

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
Государственный комитет по науке и технологиям Республики Беларусь
Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований
Президиум Гомельского филиала НАН Беларуси
Научно-технический совет при Гомельском облисполкоме
Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого
Белорусский государственный концерн по нефти и химии "Белнефтехим"

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ И ТРИБОЛОГИЯ
(ПОЛИКОМТРИБ-2011)

Гомель•Беларусь
27—30 июня 2011 г.
Тезисы докладов



ГОМЕЛЬ • 2011

УДК 620.22-419:678.01-621.891

ПОЛИКОМТРИБ-2011: Тезисы докладов международной научно-технической конференции — Гомель: ИММС НАНБ, 2011. — 262 с.

ISBN 978-985-6477-35-8

В сборнике представлены тезисы докладов участников международной научно-технической конференции **«Полимерные композиты и трибология»**, посвященные современным проблемам физики и физической химии полимерных композиционных материалов, эффективным технологиям получения полимерных композитов и изделий из них, оценки эксплуатационных свойств полимерных материалов и их применению в различных отраслях народного хозяйства, фундаментальным и прикладным проблемам современной трибологии, включая трибофизику, трибомеханику и трибоматериаловедение.

Редакционная коллегия: В.Н. Адриха, С.П. Богданович, С.Н. Бухаров, Е.Н. Волнянко, В.А. Гольдаде, П.Н. Гракович, А.Я. Григорьев, С.Ф. Ермаков, С.Ф. Жандаров, С.В. Зотов, Л.Ф. Иванов, В.Н. Коваль, В.А. Ковтун, Ю.М. Кривогуз, Е.Ф. Кудина, Л.В. Маркова, С.С. Песецкий, В.П. Селькин, В.П. Сергиенко, В.А. Смуругов, В.Е. Старжинский, Е.А. Цветкова, В.А. Шелестова, С.В. Шилько, В.М. Шаповалов, Р.А. Шулдыков

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

РАЗВИТИЕ ТРИБОЛОГИИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Н.К. Мышкин¹, А.И. Свириденко², К. Фридрих^{3,4}

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²Научно-исследовательский центр проблем ресурсосбережения НАН Беларуси, Гродно, Беларусь

³Институт композиционных материалов Университета Кайзерслаутерна, ФРГ;

⁴Инженерный колледж Университета короля Сауда, Эр-Рияд, Саудовская Аравия

Приведен анализ исследований в области трибологии полимеров и полимерных композитов, выполненных в период с середины прошлого столетия до настоящего времени. Обсуждаются концепции адгезионной и деформационной составляющих силы трения полимеров. Рассмотрены особенности формирования фактической площади контакта полимеров и полимерных композитов и влияние на нее температуры, а также поверхностных сил, определяющих контактную адгезию. Приведены обобщенные данные по влиянию нагрузки, скорости скольжения и температуры на коэффициент трения пар трения полимер–полимер и полимер–металл.

Анализируются основные механизмы изнашивания полимеров и полимерных композитов — абразивный, адгезионный и усталостный. Рассмотрена отличительная особенность изнашивания полимеров — фрикционный перенос и образование переходных слоев в контакте, кинетика их формирования и характерные виды. Приведены закономерности изнашивания полимерных материалов.

Особое внимание уделено трибологии перспективного класса полимерных материалов — нанокомпозитов. Показано, что небольшие добавки нанодисперсных наполнителей (1—5 об.%) способны кардинальным образом изменять не только механические, но и триботехнические свойства полимеров. Обсуждаются особенности трибологического поведения полимерных нанокомпозитов.

Приведены примеры применения полимеров и композитов на их основе в узлах трения различного назначения, применяемых в различных отраслях промышленности и на транспорте. Даны сведения об информационных ресурсах в области трибологии полимерных материалов.

ADVANCES IN TRIBOLOGY OF POLYMER MATERIALS

N.K. Myshkin¹, A.I. Sviridenok², and K. Friedrich^{3,4}

¹Metal-Polymer Research Institute of Belarus NAS named after V.A. Belyi, Gomel, Belarus

²Research Center for Resource Saving Problem of Belarus NAS, Grodno, Belarus

³Institute for Composite Materials, University of Kaiserslautern, Germany;

⁴College of Engineering, King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia

The analysis is given of research in the field of tribology of polymers and polymer composites since the middle of the last century till nowadays. The concepts of adhesion and deformation components of friction force in polymer contact are discussed. The peculiarities of forming the real contact area of polymers and polymer composites are considered with taking account of the effect of contact temperature and surface forces determining the adhesion in the contact. The generalized data on the effect of load, sliding velocity, and temperature on friction coefficient of polymer–polymer and polymer–metal tribosystems are presented.

The most common mechanisms of polymer wear — abrasion, adhesion wear, and fatigue wear — are described. Specific peculiarity of polymer wear resulted from friction transfer is considered with taking account of formation of the transfer layer, its kinetics and morphology of layers. General regularities of wear of polymers and polymer composites are described.

Special attention is devoted to tribology of rapidly growing new class of polymer materials — polymer-based nanocomposites. It is shown that small additives of nanoscale fillers (1—5 vol%) can dramatically improve not only mechanical, but tribological performance of polymers. The specifics of tribological behavior of polymer nanocomposites are discussed.

The examples of most common applications are given. The special attention is devoted to tribological applications of the engineering plastics in bearings, brakes, seals, gears, and other mechanical units. Informational transfer in the area of polymer tribology is considered.

НАНОКОМПОЗИТЫ С ГРАФЕНОМ

Ванг Хин

Университет науки и технологии, Нанкин, Китай

Материалы с графеном представляют интерес с точки зрения перспектив развития фундаментальной науки и технологии. Благодаря уникальной наноструктуре и исключительным свойствам, материалы с графеном привлекательны как строительные наноструктурные блоки для синтеза композитов, включающих графен. Например, соединение графена и определённых функциональных частиц приводит к достижению уникальных свойств в новых гибридах, потенциальная область применения которых — катализ, биосенсоры, топливные элементы с метанолом, оптика. Недавние исследования показали, что пластинки на основе графена можно в перспективе использовать для обеспечения диспергирования и стабилизации наночастиц (Pt, Au, Pd, TiO₂, Co₃O₄ и др.) Такие двумерные углеродные пластинки оказались перспективными для использования в наноразмерных подложках при получении плёнок из наночастиц. Более того, пластинки на основе графена чрезвычайно пластичны и годятся для переработки в материалы, подобные бумаге, и эластичные электронные материалы. Такие подложки могут придавать слоям частиц большую гибкость по сравнению с традиционными методами, кроме того, их можно перерабатывать в соответствии с заданными свойствами. Интересно, что, хотя ZnFe₂O₄ сам по себе фотокаталитически неактивный при видимом световом излучении, сочетание с графеном придаёт ZnFe₂O₄ высокую фотокаталитическую активность в связи с разложением органических молекул при излучении видимого света. Значительное улучшение фотоактивности при излучении видимого света можно отнести на счёт восстановления оксидов графита (ОГ) благодаря тому, что фотогенерированные электроны CoFe₂O₄ могут свободно переходить из зоны проводимости в область восстановленного графита, эффективно препятствуя таким образом, прямой рекомбинации электронов и дырок. Среди известных методов получения материалов с графеном, использование ОГ вероятно представляется наиболее гибким методом с быстрым наращиванием возможностей.

GRAPHENE-BASED NANOCOMPOSITES

Xin Wang

Key Laboratory for Soft Chemistry and Functional Materials
(Nanjing University of Science and Technology), Ministry of Education, Nanjing 210094, China

Graphene-based materials are quite intriguing from the perspectives of both fundamental science and technology. Due to their unique nanostructure and extraordinary properties, graphene-based materials are attractive as nanoscale building block for the synthesis of graphene-based composites. For example, integration of graphene and certain functional particles has pre-

sented unique features in the new hybrids which have potential applications in catalysis, biosensors, methanol fuel cells, and optics. As recently demonstrated, graphene-based slices have been utilized as burgeoning supports to disperse and stabilize nanoparticles (Pt, Au, Pd, TiO₂, Co₃O₄, etc.). Accordingly, it is expected that such 2D carbon slices may be appropriate as nanoscale substrates in obtaining nanoparticle films. Furthermore, graphene-based slices are very pliable and can be processed facilely into paper-like materials and flexible electronic materials. Such substrates may make the particle films more flexible than the traditional ones, and they may be processed according to different requirements. It is interesting that although ZnFe₂O₄ alone is photocatalytically inactive under visible light irradiation, the combination of ZnFe₂O₄ and graphene leads to high photocatalytic activity for the degradation of organic molecules under visible light irradiation. The significant enhancement in photoactivity under visible light irradiation can be ascribed to the reduction of graphite oxide (GO), because the photogenerated electrons of CoFe₂O₄ can transfer easily from the conduction band to the reduced GO, effectively preventing a direct recombination of electrons and holes. Among known strategies for generating the graphene-based materials, utilization of GO is arguably the most versatile and easily scalable method.

ДОСТИЖЕНИЯ ХИМИИ КАК ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Ю.М. Плескачевский¹, В.Е. Агабеков²

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Организация Объединенных Наций объявила 2011 год Международным годом химии. Планируется, что в течение года по всему миру будут по достоинству отмечены достижения химии и ее вклад в благосостояние человечества. К числу важнейших целей, поставленных при этом ООН, отнесена оценка вклада химии в разработку новых материалов, что всегда актуально для техники, медицины и других отраслей применения. Как сказал М.В. Ломоносов: «Широко распростирает химия руки свои в дела человеческие ...»

Развитие химии условно можно разделить на три этапа: молекулярная химия, основанная на синтезе веществ за счет ковалентных и ионных связей; супрамолекулярная химия, когда комплексообразование рецепторов и субстратов при получении тех или иных материалов осуществляется благодаря межмолекулярным взаимодействиям; полимолекулярная химия, когда супермолекула как продукт супрамолекулярной химии за счет целевой прививки функциональных групп приобретает способности к распознаванию, преобразованию и перемещению, образуя организованные ансамбли как основу молекулярных и супермолекулярных устройств.

Продукты молекулярной химии — это миллионы наименований различных веществ, включая мономеры, олигомеры и высокомолекулярные соединения, в том числе синтезируемые на принципах молекулярного дизайна, являющиеся продуктами нефтехимии, лесохимии и др. и служащие основой пластиков, лаков, красок, смазок, пластификаторов, сшивающих агентов, антипиренов, отбеливателей, лекарств, поверхностно-активных веществ и т.д.

На выходе супрамолекулярной химии — широкий спектр конструкционных и функциональных композитов в виде порошков, гранул, волокон, гелей, пленок, листов и блоков. Практически неограниченные возможности получения гибридных композитов открываются при сочетании органических и неорганических компонентов, природных и синтетических полимеров. Широкие перспективы практического применения открыла нанохимия, в частности органическая химия фуллеренов C₆₀ и C₇₀. Принципиально новые схе-

мы записи и считывания оптической информации позволили реализовать фотоадресуемые гребнеобразные сополимеры.

Бурно развивающейся областью современной химии является полимолекулярная химия, превращающаяся в наши дни в фундаментальную основу молекулярной электроники, химической информатики, микросистемной техники и наномашиностроения. Например, комплексообразование краун-эфиров с катионами K^+ и/или Na^+ существенно повышает квантовый выход флуоресценции люминесцентных сенсоров, а их изомеризация заметно изменяет ионную селективность. Стало возможным формирование предельно упакованных, стерически ограниченных лишь туннельной приводимостью, электронных наноразмерных устройств на основе моно- и полимолекулярных пленок Ленгмюра-Блоджетт, смесей некоторых поверхностно-активных соединений. На основе новых классов супермолекул — кукурбитурилов и полиротоксанов представилась возможность создавать молекулярные аналоги гироскопов, различные молекулярные переключатели и другие устройства, служащие элементами наномашин, приводимых в действие путем изменения химических условий и приближающихся по своим функциям и принципам функционирования к биологическим системам.

ACHIEVEMENTS IN CHEMISTRY AS FUNDAMENTALS FOR MATERIALS SCIENCE

Yu.M. Pleskachevsky¹ and V.E. Agabekov²

¹Metal-Polymer Research Institute of Belarus NAS named after V.A. Belyi, Gomel, Belarus

²Institute of Chemistry of New Materials of Belarus NAS, Minsk, Belarus

The United Nations Organization has declared the year of 2011 — an International Year of Chemistry. It is scheduled to appraise the advances of chemistry and its contribution in progress of the mankind. One of the key goals outlined by the UNO is to estimate what has chemistry granted to the development of new materials as a perpetually actual requisite for engineering, medicine, pharmaceuticals, and many other spheres. It was Michael Lomonosov who said: “Far and wide is chemistry reaching out her hands in the human affairs...”

Progress in chemistry can be subdivided into three stages: molecular chemistry based on synthesis of substances through covalent and ion links; supramolecular chemistry that studies complexing of receptors and substrates when obtaining one or another material via interactions between molecules; polymolecular chemistry when a supermolecule, being a product of supramolecular chemistry, acquires through a target grafting of functional groups the ability of recognition, transformation and motion, thus forming the arranged ensembles as a base for the molecular and supramolecular devices.

The products of molecular chemistry are millions types of different substances, such as monomers, oligomers and high-molecular compounds, among which are synthesizing ones on the principles of molecular design that are the products of petrochemistry, dendrochemistry and other. They serve as the base for plastics, lacquers, dies, lubricants, plasticizers, cross-linking agents, fire retardants, bleaches, medicines, surfactants and so on.

As for the supramolecular chemistry, it yields a broad spectrum of structural and functional composites in the form of powders, fibers, gels, films, sheets and blocks. In fact unlimited potentialities are seen in obtaining hybrid composites by combining the organic and inorganic components, natural and synthetic polymers. Wide vistas in practical application were open by nanochemistry, in particular, the organic chemistry of fullerenes C₆₀ and C₇₀. New in principle recording and reading circuits of optical information have enabled realization of photo-addressed comb-shaped copolymers.

Polymolecular chemistry is a thriving branch of modern chemistry, which is transforming nowadays into a foundation for molecular electronics, chemical informatics, microsystem tech-

niques and nanoengineering. For instance, complexing of crown-esters with cations K^+ and/or Na^+ increases much the quantum output of fluorescence of luminescence sensors, while their isomerization changes essentially ionic selectivity. It became possible to form ultimately packed, steric-bounded by only the tunnel conductivity electronic nanodevices on the base of mono- and polymolecular Langmuir-Blodgett films, and some surfactant mixtures. The new classes of supermolecules, namely, kukurbituril and polyrotaxanes have made grounds for creating the molecular analogues of gyroscopes, different molecular switches and other devices used as the elements of nanomachines actuated through varying chemical conditions whose performances are approaching the principles of functioning of biological systems.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИАЛКИЛЕНТЕРЕФТАЛАТОВ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТОК

С.С. Песецкий¹, Б. Юрковски², В.Е. Агабеков³

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²Политехника Познаньская, Познань, Польша

³Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Охарактеризовано современное состояние разработок в области композиционных материалов на основе полиалкилентерефталатов (ПАТ) — полиэтилентерефталата (ПЭТ), полибутилентерефталата (ПБТ) и полиэфирных термоэластопластов (ПТЭП).

