэхніка.– 2013. – № 1 (145). – С. 75–85.

8. Влияние электромагнитного излучения на служебные характеристики нанокomпозиционных полимерных материалов / Е. В. Овчинников, В. А. Лиопо, В.

А. Струк, Т. Ф. Григорьева, Е. И. Эйсымонт, Т. А. Удалова, Д. А. Прушак, А. С. Прушак // Веснік ГрДУ, сер. 6. Тэхніка.– 2014. – № 1 (169). – С. 20–33.

9. Структурно-морфологические трансформации алмазоподобных покрытий, подвергнутых энергетическому воздействию / Е. В. Овчинников, Н. М. Чекан, В. А. Струк, Е. И. Эйсымонт, Н. В. Малай // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2014. – № 9. – С.58–65.

10. Низкоразмерные модификаторы для консистентных литиевых смазок / Е. В. Овчинников, В. А. Лиопо, В. А. Струк, Л. Н. Дьячкова, Е. И. Эйсымонт, С. Н. Голушко // Горная механика и машиностроение. – 2015. – № 1. – С. 91–103.

11. Физические модели формирования особоактивного состояния дисперсных частиц минеральных модификаторов / Ж. С. Авлиекулов, А. А. Рискулов, А. А. Абдуразаков, Е. И. Эйсымонт, С. В. Авдейчик, Е. В. Овчинников // Вестник ТАДИ. – 2015. - № 1. – С. 7 – 12.

Материалы научных конференций

12. Дисперсные модификаторы полимерных матриц. Ч.1 Морфология и зарядовое состояние дисперсных частиц / Н. А. Антанович, Е. И. Эйсымонт, А. В. Чекель, В. А. Струк // Машиностроение и техносфера XXI века: сб. трудов XVII междунар. науч.-техн. конф., Севастополь, 13–18 сент. 2010 г.: в 4 т. / ДонНТУ, редкол.: А. Н. Михайлов [и др.]. – Донецк: ДонНТУ, 2010. - Т. 1. – С. 31–40.

13. Дисперсные модификаторы полимерных матриц. Ч.2 Фазовые и структурные превращения дисперсных частиц шунгита при термической обработке / Н. А. Антанович, Е. И. Эйсымонт, А. В. Чекель, В. А. Струк // Машиностроение и техносфера XXI века: сб. трудов XVII междунар. науч.-техн. конф., Севастополь, 13–18 сент. 2010 г. : в 4 т. / ДонНТУ, редкол.: А. Н. Михайлов [и др.]. – Донецк: ДонНТУ, 2010.- Т. 1. – С. 40–46.

14. Механоактивированные модификаторы для смазочных материалов / В. А. Струк, Н. З. Ляхов, Е. В. Овчинников, Т. Ф. Григорьева, В. И. Кравченко, Е. И. Эйсымонт // Композиционные материалы в промышленности: материалы 31 междунар. конф., Ялта, 6–10 июня 2011 г. / УИЦ «Наука. Техника. Технология»; под ред. З. Ю. Главацкой. - Киев, 2011. – С. 400–403.

15. Нанокompозиционные покрытия на базе соединений AlTiN / Е. В. Овчинников, Н. М. Чекан, В. В. Посылкин, Е. И. Эйсымонт, К. В. Кравченко, А. Г. Шагойка // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка : материалы X междунар. науч.-техн. конф., Минск, 12–14 сент. 2012 г. / Нац. акад. наук Беларуси [и др.]; редкол.: П. А. Витязь (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Беларус. навука, 2012. – С. 281–284.

16. Реологические характеристики пластичных смазок, модифицированных низкоразмерными частицами / Е. В. Овчинников, В. А. Струк, Т. Ф. Григорьева, П. С. Слостенов, А. Н. Лесун, Е. И. Эйсымонт, В. И. Кравченко // Материалы. Мето-

ды. Технологии: материалы XIII междунар. конф., п. Плавья, Карпаты, 18–22 февр. 2013 г. / УИЦ «Наука. Техника. Технология»; под ред. З. Ю. Главацкой. – Киев, 2013. – С. 12–16.