Полиэфирные композиты относятся к разряду конструкционных и предназначаются для применения главным образом в базовых отраслях промышленности: автомобилестроение, электроэнергетика, производство ТНП. Несмотря на то, что их ассортимент весьма обширен (насчитывает многие сотни марок) в данной области ведутся интенсивные исследования. Совершенствуется синтез базовых полимеров с целью снижения стоимости и улучшения показателей качества. Основной поток публикаций направлен на оптимизацию технологии, изучение структуры и свойств отдельных типов композитов. К их числу относятся ПАТ, армированные волокнистым наполнителем (к разряду ключевых при этом относятся вопросы, связанные с анализом взаимодействия макромолекул с поверхностью волокна, технологии подготовки поверхности последнего, технологии материалов, содержащих гибридные наполнители, например, короткие волокна и наночастицы глинистых минералов, изучение влияния тепловых и других эксплуатационных воздействий на структуру и показатели свойств композитов); огнестойкие материалы (исследуется механизм макромолекулярных превращений при горении, осуществляется поиск новых более экономичных и экологически чистых антипирлирующих систем, разрабатываются и исследуются огнестойкие композиты многофункционального назначения); смесевые полиэфирные композиты (изучается специфика реакций межцепного обмена в полиэфирных смесях, разрабатываются и исследуются компатибилизированные смесевые системы на основе ПАТ и других полимеров — поликарбоната, стирольных пластиков, полиолефинов, различных эластомеров и др.). В последние годы значительное внимание уделяется полиэфирным нанокompозитам, в том числе получаемым как на стадии синтеза ПАТ, так и при компаундировании в расплаве. Широкими возможностями расширения практического применения обладают материалы триботехнического назначения, характеризующиеся высокой стабильностью геометрических размеров и удовлетворительными триботехническими параметрами.

Постоянно расширяющееся распространение получают композиты на основе ПТЭП. Особый интерес представляют смесевые системы ПТЭП с поливинилхлоридом, поликарбонатом, ПЭТ и ПБТ, динамические вулканизаты на основе смесей различных по структуре ПТЭП, их смесевые композиты с другими типами эластомеров, обладающие высокой

стойкостью к действию нефтепродуктов, регулируемой твердостью, пониженным уровнем остаточных деформаций. Приводятся результаты оригинальных исследований, а также примеры конкретных видов продукции, созданной на их базе и нашедшей практическое применение, характеризуются перспективы дальнейших исследований. При создании многих типов композитов используются модифицированные специальными удлинителями цепи полиэфирные матрицы, в том числе, получаемые на основе смесей полиэфиров.

Рассмотрены проблемы научного обеспечения рециклинга полиэфиров, главным образом ПЭТ. Стратегическим направлением при этом является увеличение молекулярной массы вторичного ПЭТ (р-ПЭТ). Технология технически ценных продуктов на основе р-ПЭТ базируется на использовании метода реакционной экструзии.

COMPOSITE MATERIALS BASED ON POLYALKYLENE TEREPHTHALATES: STATE OF THE ART AND PROSPECTS OF DEVELOPMENTS

S.S. Pessetskii¹, B. Jurkowski², and V.E. Agabekov³

¹Metal-Polymer Research Institute of Belarus NAS named after V.A. Belyi, Gomel, Belarus

²Politechnika Poznanska, Poznan, Poland

³Institute of Chemistry of New Materials of NASB, Minsk, Belarus

The work characterizes the state of the art in the field of composite materials based on polyalkylene terephthalates (PAT), polyethylene terephthalates (PET), polybutylene terephthalates (PBT) and polyester thermoelastoplasts (PTEP).

Polyester composites are related to the class of structural materials. They are intended mainly for the basic industrial branches, such as automobile production, electric power engineering and manufacture of consumer goods. In spite of the fact that these composites are available in a wide range (several hundreds of grades), intensive investigations in this field are still in progress. Refinement of the base polymer synthesis is aimed at their cost cut and quality improvement. The main stream of publications in this sphere is directed towards optimization of the technology and understanding of structure and properties of specific kinds of composites to which belong: fiber-reinforced PAT (the key problems here are connected with the analysis of interactions between macromolecules and fiber surface, the techniques of surface preparation of these fibers, the technologies of materials containing hybrid fillers, e.g., short fibers and nanoparticles of clay minerals, investigations in heat and other operation effects on structure and properties of composites); refractory materials (investigation of the mechanism of macromolecular transformations during burning, search for new more economically efficient and ecologically safe antipyrene agents, development and study of fireproof multifunctional composites); blend polyester composites (investigations of the specifics of interchain exchange reactions, compatibilized PAT-based and other polymer systems-based blend composites, including polycarbonate, styrene plastics, polyolefins, different elastomers and other). Special attention is paid in the recent years to polyester nanocomposites, e.g. the ones obtained at the stage of PAT synthesis or its compounding in melt. The materials of triboengineering purposes characterized by high dimensional stability and satisfactory tribological parameters show wide vistas in broadening their application fields.

PTEP-based composites are also expanding their spheres of application. Of special interest are the PTEP systems with polyvinyl chloride, polycarbonate, PET and PBT, dynamic vulcanizing agents based on different by their structure PTEP blends, their blend composites with other elastomers displaying high resistance to petroleum derivatives, adjustable hardness, and lowered level of residual stresses. The results of original investigations and their promises are characterized, the types of the products created on their base are cited with examples of their application in practice. It is noted that in developing a number of composites the authors have used polyester matrices modified by specific chain lengtheners, which concerns also the composites based on polyester mixtures.

The problems of scientific provision in the sphere of polyester recycling are considered, of the PET on the first place. The strategic direction in this sense is the means of increasing molecular mass of secondary PET (p-PET). The technology of valuable in engineering respect PET-based products involves the reaction extrusion.

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ ТРИБОСИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

В.И. Колесников

Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону, Россия

Весьма перспективным оказалось направление, развиваемое нами — разработка принципов создания новых композиционных материалов антифрикционного и фрикционного назначения, которое основано на теоретической (химическое, Ван-дер-Ваальсово) и экспериментальной оценке адгезионного сцепления на границе раздела компонент композиционного материала. Оценка адгезионного взаимодействия на межфазной границе, изучение природы сил молекулярного сцепления контактирующих поверхностей, расчет величины этой силы и определение способов ее регулирования дает возможность сформулировать общие подходы к направленному подбору компонент в композите и обеспечить максимальную реализацию их свойств. Это позволяет установить наиболее эффективные наполнители и их оптимальные соотношения.

Следует добавить, что при таком подходе мы максимально учитываем специфические свойства полимерных композитов и, прежде всего, их способность накапливать электрические заряды, генерировать активные продукты деструкции и образовывать в узле трения самосмазывающие пленки. Опытно-промышленная проверка и внедрение разработанных материалов осуществлены на предприятиях РЖД.

В результате теоретических исследований методом квантовой химии многоатомных кластеров было обнаружено, что некоторые примесные атомы, вступая в химическую связь с железом, ослабляют связь между зёрнами, поскольку энергия связи соответствующих кластеров меньше, чем энергия связи кластера из чистого железа. Ослабление связи между зёрнами в поверхностном слое снижает износостойкость стали.

Разработана методика оценки полной энергии связи кластера (это та энергия, которую необходимо сообщить кластеру, чтобы разделить его на отдельные атомы) и энергий связи между зёрнами.

Атомы бора, углерода, азота, молибдена прочно «сшивают» зёрна железа, поскольку энергия связи кластеров, содержащих эти атомы, оказывается ниже, чем энергия связи кластера того же размера, состоящего из чистого железа. Наоборот, атомы лития, кремния, фосфора, серы, меди и никеля, хотя и вступают в химическую связь с железом, ослабляют связь между зёрнами, поскольку энергия связи соответствующих кластеров меньше чем энергия связи кластера из чистого железа.

Опираясь на полученные результаты, мы раскрыли механизм вредного воздействия атомов разупрочняющих элементов на износостойкость стали и показали, что один из способов упрочнения металла — введение в его состав атомов, увеличивающих энергию связи между зёрнами и тем самым нейтрализующих действие атомов разупрочняющих элементов.

Для подтверждения теоретических результатов были проведены экспериментальные исследования сегрегационных явлений легирующих и примесных элементов в трибосистеме «колесо–рельс–колодка» и разработана наноструктурная диагностика ее элементов методом Оже-спектроскопии.

Таким образом, был сформулирован принципиально новый «неклассический» путь подбора материалов трибосопряжений.

WEAR RESISTANCE INCREASE IN METAL-POLYMER TRIBOSYSTEMS USING NANOTECHNOLOGIES

V.I. Kolesnikov

Rostov State University of Communication Routs, Rostov-on-Don, Russia

One of the developed by us directions turned to be very promising, namely, elaboration of the principles of developing new composite materials of antifrictional and frictional purposes based on the theoretical (Van der Waals' as the chemical) and experimental estimates of adhesive bonding at the interface between the components of composite materials. The materials derived on this base have found application in such units as center pivot - center bowl joints, balancer bushing, lateral support slipper, pantograph bearing, and etc.

Notice that by using this approach we make account for specific properties of polymeric composites and, first of all, their ability to accumulate electric charges, generate active destruction products and form self-lubricating films in the friction joints. The developed materials were subject to the experimental-industrial tests and were adopted at the Russian Railroad enterprises.

It was established as a result of theoretical investigations by the method of quantum physics of polyatomic clusters that via chemical interactions with iron some impurity atoms tend to weaken the bonds between grains. This is because the bonding energy of respective clusters cedes that of the pure iron clusters. Weakening of the intergranular bonding in the surface layer reduces wear resistance of steel.

We have developed a method for estimating the total binding energy of a cluster (the energy, which should be supplied to the cluster to disintegrate it into single atoms) and the energy of bonds between grains.

Atoms of boron, carbon, nitrogen, and molybdenum "link" strongly iron grains since the binding energy of clusters containing these atoms is lower than the binding energy of a cluster of the same size consisting of pure iron. On the contrary, atoms of lithium, silicon, phosphorus, sulfur, copper, and nickel form chemical bonds with iron, yet they weaken bonds between grains since the binding energy of the corresponding clusters is lower than the binding energy of a cluster of pure iron.

Proceeding from the results obtained, we have disclosed the mechanism of the adverse affect of the weakening element atoms on steel wear resistance. One of the means of metal strengthening was proved to be introduction of the atoms able to increase bonding strength between grains, neutralizing thereby the affect of the weakening element atoms.

To verify the theoretical results, we have performed the fundamental experimental investigations on segregation phenomena of the alloying and doped elements in the wheel-rail-block tribosystem, and a nanostructural diagnostics of its elements has been carried out.

When thinking over the means aimed at improving wear resistance of the wheel in the wheel-brake block system, we have considered the disclosed exchange-diffusion processes between the wheel and the block as well as the segregation processes in the metal wheel bulk.

Thus, we have formulated a new in principle non-classical approach to the choice of materials for tribojoints.

ОСАЖДЕНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЕНОК ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ И КАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ

А.К. Ребров

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск, Россия

Спектр вакуумных технологий осаждения тонких пленок из газовой фазы достаточно широк и имеет давнюю историю. К новым технологиям можно отнести осаждение с так

называемой горяче-проволочной или каталитической активацией и газоструйное осаждение с различного вида активациями. К этим направлениям относится представляемая работа. Часть её посвящена обзору исследований и последних достижений в области горяче-проволочного осаждения (hot wire CVD), развиваемого в мире практически без участия исследователей из бывшего СССР. Значительное внимание уделено развитию газоструйного осаждения полимерных и металлополимерных пленок в Институте теплофизики СО РАН. Преимущества газоструйного осаждения описаны в работе [1]. Новые возможности появляются при использовании активации высокоскоростного потока предшественников контактом с высокотемпературными поверхностями, электрическим разрядом, возбужденным электронным пучком. Важные результаты получены в исследованиях, развивающих методы синтеза серебряно-полимерных пленок с бактерицидными свойствами. Они основаны на использовании раздельной транспортировки паров серебра и газа, предшественника полимера к поверхности. Исследования осаждения тонких пленок при использовании горяче-проволочной (каталитической) активации составляют содержание шести проведенных международных конференций.

[1] А. К. Rebrov. Proc. of the 4th Intern. conf. coating on glass, Braunschweig, Germany, 2002, pp. 131–140.

DEPOSITION OF NANOSIZE FILMS IN THE GASEOUS PHASE UNDER THERMAL AND CATALYTIC ACTIVATION

A.K. Rebrov

Kutateladze Institute of Thermophysics of the Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk, Russia

The spectrum of vacuum technologies of thin film deposition in the gaseous phase is presently broad enough, and its prehistory is rather long. The method of deposition with a so-called hot-rolled wire or catalytic activation as well as the gas-jet deposition with different kinds of activation can be related to the recently sprung technologies. The present work belongs just to these directions. A portion of the work is devoted to a review of investigations and latest advances in the field of the hot-wire CVD that has been developing in the world almost without any participation of the researchers from the former USSR. Much attention is paid to the progress in the gas-jet deposition of polymer and metal-polymer films in the Institute of Thermophysics of the RAS. The advantages of the gas-jet deposition have been described in work [1]. New possibilities have appeared thanks to the usage of high-rate activation of a stream of precursors in contact with high-temperature surfaces, and the electric discharge excited by a beam of electrons. Some important results have been attained in the studies dealing with synthesizing silver-polymer films having bactericidal properties. They involve a separate transport of silver vapors and the gas as a precursor of the polymer to the surface. Six international conferences were based on the investigation results of the thin film deposition by a hot-wire (catalytic) activation.

[1] А. К. Rebrov. Proc. of the 4th Intern. conf. coating on glass, Braunschweig, Germany, 2002, pp. 131–140.

САМОСМАЗЫВАЕМОСТЬ, «ПЛЕНКИ ПЕРЕНОСА» И ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕТЬЕГО ТЕЛА ПОЛИМЕРАМИ

А.П. Краснов¹, В.Н. Адериha², О.В. Афоничева¹, Н.Н. Тихонов¹, А.Е. Сорокин¹

¹Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, Москва, Россия

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

Основной особенностью большинства используемых в узлах трения полимеров (термопластичных, в первую очередь, и некоторых терморезистивных) является их способ-

ность проявлять эффект «самосмазывания», т.е. обеспечивать работоспособность узла трения скольжения без введения внешней смазки.

Использованию термина «самосмазывающиеся» послужило следующее обстоятельство. В конце 1950-х — начале 1960-х годов, в связи с началом космической эры, резко усилились работы по созданию подшипников качения и скольжения, которые можно было бы использовать в космосе без внешней смазки. К этим изделиям совершенно правомерно был применен термин «самосмазывающиеся», поскольку при их эксплуатации не использовалась внешняя смазка, а применяли в основном композиционные материалы с MoS_2 . Тем не менее, в некоторых случаях были использованы и ненаполненные полимеры, как например полиимиды, не обладающие четко выраженными смазывающими свойствами. Тем не менее, они обеспечивали работоспособность самосмазывающегося узла трения. Однако, термин «самосмазывающийся» закрепился за политетрафторэтиленом.

При развитии полимерной трибологии, включении в объекты исследования и применения все новых представителей появляется необходимость отнести термин «самосмазываемость» в соответствии с его смысловым пониманием ко всем полимерам и полимерным материалам, способным обеспечивать работоспособность узла трения без внешней смазки. Безусловно, по своим антифрикционным характеристикам (коэффициент трения, износ) полимеры могут резко отличаться, и такие полимеры как Ф-4, СВМПЭ характеризуются резко улучшенными «смазывающими» свойствами.

Природа эффекта «самосмазывания» полимеров заключается в особенностях формирующегося на полимерных и металлических поверхностях так называемого «третьего тела», строение и состав которого и является своеобразным «смазывающим» слоем, обеспечивающим возможность передеформирования без абразивного изнашивания и заедания. Характер формирования «третьего тела» у различных классов полимеров был подробно исследован («Гомельская школа» — ИНЭОС) с различных позиций, и выявилась формальная общность явлений, происходящих в зоне трения, начиная с ориентации при передеформировании полимеров, приводящей к деструктивно-структурирующим процессам. При их протекании деструктурированные полимерные частицы способны взаимодействовать с металлическим контртелом, обеспечивая многочисленные пути его модификации при механическом и физико-химическом взаимодействии (от адгезионного до химического). Это сложное явление в литературе резко упрощено и обозначается как «перенос», либо «пленка переноса». Понимать под этими терминами следует, вероятно, сложный физико-химический процесс формирования «третьего тела» и физико-химическую модификацию поверхности контртела. Безусловно, этот процесс весьма сложен и индивидуален для каждой полимер — металлической пары трения.

В докладе приводятся не опубликованные ранее примеры формирования третьего тела полимеров, связь этого процесса с характеристическими свойствами полимеров.

SELF-LUBRICITY, “TRANSFER FILMS” AND THE THIRD-BODY FORMATION BY POLYMERS

A.P. Krasnov¹, V.N. Aderikha², O.V. Afonichev¹, N.N. Tikhonov¹, and A.E. Sorokin¹

¹Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds of RAS (IOEC), Moscow, Russia

²Metal-Polymer Research Institute of Belarus NAS named after V.A. Belyi, Gomel, Belarus

The main peculiarity of the majority of used in friction joints polymers (thermoplastic in the first place, and some thermosetting ones) is their ability to display “self-lubrication” effect, i.e. to ensure operability of the sliding friction joints without lubrication from the outside.

The term “self-lubricating” has come into being as a result of the following circumstance. The onset of the space era was marked at the end of the 1950-ies and beginning of 1960-ies by a boom in the development works on the rolling and plain bearings intended for operation in space

without the external lubrication. So, it was fully justifiable to apply the term self-lubricating for these items since instead of the external lubricant they used mainly the composite materials with MoS₂ for their operation. But in some cases, the non-filled polymers like polyamides not exhibiting a clear-cut lubricating property were used. They have provided, however, the capacity for work of self-lubricating friction joints. Nevertheless, the term “self-lubricating” has stuck to the polytetrafluoroethylene.

In the course of evolution of polymer tribology, still new representatives were added to the objects of investigation and application. Thus, there arose a necessity to refer the term “self-lubricity” to all polymers and polymeric materials able to ensure operability of friction joints without any external lubrication. No doubt, the polymers may differ radically in their antifrictional characteristics (friction coefficient, wear), whereas such polymers as F-4, UHMWPE are characterized by drastically improved self-lubricating properties.

The nature of self-lubrication effect of polymers consists in formation of a so-called “third body” on the polymer and metal surfaces, the structure and properties of this third body generate a peculiar self-lubricating layer that enables reformation devoid of the abrasive wearing and seizure. The mechanism of the third body formation in different polymers has been studied (“Gomel School” — IOEC) from various standpoints. As a result, a formal generality has been traced for the phenomena occurring in the friction zone starting from orientation during reformation of the polymers that leads to the destructive and structuring processes. The disrupted polymer particles tend to interact with the metal counterbody, providing thereby numerous modification means of the latter during mechanical and physico-chemical interactions (from adhesive till chemical interactions). This complex phenomenon has been strongly simplified in literature by denoting it as the “transfer” or a “transfer film”. One should, evidently, understand it as a complex physico-chemical process of the third body formation along with the physico-chemical modification of the counterbody surface. This process is undoubtedly intricate and individual for each metal-polymer friction pair.

Unpublished yet examples of the third body formation by the polymers and the relationship between this process and the characteristic properties of the polymers are cited in the paper.

КОСМИЧЕСКАЯ ТРИБОЛОГИЯ В ПРОГРАММЕ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА «КОСМОС-НТ»

М.А. Броновец¹, П.А. Витязь², Н.К. Мышкин³

¹Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва, Россия

²Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь

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

В докладе перечислены особенности работы подвижных сопряжений и узлов трения космических изделий в открытом космическом пространстве, показаны проблемы исследования закономерностей трения и изнашивания материалов в открытом космосе, приведено описание структуры научной аппаратуры, разрабатываемой для проведения экспериментов на внешней стороне Международной космической станции, описаны требования к научной аппаратуре для трибологических испытаний материалов на орбите.

Определены задачи, решение которых необходимо для дальнейшего развития работ в этом направлении. Приведены характеристики некоторых материалов, которые применяются в настоящее время в узлах трения космических изделий. Указаны направления развития материаловедения применительно к задачам длительной работы узлов трения в открытом космосе.

SPACE TRIBOLOGY IN PROGRAM OF ALLIED STATE “KOSMOS-NT”M.A. Bronovets¹, P. A. Vityaz², and N. K. Myshkin³¹A.Yu. Ishlinskii Institute for Problems in Mechanics of RAS, Moscow²Joint Institute of Machine Building of NASB, Minsk³Metal-Polymer Research Institute of Belarus NAS named after V.A. Belyi, Gomel, Belarus

The report deals with peculiarities of operation of movable joints and friction units of space articles in the open space. Problems of studying regularities of friction and wear of materials in the open space are discussed. The structure of research instruments developed for carrying out experiments on the outer side of The International Space Station is described. Demands for research instruments for tribotesting on the orbit are presented. Problems are shown to be solved to proceed in this direction. Characteristics of some materials that are currently used in friction units of space articles are presented. Directions of development of materials science are shown as applied to problems of long operation of friction units in the open space.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ СПЕЧЕННЫХ ФРИКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ КЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ

А.Ф. Ильющенко, А.А. Дмитриевич, Д.И. Сарока, Е.В. Голод, А.Н. Роговой

Институт порошковой металлургии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

В зависимости от типа материала, требуемых свойств и условий работы в тормозном устройстве подбирается оптимальное содержание фрикционных добавок. При этом реализуется возможность регулирования фрикционных характеристик и получение материалов с заданными свойствами.

Цель данной работы — исследование влияния объемного содержания керамической фазы на триботехнические характеристики фрикционного материала.

Матрицей фрикционного материала экспериментальных образцов для проведения испытаний служила железо-бронзо-графитовая композиция со следующим объемным соотношением компонентов: железо, бронза, графит в пропорции 4:1:2.

Фрикционными компонентами, вводимыми в состав материала при проведении данных исследований, служили оксид алюминия (электрокорунд), карбид кремния, двуокись кремния (кварцевый песок) и оксид циркония при их объемном содержании до 30%.

Для оптимизации содержания керамических компонентов в составе композиционного материала использована методика испытаний, которая заключается в имитировании процесса торможения на инерционном стенде ИМ-58 и регистрации следующих выходных параметров: изменение момента сил трения от скорости и времени торможения, интенсивности изнашивания образца. Для проведения испытаний на инерционном стенде ИМ-58 выбраны следующие параметры: — начальная скорость скольжения 19 м/с; — удельная нагрузка 0,85 МПа.

Экспериментально установлено, что введение керамических компонентов (Al_2O_3 и SiO_2) в количестве 18 об.% способствует увеличению твердости материала при одновременном уменьшении прочности на сжатие. Максимальным комплексом фрикционных характеристик во всем диапазоне концентраций керамической фазы обладают материалы, содержащие в своем составе включения карбида кремния и оксида алюминия (электрокорунд) — коэффициент трения 0,45—0,52 (SiC) и 0,26—0,3 (Al_2O_3), интенсивность изнашивания 11—30 мкм/км (SiC) и 10—23 мкм/км (Al_2O_3).

INVESTIGATION OF COMPOSITE SINTERED FRICTIONAL MATERIALS WITH ELEVATED CONTENT OF CERAMIC COMPONENTS

A.F. Iliyushchenko, A.A. Dmitrovich, D.I. Saroka, E.V. Golod, and A.N. Rogovoi

Institute of Powder Metallurgy of NASB, Minsk, Belarus

The optimal content of frictional additives for a braking device is selected proceeding from the type of material, desired properties and operation conditions of the device. The choice is made jointly with realizing the probability of regulating frictional characteristics and attaining the materials with preset properties.

The aim of the work was to study the effect of the volume content of the ceramic phase on triboengineering characteristics of the friction material.

The matrix of the frictional material for the experimental samples in this study was the iron-bronze-graphite composition with the following volume content of the ingredients: iron, bronze, graphite in the proportion 4:1:2.

The frictional components for the material composition under study were aluminum oxide (fused corundum), silicon carbide, silicon dioxide (quartz sand) and zirconium oxide with the volume content till 30%.

To optimize the amount of ceramic components in the composite material, a test method was used during which the braking process was simulated on the inertial test bench IM-58 and the following output parameters were recorded: friction torque variations depending on velocity and time of braking, as well as the wear rate of the sample. The next parameters were chosen for the testing on the inertial bench IM-58: the initial sliding velocity — 19 m/s; specific load — 0.85 MPa.

It has been established experimentally that introduction of ceramic components (Al_2O_3 and SiO_2) in the amount of 18 % by volume increases hardness and simultaneously reduces compressive strength of the material. The maximal combination of frictional characteristics within the whole concentrations range of the ceramic phase have shown the materials containing silicon carbide and aluminum oxide (fused corundum) inclusions, namely, friction coefficient — 0.45—0.52 (SiC) and 0.26—0.3 (Al_2O_3), wear rate — 11—30 $\mu\text{m}/\text{km}$ (SiC), and 10—23 $\mu\text{m}/\text{km}$ (Al_2O_3).

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАПИЛЛЯРНЫХ МЕМБРАН ДЛЯ ВОДОПОДГОТОВКИ

А.В. Бильдюкевич

Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Ужесточение требований к качеству сбросных вод, возрастающая плата за водопотребление, а также внедрение новых технологий водоподготовки требуют разработки и применения новых ресурсосберегающих технологий предварительной обработки воды. В развитых странах приоритетным направлением стало использование мембранных технологий. Область их применения чрезвычайно широка и включает подготовку воды из поверхностных и артезианских источников (альтернатива классическим фильтрам засыпного типа) до класса питьевой, предподготовку перед химводоочисткой или обратным осмосом, очистку производственных конденсатов, обработку подпиточной воды градилен, минимизацию стоков (промывных вод) осветлителей засыпного типа. В ряде случаев для повышения конкурентоспособности процесса очистки воды реализуются усовершенствованные, в том числе комбинированные способы: коагуляция/ультрафильтрация, окисление/ультрафильтрация, адсорбция/ультрафильтрация, позволяющие повысить эффективность и надежность процессов очистки. Данные технологии, значительно превосходя по

результатам традиционные методы очистки, составляют им серьезную конкуренцию и в ряде случаев вытесняют последние с рынка водоподготовки и водоочистки. Это вызвано рядом причин, среди которых: надежная барьерная фильтрация, возможность получения требуемых качественных показателей очищенной воды за одну стадию, малая реагенто- и энергоемкость, компактность оборудования, легкость монтажа, простота в управлении и контролировании процесса очистки, возможность полной автоматизации процессов обработки и контроля качества воды, простота масштабирования ввиду модульной конструкции оборудования.

Институтом физико-органической химии НАН Беларуси разработаны высокопроизводительные капиллярные мембраны из полисульфона (ПС), по характеристикам превосходящие известные зарубежные аналоги. В докладе представлены результаты исследования физико-химических закономерностей процесса получения, структуры и свойств капиллярных ультрафильтрационных мембран на основе полисульфона. Рассмотрены особенности технологии их получения методом «свободного прядения» растворов ПС в диметилацетамиде, содержащем порообразователи и гидрофилизирующие агенты. Показано, что на структуру полого волокна существенно влияет конструкция фильеры и скорость сдвига при течении полимерного раствора.

Разработана альтернативная конструкция промышленного фильтрующего элемента для низконапорной тупиковой ультрафильтрации, на основе которой созданы экспериментальные и промышленные установки очистки воды.

Приведены экспериментальные данные, иллюстрирующие транспортные характеристики экспериментальных образцов мембран, а также результаты их пилотных и промышленных испытаний в процессах очистки вод различного происхождения методом тупиковой ультрафильтрации в сочетании с контактной коагуляцией и технологических сред в фармацевтической и пищевой промышленности. По результатам проведенных НИОКР оформлена необходимая нормативно-техническая документация и проведен комплекс мероприятий по организации производства фильтрующих элементов для нужд энергетики и жилищно-коммунального хозяйства. Таким образом, можно констатировать, что в республике создана научная и материально-техническая база для дальнейшего развития и совершенствования новейших мембранных процессов на основе капиллярных мембран.

PHYSICO-CHEMICAL PRINCIPLES OF MANUFACTURE AND APPLICATION OF CAPILLARY MEMBRANES FOR WATER PREPARATION

A.V. Bildyukevich

Institute of Physical-Organic Chemistry of Belarus NAS, Minsk, Belarus

Toughened requirements to quality of waste waters, raising expenses on water consumption along with adoption of new water preparation technologies have brought about the necessity of developing novel resource-saving water-treating methods. Membrane technologies are among foreground trends in the developed countries in this sphere, which application is extremely wide today. Named technologies consist of water preparation (an alternative to the classical loose-filled filters) from the surface and artesian wells till the potable water class, pretreatment before cleaning by a chemical or osmotic methods, cleaning of industrial condensates, treatment of makeup water for water-cooling towers, minimizing of effluents (of rinsing waters) from loose-fill clarifiers. In a number of cases, to heighten competitiveness of the water-cleaning processes, the modified and combined methods can be employed, e.g., coagulation/ultra-filtration, oxidation/ultra-filtration, and adsorption/ultra-filtration, which increase efficiency and reliability of the cleaning process. Named technologies show by far higher results of cleaning as compared to traditional methods, thus superseding them from the market of water preparation and cleaning. We can name a number of reasons of their competitiveness like the reliable barrier filtering, the pos-

sibility to achieve the desired quality parameters of the cleaned water per stage, low reagent and energy consumption, compactness, easy assemblage, control and monitoring of the cleaning process, possible ways of a total automation of water treatment and quality control, simplicity of scaling due to modular design of the equipment.

The Institute of Physical-Organic Chemistry of NASB has developed highly productive capillary polysulfone (PS) membranes that surpass known foreign analogues by their service characteristics. This paper presents investigation results of physico-chemical regularities of producing, the capillary ultra-filtering polysulfone-based membranes as well as their structural peculiarities and properties. The technological parameters of production by the method of “free-spinning” of PS solutions in DMAA containing pore-forming and hydrophylization agents are set forth. It is also shown that the structure of the hollow fiber is influenced much by the spinneret design and shear rate during flow of the polymeric solution.

An alternative design of the commercial filtering element has been elaborated for a low-lift dead-end ultra-filtration based on which the experimental and commercial water-cleaning systems were created.

The experimental data describing carrying capacity of experimental samples of the membranes are given. Besides, the results of the pilot and full-scale tests using the dead-end ultra-filtration in combination with contact coagulation at cleaning waters of different origin are shown as well as technological media cleaning in pharmaceutical and food industries. The conducted R&D works were expressed in the normative and technical documents that have laid the base for production organization of filtering elements for the needs of power engineering and housing services. As a result of named activities, the scientific as well as material and technical bases have been created in Belarus for further development and perfection of the new membrane processes on the base of capillary membranes.

СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ

THE PROPERTIES OF PROTECTIVE COATINGS BASED ON ALKYD AND ISOCYANATE OLIGOMERS

A. Bubnova, N. Gudzenko, A. Barantsova, and V. Sysyuk

Institute of Macromolecular Chemistry of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

Now in a world of science on use of natural compounds, in particular vegetable oils, as renewed raw sources researches are widely carried out synthesis of composite polymeric materials. Especial interest is represented by researches on updating of vegetable oils, for the purpose of reception reaction oligomers with functional groups which can be used in synthesis of block-copolymers and composite polymeric materials.