17. Наноструктурированные плазмохимические покрытия AlTiN / Е. В. Овчинников, Н. М. Чекан, И. П. Акула, Е. И. Эйсымонт, А. Г. Шагойка, К. В. Кравченко // *Материалы. Методы. Технологии: материалы XIII междунар. конф., п. Плавья, Карпаты, 18–22 февр. 2013 г. / УИЦ «Наука. Техника. Технология»; под ред. З. Ю. Главацкой. – Киев, 2013. – С. 16–19.*

18. Physical principles of nanoscale criterion selection for disperse particles / V. Liopo, V. Struk, S. Avdeychik, Y. Eisyumont // *Technology Transfer and Innovations: Conference Proceedings of 2nd Annual Conference & Networking, Prague, October 29-30, 2013, / Prague Development Center. –Prague, 2013. – Vol. 2, Iss. 2. –P. 74–83.*

19. Композиционные плазмохимические покрытия на базе соединений AlTiN / Е. В. Овчинников, Н. М. Чекан, Г. А. Костюкович, Е. И. Эйсымонт, И. П. Акула, А. С. Прушак, Д. А. Прушак // *Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка: материалы XI междунар. науч.-техн. конф., Минск, 28–30 мая 2014 г. / Нац. акад. наук Беларуси [и др.]; редкол.: А. Ф. Ильющенко (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Беларус. навука, 2014. – С. 350–354.*

Тезисы докладов

20. Adhesive activity AlTiN layers based on forming polymer coatings / Y. Auchynnikau, N. Chekan, E. Ejsimont, I. Akula, V. Stuk // *The proceedings of the Austrian-Slovenian Polymer Meeting 2013/ Austrian-Slovenian Polymer Meeting-ASPM 2013, Bled, Slovenia, 3–5 April 2013 ; / Centre of Excellence PoliMaT; editors M. Žigon, T. Rajšp. – Ljubljana: Centre of Excellence PoliMaT, 2013. – P. 256–257.*

21. Овчинников, Е.В. Плазмохимические покрытия для литейной оснастки / Е.В. Овчинников, Н.М. Чекан, Е.И. Эйсымонт // *XXII Всероссийское совещание по неорганическим и органосиликатным покрытиям: тез. докл., Санкт-Петербург, 17–19 ноября 2014 г. / под ред. акад. В. Я. Шевченко. – СПб.: ООО «Издательство «ЛЕМА»», 2014. – С. 138–140.*

Заявки на изобретения

22. Композиционный материал для покрытий и способ формирования покрытий из него : заявка а 20111193 Респ. Беларусь : МПК С 09D 177/02, В 82В 1/00 / В. А. Струк, Е. В. Овчинников, В. А. Лиопо, Л. В. Михайлова, Е. И. Эйсымонт; дата публ. 30.04.2013.

23. Композиционное многослойное покрытие : заявка а 20120737 Респ. Беларусь : МПК С 23С 14/06 / Е. В. Овчинников, В. А. Струк, С. В. Авдейчик, Г. А. Костюкович, В. И. Кравченко, Н. М. Чекан, Е. И. Эйсымонт; дата публ. 30.12.2013.

24. Пластичная смазка : заявка а 20121815 : МПК С 10М 169/06 / В. А. Струк, С. В. Авдейчик, Е. В. Овчинников, Е. И. Эйсымонт, В. И. Кравченко; дата публ. 30.08.2014.

25. Композиционный материал для покрытий и способ формирования покрытия из него : заявка а 20121816 : МПК С 09D 177/02 / В. А. Струк, Е. В. Овчинников, Е. И. Эйсымонт, Т. Ф. Григорьева, Н. З. Ляхов; дата публ. 30.08.2014.

26. Смазочная композиция для тяжело нагруженных узлов трения : заявка а 20121817 : МПК С 10М 161/00 / В. А. Струк, Е. В. Овчинников, Е. И. Эйсымонт, Г. А. Костюкович, С. В. Авдейчик; дата публ. 30.08.2014.