Synthesis studying macroisocyanate, by interaction castor oils with threefold surplus 2,4-tolyulendiisocyanate (TDI) is spent. Developed poliisocyanate have been used for updating of paint and varnish materials. It has allowed to unite properties of alkyds and polyurethane and as result, to create unicomponent, quick-drying materials on air. Acceleration of the film-forming is provided by means of materials with end isocyanate groups, which actively reacting with moisture of airs and therefore the structured film is formed.

Coverings based on of the modified paint and varnish materials are characterized by high elastic properties, stability to influence the water, excited environments (solutions of acids, alkalis, salts). Works on studying of biological stability synthesized natural alkydurethane block copolymers to some kinds of soil microorganisms have been studied.

In the course of use not biologically proof coverings for metal underground constructions, on a surface there is a formation of geochemical active groupings of microorganisms in the form of biofilms which are very aggressive and destroy a construction. Studying of features of formation and biofilm functioning on a surface is necessary to increase the efficiency of sheetings.

As medium were used mono- and binary associations carbon oxidative cultures *Pseudomonas pseudoalcaligenes* piece 109, *Bacillus subtilis*, *Rhodococcus erythropolis*.

Process of biofirmness of the given systems has been investigated in dynamics (1, 30, 90, 120) days. The control carried out a method of loss of weight of investigated samples and by means of the IR-spectroscopy method. On the basis of the received data in IR-spectra of control and investigated samples in the areas of absorption of C=O, C–O distinctions are not observed, loss of weight of the sample which was exposed to influence of associations of microorganisms in a current of 120 days makes 2—2,5%.

IMPROVEMENT OF THERMAL STABILITY OF THE MECHANICAL AND TRIBOLOGIC BEHAVIOR OF THERMOPLASTIC POLYMER MATERIALS BY THE VARIATIONS OF THE DEGREE OF STRUCTURAL ORDERING

I.V. Gofman¹, I.N. Kovaleva², O. Orell³, E.N. Popova¹,
V.E. Yudin¹, and J. Vuorinen³

¹Institute of Macromolecular compounds RAS, St.-Petersburg, Russia

²Metal Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus

³Tampere University of Technology, Tampere, Finland

The mechanical and tribological characteristics in the temperature range from RT up to 250 °C have been precised of several thermally stable bulky thermoplastic polymer materials:

polyetheretherketone (PEEK), polyphenylenesulfide (PPS), polyetherimides Ultem-1000 and R-BAPB (the latter has been elaborated and synthesized in IMC RAS). Ultem-1000 is an amorphous polymer, PEEK and PPS are the polymers of semi-crystalline structure (crystallinity ~ 45—50%), and R-BAPB can be obtained both in amorphous and in semi-crystalline (crystallinity ~ 35—40%) states, depending on the conditions of specimen's processing.

It was shown that the semi-crystalline PEEK, PPS, and R-BAPB retain their mechanical rigidity up to temperatures substantially higher than the glass transition temperatures of these polymers. The Young's modulus values of PEEK and PPS fall up to one tenth of the values, registered at RT, at the temperatures ~ 60—70 degrees above the glass transition temperatures of the polymers. On the other hand, the amorphous Ultem-1000 and R-BAPB demonstrate the dramatic decrease of the rigidity practically down to zero level at the temperatures right above the glass transition. Among the materials tested namely semi-crystalline R-BAPB is the most thermally stable one: at 250 °C it retains the compression modulus value at the level of 0.4 of the same modulus but estimated at RT.

Tribologic tests have evidenced the high wear resistance in the broad range of temperatures of the semi-crystalline materials studied. Both PEEK, PPhS and R-BAPB can work stable up to the temperatures of 250 °C in the friction units that are not subjected to the action of extremely high mechanical loads. The specific wear rates (W_s) of these materials in contact with the stainless steel counter-surface (steel surface roughness — 0.2±0.02 mm) at the contact pressure of 0.25 MPa and the speed of the counter-surface movement of 0.5 m/sec were as low as (3—6)×10⁻⁵ mm³/Nm, W_s being calculated from the expression:

$$W_s = \Delta m / (L\rho F_z),$$

where Δm , L , ρ and F_z are mass loss, sliding length, density of the material and normal force, respectively.

The specific wear rates of the amorphous Ultem-1000 under the same friction conditions were about one order higher than these of semi-crystalline thermoplastics.

The minimal friction coefficient k values of the materials tested under the above described friction conditions were registered at 150 °C — 0.23 for PPS and 0.19 for PEEK.

The work has been carried out with the financial support of the Russian and Belarusian Foundations for Basic Research (grant No 10-03-90005-Bel_a — T10P-051).

DYE AND POLYMER CO-DEPOSITION IN VACUUM

K.Grytsenko¹, Yu. Kolomzarov¹, O. Navozenko¹, O. Tolmachev²,
Yu. Slominski², S. Schrader³, and T. Galstian⁴

¹Institute of Semiconductor Physics, Kyiv, Ukraine,

²Institute of Organic Chemistry, Kyiv, Ukraine,

³University of Applied Sciences Wildau, Germany

⁴Centre for Optics, Photonics and Lasers, Department of Physics, Faculty of Sciences and Engineering,
Laval University, Quebec City, Canada

Recent decade evidenced abundant introduction of the organic functional materials into industrial production of the advanced devices, in particular, flat displays and solar cells. Organic dyes are mostly used as active material, while various polymers are used both as active and passive elements. The main disadvantage of the dyes is their low stability, therefore, they are frequently used in the polymer matrix. The most stable polytetrafluoroethylene (PTFE) and poly-paraphenylene sulphide (PPS) films can be deposited from gas phase only. The functional films based on PTFE are expected to possess high stability.

We obtained dye-filled PTFE and PPS thin films by co-deposition in vacuum for the first time in the world. Polymer matrix suppresses dye aggregation and strongly enhances stability of

dye optical properties to action of external factors. Optical properties of composite film depend of the properties of the polymer matrix (PTFE or PPS) and can be purposefully constructed by dye modification. Specially designed dyes are used for co-polymerization with polymers. The dye-filled thin polymer films are the new materials with new properties, which can not be explained as the sum of the properties of the dye and polymer. Nano-composite dye-filled polymer thin films can be used in micro-optical devices with advanced properties.

VACUUM DEPOSITED THIN PERFLUOROPOLYMER FILMS: ADVANCED APPLICATIONS

K. Grytsenko¹, Yu. Kolomzarov¹, O. Navozenko¹,
E.M. Tolstopyatov², S. Schrader³, and T. Galstian⁴

¹Institute of Semiconductor Physics, Kyiv, Ukraine

²Metal Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus

³University of Applied Sciences Wildau, Germany

⁴Centre for Optics, Photonics and Lasers, Department of Physics, Faculty of Sciences and Engineering,
Laval University, Quebec City, Canada

Perfluorinated polymers are of great particular interest because of their unique properties. It stimulates the efforts to use them in advanced high technology devices of micro- and optoelectronics, medicine, MEMS, and the like, in the thin film form. Thin films of insoluble perfluoropolymers such as polytetrafluoroethylene (PTFE) can be deposited by different methods from active gas phase. Chemical and supramolecular structure of the deposited polymer-like layers differ from that of corresponding commercial polymers. Using of additional means of the precursor molecule alteration in the gaseous state, and/or molecule assembling parameters on the surface gives great possibilities of controlling the film characteristics. For example, it is possible to obtain amorphous films of polymers (PTFE), that in the ordinary state are semi-crystalline. Amorphous polymer-like films are optically transparent and suitable for optoelectronic application, and decreased dielectrical permittivity ensures them technological advantages as *low-k* dielectric.

Using novel perfluorinated polymers of complex molecule structure significantly widens the film properties and variety of their application. While early researches in thin film science and technology were made in EU, USA and USSR, the recent works concerning industrial applications of the films were made in the countries of the South-East Asia.

The aim of the present report is to analyze the recent achievements in thin perfluorinated polymer film science and technology and to summarize experience of their applications in the advanced processes and novel devices.

OPTO-ELECTRICAL PROPERTIES OF NATURAL AND SYNTHETIC COMPOSITE POLYMERS

M.M. Hossain

Pabna Science and Technology University, Pabna, Bangladesh

The opto-electrical properties of both the natural and synthetic composite polymers were investigated by measuring transmittance, reflectance, dielectric constant and conductance at different frequencies. The effect of ionization and dyeing on the opto-electrical properties of natural composite polymer, i.e. silk-rayon, was also investigated. The effect of ionization on the opto-electrical properties of both the single and composite synthetic polymers, such as polyimide, polyimide-fluorocarbon, fluorocarbon-polyimide-fluorocarbon and fluorocarbon polymer film was investigated. Ionization effect shows that the transmittance decreases and reflectance increases with the increase of electrolysis for both the natural and synthetic composite polymers. Dielectric constant decreases, and, on the other hand conductance increases remarkably after the

ionization for both the natural and synthetic composite polymers. Dyeing and different colours have significant influence on the opto-electrical properties of composite natural polymers. The rayon-mixing rate on the composite also significantly affects the opto-electrical properties of natural polymer. The peak arises on the transmittance spectra for natural polymer may due to N–H group. On the other hand, it may due to C–O group for synthetic polymers. Only the surfaces of the bulk polyimide, polyimide- fluorocarbon-polyimide and fluorocarbon polymers film may take part in the mechanism of opto-electrical properties after ionization. On the other hand, polyimide-fluorocarbon barrier may takes part in the case of polyimide-fluorocarbon composite film. Ionization may be one of the most significant process for enhancing the conductivity of both natural and synthetic composite polymers.

EFFECTS OF NUCLEATING AGENTS ON CRYSTALLIZATION BEHAVIOR AND MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH-FLUID POLYPROPYLENE

Jiang Qi¹, Jia Hongbing¹, Wang Jingy¹, Fang Eryuan¹, Jiang Jing¹, and Feng Wu²

¹Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, China

²Nanjing Julong Engineering Plastics Co., LTD, Nanjing, China

As α , β nucleating agents respectively, on the crystallization and mechanical properties of high-fluid polypropylene have be as α , β nucleating agents respectively, on the crystallization and mechanical properties of high-fluid polypropylene have been investigated. The improved isothermal crystallization temperature from 126.5 to 137.7 and 133 °C, as determined by differential scanning calorimetry (DSC), suggests the rate of crystallization has been accelerated considerably. The significant different wide-angle X-ray diffraction (WAXD) pattern and the melting behavior in the presence of WBG indicates a high proportion of β -form has been produced. The portion of which, K_{β} , can be up to 78.5%. Interestingly, a dramatic increment of impact strength, as high as 191%, can be obtainable for PP with the introduction of WBG. In contrast, only 132% can be reached in the case of NA-21. The corresponding surfaces of fracture are observed by scanning electron microscope (SEM). At the same time, the flexural strength has been improved in both cases. However the effect of these additives on the tensile strength of PP differs. Specifically, the introduction of 0 to 0.2 wt.% of NA-21 results in an increment of 7% of the tensile strength, while a decrease of 6% is achieved in the case of WBG within the same amount. Therefore it is safe for us to conclude that WBG, being as a novel β -nucleator, play an essential role in enhanceing the impact strength of PP.

THE EFFECT OF COPPER THIN FILMS PREPARED BY RF MAGNETRON SPUTTERING ON THE THERMAL DECOMPOSITION OF AMMONIUM PERCHLORATE

Jing Zhao¹, Xiaohong Jiang¹, Feng Wu², Ruiqi Shen¹, Xin Wang¹, and Lude Lu¹

¹Key Lab of Soft Chemistry and Functional Materials of Ministry of Education, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China

²Nanjing Julong Engineering Plastics Co., LTD, Nanjing 210061, China

Copper thin films were prepared on the glass substrate using RF magnetron sputtering method at different deposition time. The structure, morphology and thickness of the as-prepared films were characterized by X-ray diffraction (XRD), atomic force microscopy (AFM) and the step profiler (XP-2). The results indicated that these films were cubic crystal structure of copper. The morphology of these films was spherical particles at the deposition time of 30 minutes, while it was cubic at 1 h. The thermal decomposition of ammonium perchlorate in the presence of Cu thin films has been investigated by differential scanning calorimetry (DSC). It was shown that the existence of Cu thin film decreased the low and the high temperature exothermic peak by

about 25 °C and 65 °C respectively, and increased the heat release of ammonium perchlorate to 1.22 kJ·g⁻¹. Compared with the Cu powder prepared by liquid method, the as-prepared Cu thin films revealed better catalytic effect on the thermal decomposition of ammonium perchlorate.

TAGUCHI BASED OPTIMIZATION OF CUTTING PARAMETERS IN TURNING OF PA-6 POLYAMIDE

M. Madic and M. Radovanovic

University of Nis, Faculty of Mechanical Engineering of Nis, Nis, Serbia

The polyamides find wide applications in engineering fields due to favorable properties and have replaced many traditional metallic materials. Although polyamides are produced by near net shape technologies, machining is often required to achieve special requirements of the finished products. Surface roughness, as main indicator of surface quality, and is one of the prime customer requirements for machined parts. This paper presents the application of Taguchi method for achieving better machinability during dry longitudinal turning of polyamide PA6. An orthogonal matrix experiment L₉ was conducted to relate the cutting parameters (cutting speed, feed rate, and depth of cut) on surface roughness. The analysis of means (ANOM) and analysis of variance (ANOVA) on signal to noise (S/N) ratios are employed to determine the optimal cutting parameter levels and to identify the significance of the cutting parameters. The results showed that the most significant parameter is feed rate followed by cutting speed and depth of cut.

APPLICATION OF POLYMERS IN FRICTION DRIVES

S. Pytko, J. Laska, and K. Furmanik

AGH University of Science and Technology, Kraków, Poland

Friction drives, i.e., mechanical transmissions in which two wheels in the transmission are used to transfer power to the driving wheels are often used in coal mines for transporting coal as well as heavy machines or people. Comparing to a standard transmission with sprockets or chain, a friction drive has an infinite number of potential gear ratios while using very few transmission components. It provides, then, very smooth motion as the mechanism is designed to virtually eliminate mechanical backlash and hysteresis. However, in every friction drive a slip develops between the friction elements: i.e., at the point of contact the driven wheel always has a slightly lower circumferential velocity than the driving wheel.

The main problem with such a type of drive system is that due to slippage it is not very efficient, especially as torque increases. Conversion much of the friction energy into heat creates additional problems and accelerated fretting of materials. Heat generation also requires a cooling system to keep the transmission working effectively.

Although a friction drive requires no clutch or oil bath, the secondary wheel endures substantial wear and has to be resurfaced often. In heavy or high-speed applications, e.g., in coal mines, still new materials showing high wear resistance are investigated.

In recent years the research has been focused on polymer materials and polymer composites. The group potentially effective polymers consist of vulcanized polybutadiene rubbers, polyester, polyacrylic and alkyd resins, and polyurethanes. Among them polyurethanes and their composites seem to be the most promising. They are a very unique group of polymers because of the easiness of modifying their properties at the stage of synthesis. Polyurethanes can be thermoplastic elastomers, which results in elastic and plastic strain on the surface contact of the polymer or a polymer composites and a abrasant, and makes them highly resistant on abrasion.

PREDICTIVE MODELING OF SURFACE ROUGHNESS IN TURNING OF PA-6 POLYAMIDE USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

M. Radovanovic and M. Madic

University of Nis, Faculty of Mechanical Engineering of Nis, Nis, Serbia

This paper presents an artificial neural network (ANN) modeling approach for the prediction of surface roughness during turning of polyamide PA6. Three cutting parameters such as cutting speed, feed rate and depth of cut were considered. A feed-forward back-propagation ANN was trained and tested using the experimental data from Taguchi experimental design. It was found that the ANN model has very good prediction performance in terms of agreement with experimental data. The ANN model provides a functional relationship between process parameters in the form of mathematical equation and can be used for further calculations and optimization.

EFFECT OF MECHANICAL PREHISTORY ON LASER ABLATION CHARACTERISTICS OF POLYTETRAFLUOROETHYLENE

E.M. Tolstopyatov¹, P.N. Grakovich¹, S.K. Rakhmanov¹, L.N. Nikitin², and A.Yu. Vasilkov²

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

²Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds of RAS, Moscow, Russia

The fiberization effect in the process of polytetrafluoroethylene (PTFE) ablation by CO₂ laser beam is being used now in the technological process of unique fiber-porous fluoropolymer production. However, the efficiency of fiberization is varied in a wide range in relation with polymer batch. Ascertainment of reasons governing this dependence would allow to stabilize the process and to increase its efficiency.

The aim of this work is investigation of the dependences of laser ablation intensity and fiberization efficiency on PTFE powder compacting pressure in the process of forming the solid polymer target.

The powder compacting pressure was varied in the range from 7.4 to 32.0 MPa. Heat treatment of the compacted pills was carried out following the standard temperature-time schedule with maximal temperature of 380 °C. The ablation was performed in vacuum using continuous CO₂ laser beam of 40 W power. The structure of the ablation crater surface was studied with using VEGA-II LSH scanning electron microscope; the microfibers material was described by using Nicolet 5700 FTIR spectrometer.

The nature of PTFE ablation process was established to vary with the compacting pressure variation. The polymer specimens, compacted below 13...14 MPa, produce no fiber fraction, as well as the specimens, compacted at higher than 500 MPa supercritical pressure. Maximal output of the fiber fraction (12...14 % of total ablated polymer) was achieved on the specimens compacted at 21...26 MPa. The upper value of this interval was mentioned to fall into the range of maximal values of mechanical characteristics of PTFE.

The conducted work had shown that ablation character of PTFE under CO₂ laser continuous beam is strongly depended on conditions of preparation of solid polymer from powder, in particular, on compacting pressure. The results obtained will be used to refine the PTFE laser ablation model, as well as to improve the technology of the fiber-porous fluoropolymer "GRIFTEX".

The work was supported by the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research (grant T10R-126) and the Russian Foundation for Basic Research (grant 10-03-90030-Бел_а).

EFFECT OF INERT INTERPHASES ON INTERFACIAL ADHESION AND FRICTION BETWEEN STEEL AND ICE

S.F. Zhandarov¹, L.F. Ivanov¹, and E. Mäder²

¹V.A. Bely Metal-Polymer Research Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus

²Leibniz Institute of Polymer Research Dresden, Germany

Controlling interfacial adhesion and friction between ice surface and metals is of great practical importance, in particular, for prevention of ice formation on power lines. One of the traditional adhesion control techniques is the deposition of specially developed coatings and interphases, including inert ones (anti-adhesive and antifrictional), onto one or both surfaces in contact. In this paper, the adhesive strength and the interfacial frictional stress between ice and low-carbon steel were determined using the pull-out test. We took nails having the nominal diameter of 2.50 mm, coated them with one of the three inert materials (see Table), embed to different lengths (5 to 32.5 mm) in the necks of standard PET bottles filled with cold water, and perform a standard pull-out test after freezing. For each group of specimens with different coatings, the maximum pull-out force was then plotted as a function of the embedded length, and the local adhesive strength, τ_d , and the interfacial shear stress, τ_f , were determined from the plots using our “indirect” model of the pull-out test.

	Coating	Deposition technique	τ_d , MPa	τ_f , MPa
1	w/o coating	—	6.78	0.77
2	Silicone	Using a soft cloth; then removing the excess coating (wiping) and specimen assembling	0.94	0.94
3	Antifrictional liquid “Fin Grease + Teflon” (Interflon)	From aerosol sprayer onto assembled specimens	2.05	0.06
4	Low molecular weight fluoropolymer	From dispersion in ethanol with subsequent thermal treatment (350 °C / 60 min), then cooling down and assembling	1.95	0.12

The highest local adhesive strength, $\tau_d \approx 6.8$ MPa, has been observed for the direct ice–steel contact. The apparent interfacial shear strength in this pair was $\tau_{app} = 0,8 \dots 1,3$ MPa, which was in agreement with the results reported by other authors who used different methods. All applied coatings significantly reduced the adhesive strength; the most effective anti-adhesive agent appeared to be silicone, which, however, in a paradoxical way increased the interfacial friction. At the same time, the other two coatings, though decreased interfacial adhesion somewhat lesser, reduced the friction in the system by an order of magnitude and even more. In our opinion, the difference in τ_f values for different types of specimens can be attributed to different mechanisms of friction in the pull-out test: for specimens 1 and 2, the interphase was very thin and friction was determined mainly by mechanical interlocking in surface asperities, while for specimens 3 and 4 the coating thickness exceeded the height of asperities, and “interfacial” shear occurred either within the coating itself or at one of its boundaries with the ice or steel. On the contrary, the adhesive failure at the interface occurs in normal tension and is always governed rather by intermolecular forces than surface asperities. The regularities observed allow to separately control interfacial adhesion and friction in ice–metal systems.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛАЗМИРОВАННОГО ВЫСОКОМОДУЛЬНОГО МНОГОФИЛАМЕНТНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

И.Ш. Абдуллин, М.Ф. Шаехов, И. А. Гришанова, О.С. Мигачева

Казанский государственный технологический университет, Казань, Россия

Полимерные материалы характеризуется низкими значениями поверхностной энергии, смачиваемостью и, как следствие, неудовлетворительной адгезии к матрице в композициях. Данное исследование посвящено влиянию различных плазмообразующих сред (аргон, аргон-пропан, пропан-бутан) и параметров обработки (давление, расхода плазмообразующего газа, продолжительности обработки, силы тока и напряжения на аноде) неравновесной низкотемпературной плазмой (ННТП) на физико-механические свойства свехвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) различных производителей.

ННТП обработка осуществлялась на экспериментальной высокочастотной емкостной (ВЧЕ) плазменной установке с целью улучшения адгезионных свойств полимера и получения на его основе высокопрочных композиционных материалов. Результат воздействия ВЧЕ-разряда на свойства полимера оценивался с помощью комплекса стандартных методов, включающих в себя методы микроскопического анализа, определение угла смачиваемости и капиллярности, определение деформационных характеристик при растяжении, определение адгезии методом вырывания волокна из матрицы (wet-pull-out) и метода планирования эксперимента.

Выявлено, что воздействие плазмы приводит к гидрофилизации и изменению механических и адгезионных свойств СВМПЭ, при этом прочность соединения волокна с эпоксидной матрицей возрастает в 2—3 раза в зависимости от производителя. Основное изменение гидрофильности происходит в течение короткого времени воздействия (~180 с). Значение краевого угла смачивания зависят как от природы плазмообразующего газа, так и от условий обработки. Получены математические модели двухфакторного эксперимента, позволяющие определить значение капиллярности СВМПЭ при варьировании параметров обработки.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИДКОСТЕЙ В МИКРО- И НАНООБЪЕМАХ

С.О. Абетковская, С.А. Чижик

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

В настоящее время происходит развитие науки о процессах протекания жидкостей и газов в системах с характерными линейными размерами от 1 мкм до 1 нм, получившей название «наногидродинамика». Пока нет уравнений наногидродинамики, но известны некоторые особенности: размеры каналов сравнимы с размерами молекул, движущихся по каналам; свойства (вязкость, диффузия, теплопроводность) могут содержать размерный фактор; взаимодействие нанопотока со стенкой может быть определяющим фактором; необратимые процессы на микро- и наноуровне могут вызвать изменение реологических свойств жидкостей, в том числе вязкости.

Апробированный подход основан на методе наноиндентирования на базе атомно-силовой микроскопии (АСМ). Наноиндентирование обычно используется для измерений упругих и адгезионных свойств твердых материалов. Для этого в процессе сближения острия (индентора) зонда на свободном конце консоли выполняется вдавливание в упругий материал. В данном случае в качестве образца использовался глицерин медицинский, микрообъемы которого создавались с помощью гидрофильной трековой мембраны политетрафторэтилена толщиной 23 мкм с характерным диаметром сквозных пор 0,8 мкм.

Мембрана закрывала жидкостную ячейку, заполненную глицерином. Выполнялось наноиндентирование в поры с глицерином с записью зависимости изгиба консоли зонда Z_{def} от сближения образца и острия Z_{pos} . Жидкостная ячейка устанавливалась на термическую ячейку при поддержании температур последней 20 °С, 30 °С, 120 °С поочередно. Изгиб консоли зонда вниз («затягивание» острия в глицерин) показывает, что АСМ-зонд чувствителен к капиллярным силам при вступлении в контакт острия с поверхностью глицерина. Значения капиллярных сил, действующих на зонд, составили 6,9—11,5 нН; 2,3—9,2 нН; 0,5—3,5 нН при температурах термоячейки 20 °С, 30 °С, 120 °С, соответственно. При достижении острием определенной глубины (0,1—1,6 мкм в зависимости от диаметра поры и угла наклона мембраны к зонду) зонд начинает деформировать мембрану, поскольку выше острия имеет форму конуса. Графики сил, которые действуют на зонд, погруженный в глицерин, при температуре 120 °С отличаются количественно и качественно от графиков, записанных при температурах 20 и 30 °С.

Таким образом, показана возможность измерения температурных зависимостей физико-механических свойств жидкостей в микро- и нанобъемах с помощью чувствительного элемента — зонда атомно-силового микроскопа.

ОПТИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПВС-ПЛЕНОК, СОДЕРЖАЩИХ НАНОЧАСТИЦЫ СЕРЕБРА И АНТИСТАТИК

В.Е. Агабеков¹, Н.А. Иванова¹, В.А. Длугунович², И.Ю. Глоба¹,
Т.Г. Космачева¹, И.В. Вощула², К.С. Космачев¹

¹Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь

²Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Пленки из полимерных материалов, модифицированные наночастицами серебра, могут использоваться в качестве термовлагостойких линейных поляризаторов, работающих на пропускание, а также как многофункциональные оптические элементы для жидкокристаллических устройств отображения информации (ЖКУ) — пассивных источников освещения с управляемым фоном подсветки. В определенном диапазоне углов наблюдения они могут одновременно быть линейными отражающими поляризаторами.

Изучено влияние модификации пленок поливинилового спирта (ПВС) наночастицами Ag и антистатиком (четвертичными аммониевыми соединениями — ЧАС), а также одноосного ориентирования растяжением, на их оптические и механические свойства.

Содержание Ag в пленках варьировали в пределах 0,2÷1,0 (мас.%), а ЧАС — 1,0÷10,0 (мас.%). Спектрально-поляризационные показатели ПВС-пленок и их угловое распределение измеряли с помощью гониофотометрического стокс-поляриметра, а механическую прочность определяли на универсальной испытательной машине «ZWICK-2005» (Германия).

Установлено, что введение до 10 мас.% ЧАС в ПВС-пленки, содержащие наночастицы Ag, практически не изменяет коэффициента их пропускания, увеличивая при этом коэффициент зеркального отражения до 4 раз. Одновременно в 25—30 раз возрастает интенсивность диффузно рассеянной компоненты отраженного и прошедшего излучения и существенно уменьшается его деполаризация при наблюдении под углами от 60° до 120°. Экспериментально подтверждено, что ПВС-пленки, ориентированные и модифицированные наночастицами Ag и ЧАС, обладают фазовой анизотропией и могут использоваться для компенсации фазовой задержки в ЖКУ.

Проведено сравнительное исследование механических, прочностных свойств ПВС-пленок без добавок и неориентированных с модифицированными пленками, содержащими различное количество ЧАС и наночастиц Ag. Установлено, что добавка ЧАС до 1,0 мас.% увеличивает эластичность модифицированной Ag пленки — ε (% удлинения при

разрыве) ≥ 50 раз. При ориентировании пленки прочность ее возрастает в 3 раза (пропорционально кратности растяжения), а пластичность уменьшается до 100 раз.

СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА ПРИ ВЗРЫВНОЙ ОБРАБОТКЕ

Н.А. Адаменко¹, Л.Н. Игнатьева², А.В. Казуров¹, В.Г. Курявый²,
Г.А. Зверев², А.Ю. Устинов³, В.М. Бузник³

¹Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

²Институт химии, Дальневосточный Научный Центр РАН, Владивосток, Россия

³Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова, Москва, Россия

Взрывная обработка (ВО) является высокоэнергетическим способом, обеспечивающим одновременное воздействие на полимерные материалы высоких давлений (более 1 ГПа) и температур, что позволяет при деформировании порошков осуществлять физико-химические превращения и синтез новых материалов. В настоящей работе приведены результаты исследований влияния ВО на структуру порошков политетрафторэтилена (ПТФЭ) марок ФОРУМ и Ф-4А. Изучены изменения молекулярного строения, химического и фазового состава, морфологии и термических свойств образцов, подвергнутых ВО. Исследования проводились методами ИК и КР спектроскопии, РЭС, РФА, ДТА и ТГА, ЭС и АС микроскопии.

Исследование ПТФЭ обоих марок показало, что после ВО давлением $P = 0,6$ ГПа согласно анализу ИК-спектров, в целом молекулярное строение полимера сохраняется, но образуются более длинные фторуглеродные цепи, увеличивается число CF_3 — боковых групп, а при $P > 1$ ГПа появляются окисленные формы углерода (количество кислорода составляет 5,57 ат.%). Происходит повышение температуры потери массы с 50 до 124 °С у ФОРУМа и с 460 до 510 °С у Ф-4А, что связано с увеличением молекулярной массы полимера за счет дополимеризации и образования более термически устойчивых структур. После ВО сохраняется высокая кристалличность полимера, но появляется новая аморфная фаза ($2\theta = 20\text{—}30^\circ$), характеризующая иной тип разупорядочения, не связанный с разориентацией спиралевидных молекул относительно друг друга, аналогично как при обработке в плазме электрического разряда. По данным ЭСМ и АСМ после ВО образуется плотная структура из деформированных и оплавленных частиц слоистого строения, а при ВО более высоким давлением образуются стержнеобразные частицы диаметром 50—200 нм с большим соотношением F/C и плотных областей, состоящих из спекшихся наночастиц шириной 30—50 нм, соединенных множеством пучков нитей наночастиц. По-видимому при воздействии взрыва некоторые области ПТФЭ уплотнились, а границы между плотными областями разрыхлились на наночастицы.

ОСОБЕННОСТИ НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЯ В МЕТАЛЛОФТОРОПЛАСТОВЫХ КОМПОЗИЦИЯХ ПРИ ВЗРЫВНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Н.А. Адаменко, А.В. Казуров, Г.В. Агафонова, И.В. Сергеев

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

Получение металлополимерных композиционных материалов (КМ) взрывным пресованием (ВП) порошковых смесей любых составов (от 3 до 90% металла) обеспечивает их высокие физико-механические свойства за счет структурных изменений и улучшения адгезионного взаимодействия составляющих. Высокоскоростное воздействие на полимерные системы высоких давлений и температур позволяет формировать новую структуру за

счет активного измельчения исходных компонентов и синтеза новых соединений при протекании физико-химических реакций. Целью работы являлось получение наноструктурных полимерных композитов на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) ВП порошковых смесей с металлическими наполнителями кольцевой ударной волной (УВ).