РЭЗІЮМЭ

Эйсымонт Яўгенія Іванаўна

Тэрмапластычныя кампазіты з павышанымі параметрамі эксплуатацыйных характарыстык, атрыманыя накіраванымі энергетычнымі ўздзеяннямі

Ключавыя словы: дысперсныя часцінкі, энергетычны стан, тэхналогія ўздзеяння, механахімія, сумесная актывацыя, кампазіты.

Мэта работы: даследванне механізмаў змянення структуры і энергетычнага стану кампанентаў і матэрыялаў пры розных відах энергетычнага ўздзеяння.

Метады даследвання: ІЧ-спектраскапія, растрвая электронная, атамная сілавая, аптычная мікраскапія, ТСТ-аналіз, рэнтгенаструктурны аналіз, метады даследавання дэфармацыйна-трываласных, трыбатэхнічных, адгезійных, засцерагальных характарыстык.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. Даследаваны асаблівасці марфалогіі і энергетычнага стану дысперсных часцінак і тонкіх пакрыццяў з вугляродутрымліваючых і крэмнійутрымліваючых паўфабрыкатаў (шунгіт, крэмень, сілікатнае шкло, электродны графіт, ПТФЭ і інш.), атрыманых пры тэхналагічных уздзеяннях з рознай энергіяй (тэрмічнае, механічнае, лазернае). Устаноўлены факт утварэння пераважнай формы і актыўнага стану дысперсных часцінак, абумоўлены працяканнем працэса разбурэння крышталехімічнай рашоткі або малекулярнай структуры, які прыводзіць да лакалізацыі носьбітаў зараду ў паверхневых сляях часцінкі з развітай пабудовай паверхневага слою. Устаноўлены механізм міжфазных узаемадзеянняў пры сумеснай актывацыі сумясі дысперсных часцінак тэрмапластычных палімераў (ПА6, ПП, СЭВА, ПТФЭ) і сілікатутрымліваючых і вугляродутрымліваючых мадыфікатараў комплексным уздзеяннем механічных напружанняў (МА) па месцы актыўных цэнтраў палімерных радыкалаў і паверхневага слою часцінкі мадыфікатара з утварэннем кампазітаў.

Распрацаваны тэхналогіі актывацыі часцінак і слаеў функцыянальных кампанентаў для атрымання кампазітаў на аснове тэрмапластычных першасных і другасных матрыц (ПП, ПЭНЦ, ПЭВЦ, ПА6) і шматслойных пакрыццяў на аснове спалучэнняў вуглярода (АПП) і тытана (TiN, TiCN, TiAlN) з павышанымі параметрамі дэфармацыйна-трываласных і трыбатэхнічных характарыстык для прымянення пры вырабе дэталей металапалімерных вузлоў трэння і канструкцый.

Рэкамендацыі па выкарыстанні і вобласці прымянення. Распрацаваныя саставы кампазіцыйных матэрыялаў з актывіраванымі кампанентамі выкарыстаны для вырабу вопытных партый карданых валаў, такарных патронаў, запорнай арматуры, лентачных канвейераў на ААТ “Белкард”, УП “Цветліт”, ААТ “БелТАПАЗ”, ААТ “Белдрукпалімер”, ЗАТ “СІПР з ВВ”.

РЕЗЮМЕ

Эйсымонт Евгения Ивановна

Термопластичные композиты с повышенными параметрами эксплуатационных характеристик, полученные направленными энергетическими воздействиями

Ключевые слова: дисперсные частицы, энергетическое состояние, технология воздействия, механохимия, совместное активирование, композиты.

Цель работы: Исследование механизмов изменения структуры и энергетического состояния компонентов и материалов при различных видах энергетического воздействия.

Методы исследований: ИК-спектроскопия, растровая электронная, атомная силовая, оптическая микроскопия, ТСТ-анализ, рентгеноструктурный анализ, методы определения деформационно-прочностных, триботехнических, адгезионных, защитных характеристик.