Исследование композиционных прессовок с содержанием металла (никеля и алюминия) от 50 до 90% показало неоднозначность влияния параметров ВП на формирование их структуры. Повышение давления в ударном фронте (P от 0,4 до 1,5 ГПа) интенсифицирует пластическую деформацию частиц вдоль ударного фронта, что сопровождается максимальным уплотнением полимерных прессовок, повышением температуры, приводящим к усилению процессов структурной модификации композита. При достижении критических режимов ВП ($P > 1—1,5$ ГПа) с трехволновой конфигурацией ударного фронта при исходной пористости смеси 40—60%, происходит локализация деформации, что приводит к скачкообразному изменению структуры в центре прессовки, которая характеризуется наноразмерными параметрами. При этом происходит измельчение не только отдельных фаз до наноразмерных, но и внутрифазовой кристаллической структуры, а также образование новых фаз, размер которых составляет от 20 до 400 нм, что подтверждает рентгеноструктурный анализ. При этом в отдельных случаях более крупные фазы (100—200 нм) дробятся и образуются ореолы из фаз, размер которых составляет 10—20 нм. Образование наноструктурированных зон в композитах с содержанием металла от 50 до 70% сопровождается интенсивным повышением микротвердости: для Al до 0,45—0,7 ГПа, для Ni до 2,0—3,5 ГПа. Вариация твердости в широких пределах связана с неоднозначностью влияния ударного давления, которое способствует наклепу и дроблению компонентов смеси, и энергии в ударном фронте, увеличение которой приводит к разогреву смеси и деструктивно-рекомбинационным процессам в полимере, рекристаллизации металла и образованию переплавов в виде металлоорганических сплавов с наноструктурными составляющими.

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ РАДИАЦИОННО-СШИТОГО ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

В.Н. Адериха, В.А. Шаповалов

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

Радиационное сшивание при температуре выше температуры плавления кристаллической фазы ПТФЭ — один из эффективных способов его физико-химического модифицирования, обеспечивающий существенное снижение ползучести и повышение износостойкости полимера. Установление взаимосвязи износостойкости и наиболее специфических структурных характеристик композитов на основе радиационно-сшитого ПТФЭ позволило бы оптимизировать технологические параметры модифицирования и управлять триботехническими характеристиками композитов посредством изменения условий облучения.

Предложен неразрушающий метод оценки определения износостойкости радиационно-сшитого ПТФЭ при трении по гладким металлическим поверхностям, в котором в качестве структурно-чувствительной характеристики использовали частоту сшивания трехмерной сетки. Ее оценивали по относительному содержанию функциональных групп, пропорциональному числу узлов сетки, в данном случае трифторметильных ($-CF_3$) групп, в качестве метода количественного определения их содержания использована ИК-спектроскопия поглощения. В качестве внутреннего стандарта использовали полосу поглощения дифторметиленовых ($-CF_2-$) групп.

Установлено, что взаимосвязь между износостойкостью радиационно-сшитого ПТФЭ и относительным содержанием трифторметильных групп в изученном диапазоне доз облучения может быть представлена уравнением вида $\lg W = a + b \times D_{2365cm^{-1}}^{985cm^{-1}}$, где W — ско-

рость изнашивания в мкг/ч, a и b — эмпирические константы, $D_{2365\text{см}^{-1}}^{985\text{см}^{-1}}$ — приведенная оптическая плотность полосы поглощения $-\text{CF}_3$ групп. Зависимость характеризуется коэффициентом корреляции $R = -0,988$, что позволяет с достаточной точностью прогнозировать износостойкость радиационно-сшитого ПТФЭ и использовать методику для оптимизации условий облучения и в качестве экспресс-метода технологического контроля.

О ВЗАИМОСВЯЗИ ДИНАМИЧЕСКОГО МЕХАНИЧЕСКОГО МОДУЛЯ ПОТЕРЬ И СКОРОСТИ АБРАЗИВНОГО ИЗНАШИВАНИЯ ПЛАСТМАСС

В.Н. Адери́ха, В.А. Шаповалов

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

Абразивное изнашивание полимеров представляет собой один из наиболее распространенных на практике видов изнашивания полимеров. Неизбежная шероховатость сопрягаемых поверхностей делает изнашивание по абразивному механизму, или резание, обязательным компонентом механизма изнашивания реальных узлов трения даже при относительно низкой шероховатости контрповерхностей как при сухом трении, так и, особенно, граничном трении.

Известные модели абразивного изнашивания связывают скорость изнашивания с твердостью, различными параметрами разрушения полимеров при механическом нагружении, например работой разрушения при растяжении, напряжением начала трещинообразования, скоростью роста трещин и др. Развиваются также исследования, рассматривающие ее зависимость от молекулярного строения и надмолекулярной структуры полимеров, напр. для полиэтиленов установлены корреляции между скоростью изнашивания и среднечисловой молекулярной массой M_n , содержанием проходных цепей, плотностью сетки межмолекулярных зацеплений и др.

В качестве критерия стойкости пластмасс к абразивному изнашиванию предлагается использовать модуль динамических механических потерь E'' , как структурно чувствительную характеристику полимера или композита, количественно отражающую его способность необратимо рассеивать механическую энергию при единичном или циклическом нагружении. Исследована связь между E'' полиамидов и полиэтиленов различного строения и скоростью их абразивного изнашивания по ГОСТ 11012 и показано, что с увеличением модуля потерь скорость абразивного изнашивания увеличивается. На примере полимерных смесей и композитов на основе полиамида 6 показано, что введение полимерных добавок, а также некоторых дисперсных и армирующих наполнителей увеличивают динамический механический модуль потерь и скорость абразивного изнашивания. Напротив, применение физико-химической обработки полимерной матрицы, обеспечивающее снижение модуля потерь, позволяет существенно уменьшить скорость абразивного изнашивания.

МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ КОМПАКТНО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ

В.М. Александров¹, Н.В. Ки́ршина¹, А.В. Оксина², В.А. Лобачев¹

¹НИИ импульсных процессов с опытным производством, Минск, Беларусь

²ЗАО ПТТ «Факел», Витебск, Беларусь

Компактно-пористые материалы (КПМ), получаемые методом порошковой металлургии, состоят из компактной подложки и пористого слоя, выполненного из различного рода дискретных частиц. Они весьма эффективны для систем водоподготовки и характеризуются широким диапазоном фильтрующих и механических свойств, способностью рабо-

тать при высоких значениях и перепадах температур (60—80 °С) и давлений (0,6—0,9 МПа).

Конструкция таких фильтров представляет сочетание собственно фильтрующего элемента с компактным элементом, обеспечивающим механическую прочность изделия, а также возможность его крепления в дренажной системе. Присутствие в структуре изделия элемента из компактного металла позволяет существенно повысить ресурс и эффективность их применения.

Разработанная технология позволяет отказаться от традиционной технологии сварки базовых элементов. Соединение компактного и пористого материала в данном случае будет осуществляется поэтапно на стадиях прессования и последующего спекания. На стадии прессования под действием давления дискретные частицы перемещаются к компактному материалу, плакируя прилегающую поверхность компактного металла, а на стадии спекания в результате нагрева прессовки происходит формирование металлических контактов за счет гетеродиффузии соединяемых материалов.

Использование для изготовления фильтроэлементов коррозионностойких материалов (хромоникелевая сталь 12Х18Н10, титан марки ТПП) позволит создать изделия, которые помимо высоких коррозионных свойств будет отличать: высокая механическая прочность; стойкость к высоким температурам и гидроударам; технологичность; регенерируемость.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕРМОСТОЙКИХ ВОЛОКНИСТЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРОВ АКРИЛОНИТРИЛА

Е.Ю. Александрова¹, А.А. Рыбаков², Л.О. Тржевецкая³, В.М. Бойко⁴,
Н.Н. Свинцицкая⁵, И.А. Будкуте³, Л.А. Щербина³

¹ОАО «Гродненский научно-исследовательский и проектный институт азотной промышленности и продуктов органического синтеза», Гродно, Беларусь

²ОАО «Могилевхимволокно», Могилев, Беларусь

³Могилевский государственный университет продовольствия, Могилев, Беларусь

⁴Завод «Полимир» ОАО «Нафтан», Новополоцк, Беларусь

⁵ОАО «Гродно Химволокно», Гродно, Беларусь

Интерес представляют композиционные материалы (КМ), армированные углеродными волокнистыми материалами (УВМ). Композиты с такими наполнителями находят все более широкое применение в различных областях техники. Для них характерны высокие значения прочности, химической стойкости, теплостойкости. Однако УВМ характеризуются достаточно высокой стоимостью, что для достижения конечных целей в некоторых случаях неоправданно. В этом случае достойной альтернативой могут быть волокнистые материалы, подвергнутые частичной термической обработке — термоокисленные полиакрилонитрильные (ПАН) волокна, которые обладают повышенными кислородным индексом (КИ), термостойкостью (до 300 °С), хемостойкостью, а также, что немаловажно, имеют цену в несколько раз более низкую по сравнению с УВМ.

В РБ на заводе «Полимир» ОАО «Нафтан» выпускается ПАН волокно на основе сополимера акрилонитрила (АН), метилакрилата (МА) и 2-акриламид-2-метилпропансульфокислоты (АМПС). Считается, что отсутствие карбоксильных групп в этом сополимере не позволяет использовать его для получения термоокисленных ПАН волокон по классической технологии, а перевод существующего производства на синтез сополимера нового композиционного состава не целесообразен. По этой причине важной научной и прикладной задачей является разработка технологии получения термоокисленного волокна из отечественного сырья и использования его в качестве наполнителя при производстве КМ.

С этой целью проведено исследование термоокислительной стабилизации (первой стадии получения УВМ) волокна на основе поли[АН-со-МА-со-АМПС] в присутствии соединений основного и кислотного характера. Динамику протекания термоокислительных процессов в полимерном субстрате оценивали по интенсивности изменения окраски волокна. Изменение химического строения образцов ПАН волокон контролировали ИК-спектроскопическим методом. Определены наиболее эффективные активаторы термоокислительной стабилизации ПАН прекурсора. Рассмотрены вопросы использования термоокисленных ПАН волокон при производстве КМ.

НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ И КЕРАМИЧЕСКИЕ КОМПОЗИТЫ ДЛЯ РАБОТЫ ПРИ СУХОМ ТРЕНИИ В ПОДШИПНИКЕ СКОЛЬЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР

В.В. Алисин, И.С. Кушников, Т.В. Силова

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия

Качество высокоэффективных термоэлектрических модулей на базе наноструктурных высокостабильных кристаллов теллурида висмута в значительной мере определяется надежностью работы установок синтеза, предназначенных для получения из исходных компонентов не ориентированных блоков термоэлектрического материала. Наименее надёжным и долговечным узлом установок синтеза является устройство перемешивания, ресурс работы которого лимитируется износом опорных элементов из графита, работающих при температурах до 500 °С. По техническим требованиям необходимо обеспечить безотказную работу технологического оборудования в течении 6 месяцев с функцией надежности $P(t) = 0,95$. Существующая конструкция узла перемешивания этим требованиям не удовлетворяет.

Работа посвящена экспериментальному подбору пары трения повышенными требованиями по надежности и ресурсу работы. Предварительный отбор материалов пар выполнен на основе физико-механических характеристик, определенных методом кинетического микроиндентирования на тестере CSM. Исследовались опытные образцы модифицированного фторопласта, а также технической керамики и кристаллов на основе диоксида циркония. В качестве контртела применялись образцы из титанового сплава ВТ-9, хромированной поверхности стали 30ХГСНА, циркониевой керамики. Триботехнические характеристики определялись на машинах трения УМТ-1 и МВП. Определены предельные нагрузки на пару трения, соответствующие «порогу» внешнего трения и задиру поверхностей. Механизм формирования процесса задира поверхностей рассмотрен на основе решения плоской задачи о движении единичной неровности по поверхности металла (в предположении идеальной пластичности) при условии, что молекулярное трение на границе раздела описывается двучленным законом трения.

Наибольший интерес представляют антифрикционный материал на основе радиационно-модифицированного политетрафторопласта и наноструктурированные кристаллы диоксида циркония частично стабилизированного оксидом иттрия при трении в паре с титановым сплавом ВТ-9 (альфированный).

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО ПРОЦЕССА ПРИ СВАРКЕ АРМИРОВАННЫХ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ

О.А. Аммосова, Н.П. Старостин

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия

В настоящее время одной из актуальных задач нефтегазовой отрасли является всестороннее изучение возможности использования армированных полиэтиленовых труб (АПТ) в газораспределительных сетях до 1,2 МПа и выше. Согласно нормативным документам сварку полиэтиленовых труб можно проводить при температурах окружающего воздуха от $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, что не охватывает низкие температуры, достигаемые в северных регионах России. Актуальной проблемой является разработка методов и средств оперативной сварки АПТ в регионах с холодным климатом.

В данной работе рассматривается этап нагрева, на котором при сварке гильзы в условиях низких температур необходимо обеспечить такую же границу проплавления, что и при допустимых температурах воздуха.

Согласно расчетам проведение сварки АПТ с помощью гильзы при низких температурах воздуха не обеспечивает необходимую динамику температурного поля. Для сближения температурных полей в зоне сварки предлагается использование предварительного прогрева стенки трубы. Предварительный прогрев стенки трубы при температурах воздуха ниже нормативных осуществляется путем понижения напряжения передаваемого гильзе в течение некоторого промежутка времени. Расчетами был найден период времени предварительного прогрева при температуре окружающего воздуха минус $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ равный 20 минутам. С целью достижения однородности температурного поля в трубе и гильзе напряжение на спираль не подается и происходит естественное охлаждение трубы в течение 2-х минут. Расчеты показывают, что зоны термического влияния (ЗТВ) полученные при допустимых температурах окружающего воздуха могут быть сближены с ЗТВ при низких температурах путем предварительного прогрева и выравнивания стенки трубы и гильзы.

ИОННО-ЛУЧЕВЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ХРОМА С ДОБАВКОЙ MoS_2

М.А. Андреев, Л.В. Маркова, А.Н. Мойсейчик, В.В. Коледа

Институт порошковой металлургии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Формирование и исследование покрытий на основе дисульфида молибдена является одним из наиболее перспективных направлений в области создания твердосмазочных покрытий. Объектами исследования в данной работе служили твердосмазочные покрытия, сформированные путем распыления мишени состава $\text{Cr} + \text{MoS}_2$ (1:1) на стальную подложку.

Исследование морфологии поверхности твердосмазочных покрытий проводили на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения «Mira» фирмы «Tescan» (Чехия). Для исследования распределения элементов по поверхности применяли съемку в характеристическом рентгеновском излучении по программе Cameo+. Измерения микротвердости проводили на приборе Micromet-I с использованием индентора Кнупа с нагрузкой 2 г. Измерение толщины твердосмазочного покрытия проводили на профилометре-профилографе модели 252A1.

Исследование в сканирующем электронном микроскопе полученных покрытий показало, что формируется практически однородное плотное покрытие, без явно выраженных дефектов. Проведенное линейное сканирование свидетельствует о равномерном распределении хрома, молибдена и серы на модифицированной поверхности. Железо на поверхно-

сти образца отсутствует, что говорит о сплошности полученного покрытия. Установлено, что распределение Mo и S на поверхности практически полностью совпадают. Этот факт позволяет предположить, что при ионно-лучевом распылении мишени дисульфид молибдена не разлагается, а полностью переносится на подложку в виде кластеров MoS₂. Обработка снимков характеристического излучения по программе Cameo установила, что покрытия имеют мелкозернистую структуру. Между зернами Cr располагаются частицы MoS₂, размер которых не превышает 50 нм. Значение микротвердости исследуемых покрытий при толщине 0,355 мкм составляет 7700 МПа.

Таким образом, на основании проведенных исследований твердосмазочных покрытий на основе хрома с добавкой MoS₂, установлено, что покрытие имеет однородное дисперсное зеренное строение; установлено, что при ионно-лучевом распылении происходит полный перенос материала мишени на поверхность подложки и состав покрытия полностью совпадает с составом мишени.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОВЫШЕННОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬЮ

В.Н. Анисимов

Украинский государственный химико-технологический университет, Днепрпетровск, Украина

Ранее было установлено, что основными характеристиками, определяющими свойства термопластичных полиуретанов (ТПУ), являются их молекулярная масса и концентрация жестких сегментов. Регулированием данных параметров на стадии синтеза возможно получение материалов с заданными эксплуатационными характеристиками. Однако, в промышленных условиях такой подход является трудоемким и дорогостоящим. Поэтому в настоящее время основным способом получения композитов на основе ТПУ является их модификация на стадии переработки.

Предложено формирование полимерной матрицы проводить путем смешения материалов, имеющих различный химический состав на уровне полиэфирной составляющей, т.е. фактически создавать механические смеси по принципу взаимопроникающих сеток. При этом наличие в ингредиентах полимерной смеси жестких сегментов одного химического строения, формирующихся из дифенилметандиизоцианата и 1,4-бутандиола, позволяет получать двух и многокомпонентные системы с высокой совместимостью и абразивной стойкостью к истиранию.

Модифицирование ТПУ твердыми смазками (графит, дисульфид молибдена, фторопласт и др.) и эпоксифенольными олигомерами обеспечивает в условиях трения без подвода внешней смазки высокую износостойкость и антифрикционные характеристики, позволяет на 40—50 градусов поднять верхний температурный предел работоспособности изделий из них.

Окончательная обработка ТПУ в тепловых полях различной интенсивности (выдержка в термокамере, инфракрасное и лазерное воздействие) позволяет в 5—10 раз повысить износостойкость полиуретановых композиций при трении в воде.

Анализ экспериментальных исследований подтвердил правильность комплексного подхода к созданию полиуретановых композиций с повышенной износостойкостью. Установлено, что ряд характеристик (физико-механические, динамические, триботехнические) имеют экстремальную зависимость.

Оптимизация исследованных систем позволила определить наиболее перспективные составы полиуретановых композитов для их применения в качестве опор скольжения, подвижных и неподвижных герметизаторов, упругих элементов и т.д.

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

А.Г. Анисович¹, В.В. Ажаронок², В.В. Биран³, В.П. Сергиенко³

¹Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск, Беларусь

²Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Беларусь

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

В работе приводятся результаты экспериментальных исследований влияния высокочастотного магнитного поля на механические и триботехнические свойства полимерных композиционных материалов.

Объектом исследования являлись композиты на основе политетрафторэтилена, содержащие в качестве наполнителей дисперсные частицы металлов и их оксиды, а также микроволокна базальта. Воздействие высокочастотным магнитным полем как на исходные порошковые композиты, так и на прессованные образцы проводили на экспериментальной установке, при частоте электромагнитного поля 5,28 МГц с амплитудами магнитной и электрической составляющих 835 А/м и 17960 В/м соответственно. Структуру композитов исследовали с помощью рентгеноструктурного анализа, атомной силовой и электронной микроскопии. Триботехнические испытания проводили по схеме «вал–частичный вкладыш» при стационарных режимах трения. Динамический модуль упругости и коэффициент механических потерь полимерных композитов, изучали методами динамического механического анализа на виброиспытательной системе Tira.

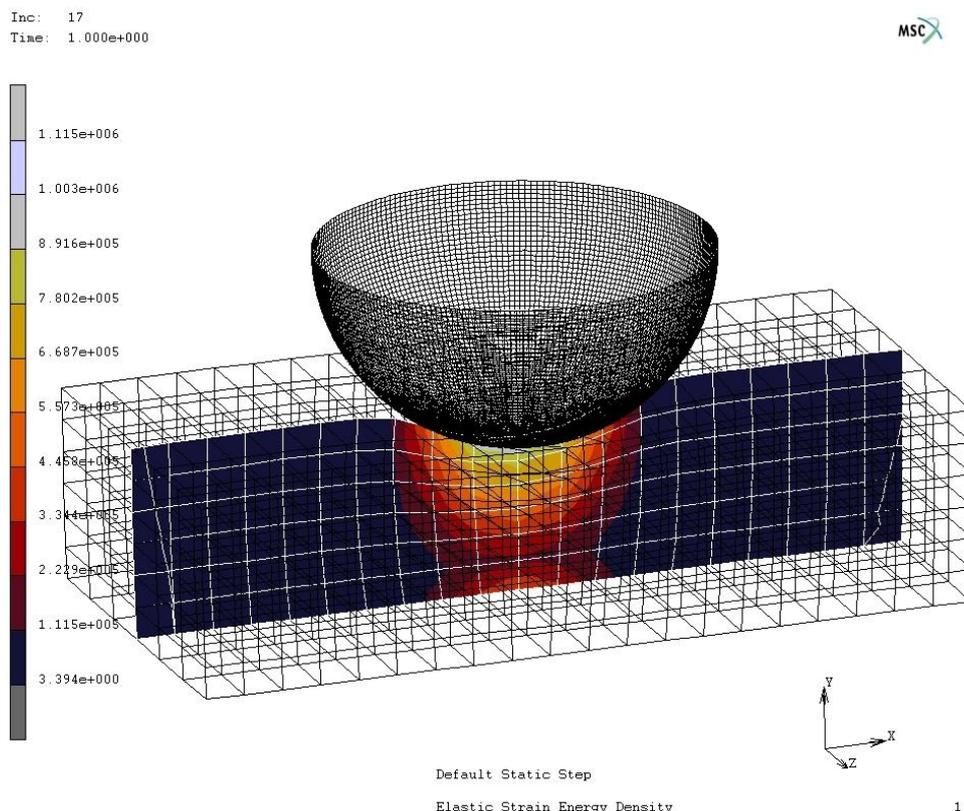
Показано, что воздействие магнитного поля вызывает, в некоторых случаях, трансформацию надмолекулярной структуры полимера. При высокотемпературном трении поверхность образцов, подвергнутых магнитной обработке, отличается от исходной: наблюдается более интенсивное изменение структурных элементов, повышается однородность контактной поверхности. Обнаружено увеличение динамического модуля упругости композита и снижение интенсивности изнашивания при трении без смазочного материала. Обсуждаются вероятные механизмы влияния высокочастотной магнитной обработки на свойства полимерных композитов.

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТРИБОХАРАКТЕРИСТИК РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА ПРИМЕРЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ШИНЫ

С.Б. Анфиногенов

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

При разработке новых технических решений в области трибологии и механики резинотехнических изделий (РТИ), для осуществления выбора материалов и конструкций с оптимальными триботехническими свойствами, например, коэффициентом сопротивления качению автомобильных шин, необходимо учитывать сложную конфигурацию резинотехнических изделий и особенности их напряженно-деформированного состояния. Предлагается расчетно-экспериментальная методика определения потерь на внутреннее трение в РТИ, которая основана на комплексном использовании конечноэлементного моделирования и экспериментального определения вязких характеристик материала методом динамического индентирования.



В качестве примера контактного взаимодействия РТИ в работе описывается конечно-элементная модель контактного нагружения сферическим индентором материала автомобильной шины. Для построения модели использован современный программный продукт конечноэлементного анализа MSC.MARC. В рамках разработанной модели получены эпюры распределения эквивалентного значения энергии деформирования. При этом материал РТИ рассматривался как нелинейно-упругий. Для характеристики механических свойств использовалась модель Муни-Ривлина. Вязкость материалов РТИ оценивалась с помощью электронно-механического блока «Импульс 1Р» (ИПФ НАН Беларуси), при использовании оригинального программного обеспечения идентификации эластичности по отскоку и коэффициента поглощения механической энергии (ИММС НАН Беларуси).

Проведя перерасчет результатов конечноэлементного моделирования с учетом экспериментального значения коэффициента поглощения, получены расчетные зависимости для определения энергетических потерь, что позволяет произвести уточнение ранее разработанных методик прогнозирования коэффициентов трения и сопротивления качения РТИ.

ФРЕТТИНГ-КОРРОЗИЯ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ NiP ПОКРЫТИЙ

И.Р. Асланян, Л.Ш. Шустер

Уфимский государственный технический университет, Уфа, Россия

Фреттинг-коррозия возникает на контактирующих поверхностях деталей машин, совершающих относительно друг друга колебательное движение с малой амплитудой при заданном давлении в условиях воздействия коррозионных сред. Одним из способов борьбы с фреттинг-коррозией является нанесение защитных покрытий. Целью данной работы является исследование процессов фреттинг-коррозии NiP и композиционных NiP–SiC покрытий до и после термической обработки в растворе NaCl при амплитуде 100 и 500 мкм и нагрузках 1, 5 и 10 Н.

На изнашивание при фреттинг-коррозии исследуемых покрытий в растворе NaCl оказывают влияние их состав и термическая обработка. При отжиге покрытий при температуре 420 °С происходит выделение твердой кристаллической фазы Ni₃P, которая существенно (в 1,5—2 раза) повышает микротвердость покрытий. Кроме того, добавка упрочняющих субмикронных карбидов кремния тоже повышает микротвердость покрытий, правда, не столь значительно, как термообработка. Причем, чем выше концентрация включений SiC, тем выше микротвердость покрытий.

Введение карбидов кремния в NiP покрытия приводит к увеличению числа питтингов при фреттинг-коррозии. Внедренные карбиды кремния в композиционных NiP–SiC покрытиях являются центрами локализации распространения коррозии. В NiP покрытиях питтинги расположены равномерно по поверхности трения и имеют не такой множественный характер.

С увеличением амплитуды при постоянной нагрузке, частоте и числе циклов изношенный объем покрытий увеличивается для всех типов покрытий. С введением карбидов кремния и увеличением их концентрации коэффициент трения покрытий увеличивается, а после проведения термической обработки с выделением кристаллической фазы Ni₃P и увеличением твердости покрытий коэффициент трения уменьшается.

Наиболее износостойкими покрытиями в исходном состоянии при нагрузке 10 Н и амплитуде 500 мкм являются композиционные NiP–SiC покрытия с количеством карбидов кремния 80 г/л в суспензии. После отжига наиболее износостойкими являются покрытия NiP без добавок.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБНЫХ МАРОК ПОЛИЭТИЛЕНОВ

Ф.И. Бабенко, А.К. Родионов

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия

Согласно действующим нормативным документам основным экспресс-методом контроля качества сварного стыкового соединения (ССС), является испытание образцоплаты со сварным швом на осевое растяжение. Критерием определения качества соединения является характер разрушения образца: недопустим хрупкий разрыв по плоскости сварки, при этом не менее 80% образцов должны разрушиться по основному материалу (линия разрыва не пересекает плоскость сварки). Таким образом, действующую методику определения качества сварного соединения следует признать малоинформативной с точки зрения ее использования при корректировке технологических режимов проведения сварочных работ, в частности, при температурах сварки ниже нормативных (–15°С).

В работе анализируются результаты испытаний на кратковременную прочность при растяжении образцов трубных марок полиэтиленов ПЭ63, ПЭ80 и ПЭ100 и их ССС. Эксперименты проведены на стандартных и модельных (со снятым гратом и надрезом) образцах ССС в температурном диапазоне 293—213 К и скорости испытаний 5—500 мм/мин. Расчетно-экспериментальным путем определены показатели трещиностойкости в основном материале труб и в зоне сплавления ССС. Установлено, что зависимость критических показателей трещиностойкости от скорости испытаний проходит через максимум, а предел трещиностойкости в зоне сплавления существенно ниже (10÷20%), чем в основном материале труб. Предложена качественная модель и произведена интерпретация характерных особенностей рельефа поверхностей излома модельных образцов ССС с надрезами. Произведена оценка значений показателей текучести материалов в зоне сплавления ССС, показавшая, что предел текучести (условный) в зоне сплавления выше, чем в основном материале трубы.

Предложено дополнить перечень методов испытаний, обязательных при проведении контроля качества ССС согласно СП 42-103-2003, методом испытаний модельных образцов на трещиностойкость. При этом критерием определения качества ССС предлагается выбирать предел трещиностойкости материала в зоне сплавления, определяемый расчетно-экспериментальным путем в испытаниях на кратковременную прочность при растяжении модельного образца ССС.

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ АРМИРОВАННЫХ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Ф.И. Бабенко, Ю.Ю. Федоров, А.К. Родионов, М.Е. Саввинова

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия

Ранее, в квазистатических испытаниях на прочность при растяжении (скорость 25 мм/мин) образцов армированных полиэтиленовых труб (АПТ) производства ЗАО «Сибгазппарат» в диапазоне климатических температур выявлен вязко-хрупкий переход (ВХП) при температуре -15°C . В трехслойной АПТ данной конструкции предусмотрен адгезионный слой (полиэтилен низкой плотности, сэвилен), связывающий армирующую (арамидная нить) и полиэтиленовые оболочки трубы (ПЭ80). Согласно терминологии ISO DTS 18226, в температурном диапазоне испытаний ниже температуры ВХП происходило нарушение «целостности» полиэтиленовых оболочек АПТ по механизму хрупкого про-
растания трещины и, следовательно, разрушение конструкции.

В настоящем исследовании получена зависимость температуры ВХП от скорости испытаний ($25 \div 100$ мм/мин) на растяжение модельных образцов в виде лопаток (тип 2), изготовленных из АПТ диаметром 140мм и номинальной толщиной стенки 17,5мм. Установлено, что при увеличении скорости испытаний модельных образцов АПТ данной конструкции на растяжение от 25 до 100 мм/мин и выше, температура ВХП возрастает от -15°C до значения 0°C . Исследован, интерпретирован и апробирован в модельных экспериментах с нанесенными на поверхность полиэтиленовых образцов хрупкими слоями, механизм разрушения модельного образца. Он заключается в растрескивании промежуточного слоя (либо границы раздела), адгезионно связанного со слоями полиэтилена (внутренняя и внешняя оболочки АПТ), способность которых к торможению трещины и определяет переход от вязкого разрушения к хрупкому при понижении температуры испытаний. Переход от вязкого разрушения к хрупкому определяется вязко-хрупким переходом в механизме разрушения полиэтиленовых слоев АПТ, а именно переходом в состояние плоской деформации в вершине разрушающей трещины.

Природа трещинообразования, развивающегося в промежуточном слое АПТ (либо на границе раздела), требует специального исследования, без которого в настоящий момент невозможно убедительно интерпретировать случайный характер проявления ВХП в механизме разрушения модельного образца. Отметим, что «спектр растрескивания» промежуточного слоя, определяющий хрупкое разрушение в температурном диапазоне испытаний, характеризуется деформациями $2,0 \div 6,7\%$ и напряжениями $16,4 \div 31,7$ МПа.

О ТРЕНИИ МЕЖДУ НИТЯМИ В АРАМИДНЫХ ТКАНЯХ

С.Л. Баженов, Г.П. Гончарук

Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, Москва, Россия

Ткани на основе высокопрочных арамидных волокон обладают высокой способностью диссипировать энергию при баллистическом ударе. В работе поставлен вопрос о

причине такого поведения и сделан вывод, что основной вклад в диссипацию энергии при трансверсальном баллистическом ударе вносят силы трения между комплексными нитями. Разработана методика определения силы трения нитей в арамидных тканях на испытательной машине фирмы Shimadzu. Предложен низкоскоростной метод, моделирующий трансверсальный удар по ткани и пакету, состоящему из нескольких слоев ткани.