Полученные результаты и их новизна. Исследованы особенности морфологии и энергетического состояния дисперсных частиц и тонких покрытий из углеродсодержащих и кремнийсодержащих полуфабрикатов (шунгит, кремьень, силикатное стекло, электродный графит, ПТФЭ и др.), полученных при технологическом воздействии с различной энергией (температурное, лазерное, механическое). Установлен факт образования преимущественной формы и активного состояния дисперсных частиц, обусловленный протеканием процесса разрушения кристаллической структуры, который приводит к локализации носителей заряда в поверхностных слоях частицы с развитым строением поверхностного слоя. Установлен механизм межфазных взаимодействий при совместной активации смеси дисперсных частиц термопластичных полимеров (ПА 6, ПП, СЭВА, ПТФЭ) и кремнийсодержащих и углеродсодержащих модификаторов комплексным воздействием механических напряжений по месту активных центров полимерных радикалов и поверхностного слоя частицы модификатора с образованием композитов. Разработаны технологии активации частиц и слоев функциональных компонентов для получения композитов на основе термопластичных первичных и регенерированных матриц (ПП, ПЭНД, ПЭВД, ПА 6) и многослойных покрытий на основе соединений углерода (АПП) и титана (TiN, TiCN, TiAlN) с повышенными параметрами деформационно-прочностных характеристик для применения при изготовлении деталей металлополимерных узлов и конструкций.

Рекомендации по использованию и область применения. Разработанные составы композиционных материалов с активированными компонентами использованы для изготовления опытных партий карданных валов, токарных патронов, запорной арматуры, ленточных конвейеров на ОАО «Белкард», УП «Цветлит», ОАО «БелТАПАЗ», ОАО «Белвторполимер», ЗАО «СиПР с ОП».

SUMMARY

Eisymont Yauhenija Ivanauna

Thermoplastic composites with increased operating characteristics parameters, obtained by using directed energy impacts

Keywords: dispersed particles, energy state, impact technology, mechanochemistry, co-activation, composites.

The work aim: To investigate the mechanisms of changes in the structure of the energy state of components and materials for different types of energy impact.

Research methods: IR-spectroscopy, scanning electron, atomic-force, optical microscopy, difference-thermal analysis, thermostimulated current analysis, X-ray diffraction analysis, research methods of deformation – strength, adhesive, tribotechnical and protective characteristics.

The obtained results and their novelty. There was studied features of the morphology and the energy state of the dispersed particles and thin layers of silicon and carbon-containing semi-finished products (shungite, flint, silica glass, graphite electrode, PTFE, etc.), obtained by the technological impact of different energy (thermal, laser, mechanical). Established the fact of the formation of the preferred form and the active state of disperse particles due to the occurrence of the destruction process of the crystal structure, which leads to the localization of the charge carriers in surface layers of the particles with a developed structure of surface layer. Established the mechanism of interfacial interactions in co-activation of a mixture of dispersed particles of thermoplastic polymers (PA 6, PP, EVA, PTFE) and silicon- and carbon-containing modifiers by complex influence of mechanical stress on the place of active centers of polymer radicals and the surface layer of the modifier particle with composites formation. Developed the technologies for the activation of the particles and layers of functional components for obtaining of composites based on thermoplastic primary and regenerated matrices (PP, HDPE, LDPE, PA 6) and multilayer coatings based on carbon (DLC) and titanium (TiN, TiCN, AlTiN) compounds with increased parameters deformation and strength characteristics for use in the manufacture of parts of metal-polymeric units and constructions.

The recommendation for the use and application sphere. The developed compositions of composite materials with activated components were used to manufacture pilot batches of driveshafts, lathe chucks, valves, conveyors in JSC "Belkard" UE "Zwetlit", JSC "BelTAPAZ", JSC "Belvtorpolimer", CJSC "SIPRS with EP".

Научное издание

Эйсымонт Евгения Ивановна

**ТЕРМОПЛАСТИЧНЫЕ КОМПОЗИТЫ С ПОВЫШЕННЫМИ
ПАРАМЕТРАМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК,
ПОЛУЧЕННЫЕ НАПРАВЛЕННЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ
ВОЗДЕЙСТВИЯМИ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.16.09 – материаловедение (химическая промышленность)

Ответственный за выпуск Е.И. Эйсымонт

Подписано в печать 30.09.2015. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 1,4. Уч.-изд. л. 1,0.
Тираж 60 экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение:
УО «Белорусский государственный технологический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/227 от 20.03.2014.
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.