Установлено, что трение в тканях зависит от способа переплетения нитей и снижается в ряду полотно–саржа–сатин. Зависимость максимальной силы трения от количества вытягиваемых нитей в ткани полотняного переплетения нелинейна. Высокие силы трения в полотне приводят к преждевременному разрушению ткани. Снижение плотности ткани (разреженное полотно) приводит к уменьшению сил трения между нитями. Линейная плотность нитей в тканях различного переплетения влияет на трение неоднозначно. Показано различное поведение тканей при вытягивании нитей низкоскоростным методом, имитирующим баллистический удар. Разработана методика изменения трения нитей в ткани путем нанесения поверхностного покрытия.

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА, ПЛАСТИФИЦИРОВАННОГО НЕФТЬЮ

В.А. Банный¹, Ж.Н. Громыко², А.С. Неверов²

¹Институт механики металлополимерных систем им. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

При добыче, переработке и транспортировке нефти образуется большое количество отходов, утилизация которых представляет серьезную проблему. Выполненные нами ранее исследования показали, что полиэтиленовые пленки, наполненные нефтью, проявляют антикоррозионные свойства, что позволяет использовать их для упаковки и консервации металлопродукции. Деформационно-прочностные свойства защитного материала стоят в ряду главнейших характеристик, определяющих его пригодность для этих целей.

Для оценки физико-механических характеристик полимерного композиционного материала исследовали показатели относительной деформации (%) при испытаниях на разрыв. Испытания проводили на разрывной машине РМУ-0,05, при постоянной скорости деформации 50 мм/мин.

При введении в полимер ограниченно совместимых с ним низкомолекулярных жидкостей его деформационные свойства изменяются неоднозначно. При использовании в качестве наполнителя жидких углеводородов на начальном периоде такого введения (до содержания нефти 20—30 мас.%) относительная деформация материала при испытаниях на разрыв значительно возрастает. Максимум относительной деформации соответствует 20—30 мас.% содержания нефти. При продолжении введения пластификатора до 40—50 мас.% величина относительного удлинения резко снижается. Первоначальное увеличение степени деформации обусловлено облегчением ориентации структурных элементов полимера. Действуя в качестве своеобразной смазки, низкомолекулярная жидкость снижает напряжения, необходимые для поворота и перемещения структурных элементов в процессе их ориентации под действием внешнего усилия. Достижимое при этом снижение внутренних напряжений позволяет без разрушения деформировать материал до значительно больших значений относительного удлинения. Появление множества дефектов в области формирования полимерного каркаса при 40—50 мас.% содержания пластификатора приводит к преждевременному разрушению материала, не позволяя реализовать большие значения относительной деформации. Для образцов, содержащих тяжелую нефть, максимум относительной деформации смещен в область более высоких содержаний нефти (30 мас.%) по сравнению с образцами, пластифицированными легкой нефтью.

Таким образом, можно утверждать, что пределом совместимости углеводородов нефти с полиэтиленом является их содержание в композиционном материале не более 20 мас.%. Удовлетворительным сочетанием деформационно-прочностных характеристик и антикоррозионных свойств характеризуются образцы с содержанием нефти 20—30 мас.%.

ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ОЛИГОДИЕНОВ С КОНЦЕВЫМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ГРУППАМИ

А.В. Баранцова, В.К. Грищенко, Н.А. Бусько, З.В. Фальченко, Н.В. Гудзенко, А.И. Буря

Институт химии высокомолекулярных соединений НАН Украины, Киев, Украина

В отделе олигомеров ИХВС НАН Украины в течение многих лет ведутся работы по синтезу олигодиенов с концевыми функциональными группами (гидроксильными, аминными, гидразидными, гидразонными и др.) и получению на их основе полимерных материалов.

Важным вопросом при использовании полимерных материалов является их устойчивость к воздействию внешней среды. Мы предположили, что разработанные олигомеры перспективны для разработки защитных покрытий, стойких к воздействию водных, агрессивных сред и к гидроабразивному износу. Введение в состав олигомера полярных групп обеспечивает образование дополнительных химических и физических связей, что способствует структурированию и, следовательно, повышению физико-механических свойств эластомерных материалов на их основе.

На основе олигодиендиацилгидразонов и диизоцианатов разработаны изоцианатсодержащие форполимеры — олигодиенкарбаматдиизоцианаты, при отверждении которых ди- и полиароматическими аминами получены материалы, обладающие высокими физико-механическими свойствами: сопротивление разрыву — 8,0—25,0 МПа; относительное удлинение — 250—450%; сопротивление раздиру — 25—60 кН/м. Термостойкость (DTA) полимеров находится в пределах 230—250 °С. Гидрофобность диеновых блоков, входящих в состав полимерной цепи, объясняет тот факт, что полученные эластомеры характеризуются набуханием в 10—100 раз меньшим, чем уретановые эластомеры на основе полиэфиров. Полимеры устойчивы в течение трех месяцев и более, при температуре до 60 °С к воздействию: 60% H₂SO₄, 60% H₃PO₄, 20% HNO₃, 20% HCl, 20% HF и их смесей, 40% NaOH, а также в растворах солей. Поэтому разработанные материалы перспективны для использования в качестве защитных покрытий с повышенной термостойкостью, стойких к воздействию водных, агрессивных сред и гидроабразивному износу.

ГРАФТ СОПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ ФТОРКАУЧУКА СКФ-26

О.В. Баринев, М.В. Журавлёв, О.В. Благодатова, И.В. Кокотин,
Н.В. Лебедев, В.А. Губанов

ФГУП НИИСК им. С.В. Лебедева, Санкт-Петербург, Россия

Графт сополимеры — это полимеры содержащие в основной цепи звенья одного и боковые звенья другого типа. Для их получения обычно используется двухстадийная модификация фторэластомеров — процесс дегидрофторирования с образованием двойных связей и последующая прививка по вновь образованным связям дополнительных групп. В работе исследован новый — одностадийный процесс получения графт сополимеров на основе фторкаучука СКФ-26 (сополимеров винилиденфторида и гексафторпропилена в соотношении 75:25) при реакции в растворе ацетона с раствором гидроксида калия в различных алифатических спиртах. Показано, что в результате модификации образуются сопо-

лимеры (квазикомпозиционный материал) с комплексом новых свойств, содержащие алкоксидные остатки в виде боковых подвесок и двойные связи в основной цепи. Предложен возможный механизм процесса.

Доказательством получения графт сополимеров служат ИК и ЯМР спектры, а так же новые свойства материалов. В ИК-спектрах пленок в области колебаний С–Н связей наблюдается изменение интенсивностей и числа полос поглощения в зависимости от модифицирующего агента, при использовании аллилового спирта наблюдается полоса поглощения концевых двойных связей спирта, которые в свою очередь могут быть подвергнуты дальнейшим химическим превращениям.

ЯМР ^{19}F и ^1H спектры растворов графт сополимеров демонстрируют различие в количестве и тонкой структуре сигналов в зависимости от модифицирующего агента (фторированный или нефторированный спирт).

Прочность пленок, полученных из исходного фторкаучука и графт сополимеров в зависимости от типа модифицирующего спирта возрастает в ряду СКФ-26-этанол-трифторэтанол-тетрафторпропанол-изопропанол-метанол с 4,5 МПа до 14 МПа, относительное удлинение снижается в этом ряду с 1000% до 200%, а остаточное удлинение со 150% до 20%. При склеивании алюминия с алюминием композицией на основе новых сополимеров адгезия на отрыв при этанольной модификации составляет 3.5 МПа, при метанольной — 6.5 МПа, для исходного фторсополимера — 1.0 МПа.

Таким образом, полученные материалы обладают уровнем прочностных свойств подобно вулканизированным резинам, а высокая адгезия открывает новые возможности применения фторсополимеров.

ВТОРИЧНЫЕ ТЕРПЕНОИДНЫЕ ПРОДУКТЫ НА ОСНОВЕ КАНИФОЛИ — МОДИФИЦИРУЮЩИЕ ДОБАВКИ К ПРОМЫШЛЕННЫМ ПОЛИМЕРАМ

М.П. Бей, А.П. Ювченко

Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Малеинизированная канифоль, получаемая из канифоли и малеинового ангидрида, содержит в своем составе не менее 50% малеопимаровой кислоты (МПК) — ценного доступного терпеноидного продукта, легко выделяемого из малеинизированной канифоли в чистом виде и используемого для получения различных производных — биологически активных веществ, компонентов адгезионных составов, основ типографских красок и др.

Целью настоящей работы является разработка способов синтеза, исследование физико-химических свойств и определение путей практического использования новых терпеноидных соединений на основе МПК и её производных в качестве модифицирующих добавок к промышленным полимерам (полиэтилен, сополимер этилена и винилацетата (СЭВА) и др.).

Разработаны препаративные методы и методики синтеза широкого ряда новых вторичных кислород- и азотсодержащих терпеноидных продуктов на основе МПК, в том числе ненасыщенных сложных эфиров (аллиловый, пропаргиловый) малеопимаровой кислоты, N-*n*-алкил и N-арилимидов МПК, диимидов на основе МПК и 1,6-гексаметилендиамина, 1,4-фенилендиамина; моноамидов фумаропимаровой кислоты из амидов МПК. Получены новые аддукты с комплексом ценных свойств на основе канифоли, скипидара и итаконовой кислоты. Синтезирован новый терпеноидный продукт — цитраконопимаровая кислота в виде индивидуального изомера, а также смеси двух изомеров.

Совместно с ИММС НАН Беларуси (г. Гомель) исследованы особенности функционализации полиолефинов путем прививки к их молекулам полярных мономеров, включая новые вторичные продукты на основе малеинизированной канифоли. Показано, что ряд синтезированных веществ, в том числе аллиловый эфир МПК, перспективны для исполь-

зования в качестве модификаторов полимеров — полиэтилена, СЭВА с приданием полимерам широкого диапазона регулирования реологических и адгезионных свойств. С использованием аллилового эфира МПК на основе СЭВА разработан адгезив с повышенной адгезией к полярным субстратам и пониженной вязкостью расплава.

ПОЛИСУЛЬФОНЫ, ОТВЕЧАЮЩИЕ ТРЕБОВАНИЯМ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ

Э.Я. Бейдер, Г.Н. Петрова

ФГУП «ВИАМ», Москва, Россия

В современных широкофюзеляжных самолетах типа Ил-96, А-380 используются 6—7 т полимерных материалов, что по величине эффективной теплоты сгорания эквивалентно 5 т авиационного топлива, находящегося среди людей в пассажирском салоне.

В Международных нормах ИКАО приводятся требования по горючести, дымообразованию и тепловыделению материалов и конструкций, используемых в интерьере летательных аппаратов. Поставлена задача разработать для вновь проектируемых самолетов пожаробезопасные материалы, позволяющие увеличить время эвакуации пассажиров до 10 мин и более вместо 2 мин по существующим нормам.

Разработка и организация производства новых полимерных материалов, в том числе мономеров, требуют больших материальных затрат. Учитывая небольшие потребности в новых материалах (авиакосмические аппараты — штучные изделия), финансирование и строительство в РФ таких предприятий маловероятно. Более перспективным представляется направление модификации существующих полимеров с пониженной горючестью.

В своей работе мы используем химическую и физическую модификацию полимерных материалов, в том числе введение наномодификаторов.

Введение в полисульфон карбовых и сульфидных групп (химическая модификация) позволяет:

- повысить кислородный индекс с 32,8 до 40%;
- снизить дымообразование в 2 раза;
- снизить тепловыделение пластика, в том числе стекло- и углепластика, в 2—4 раза;
- существенно увеличить с 40—75 сек до 285—300 сек время достижения максимального тепловыделения (увеличивается время для безопасной эвакуации пассажиров при пожаре).

Интересные данные получены при введении в полимер наномодификаторов. Известно, что антипирены снижают деформационные свойства пластиков. Если антипирены измельчить до наноразмеров и привить на их поверхность группы, препятствующие агрегации частиц, можно достигнуть требуемых пожаробезопасных свойств при резком снижении в 2—3 раза содержания антипиренов. При этом деформационные свойства термопластичной композиции остаются на исходном уровне.

Используя найденные закономерности, разработаны стекло- и углепластики, литьевая и экструзионная марки пожаробезопасных термопластичных композиций.

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ ТРИБОМЕТР

Е.В. Березина, В.А. Годлевский, М.Н. Корсаков, В.А. Сандлер

Ивановский государственный университет, Иваново, Россия

Прибор предназначен для исследования трибологических и оптических характеристик мезогенных смазочных материалов (СМ) при помощи поляризационного эффекта. Принцип его действия основан на взаимном вращательном перемещении плоскопараллельных

оптических окон с заданным зазором, в котором находятся испытываемые образцы СМ. Оптические окна формируют пару трения. Верхняя и нижняя поверхности трения имеют независимые регулировки своего положения, позволяющие менять рабочий зазор в паре трения в пределах 0,05...2 мм.

В процессе испытания регистрируется момент трения, фототок, появляющийся в анизотропной среде и скорость вращения оптических окон. Включенный в оптическую систему поляризатор при вращении «гасит» поляризованный луч лазера, таким образом, оптический сигнал, появляющийся в процессе относительного скольжения поверхностей, является свидетельством возникающей анизотропии СМ, т.е. надмолекулярной самоорганизации.

В основе работы механической части прибора заложен закон сохранения полного момента системы

$$M_{\text{п}} = M_0 + M_{\text{тр}} + Y \frac{d\omega}{dt},$$

где $M_{\text{п}}$ — полный момент системы, M_0 — внутренний момент двигателя, $M_{\text{тр}}$ — момент трения, $Y \frac{d\omega}{dt}$ — момент инерции.

Оптическая система прибора регистрирует наличие анизотропной среды в исследуемом образце, который размещен между оптическими окнами. Луч лазера, проходя через диафрагму, образец и анализатор, попадает на фотоприемник, который регистрирует фототок в анизотропной среде и отображает его на индикаторе.

Двигатель вращает вал с закрепленным на нем оптическим окном с постоянной скоростью вращения диапазоне 20...100 об/мин. При помещении образца между двумя оптическими окнами появляется момент трения, пропорциональный напряжению, необходимому для поддержания постоянной угловой скорости вращения вала и регистрируемый схемой прибора.

Работа выполнена при поддержке гранта Минобразования РФ № 2.1.2/4670

ОЦЕНКА СУПРАМОЛЕКУЛЯРНОЙ САМООРГАНИЗАЦИИ СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА В ЗОНЕ ТРЕНИЯ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОЛЕКУЛЯРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Е.В. Березина, В.А. Годлевский, С.А. Кузнецов

Ивановский государственный университет, Иваново, Россия

Информацию о процессах самоорганизации смазочных слоев можно получать методами компьютерного молекулярного моделирования (КММ) и/или молекулярной динамики. Пара трения со смазочным слоем (СС) в модельном представлении включает в себя пять составляющих слоевых элементов: две твердых поверхности, два «вырожденных» адсорбционных слоя и «объемный» слой смазочного материала (СМ). В процессе трения эти слои подвергаются сдвигу, непрерывное перестроению и самоорганизации молекул в слоях СМ. На начальной стадии моделирования трибосистемы в целом создают ряд модельных подсистем.

1) Модель единичной молекулы СМ. 2) Две модели сопряженных участков твердой поверхности. 3) Модель адсорбционного комплекса (молекула СМ + твердая поверхность). 4) Модель неадсорбированного кластера молекул СМ. 5) Модель адсорбированного монослоя молекул СМ на твердой поверхности. 6) Полислоевая модель адсорбционного слоя с выходом за пределы адсорбционного объема (граничного слоя) в область гидродинамической части слоя.

Перечисленные частные модели объединяют в оптимизационную математическую модель трибосистемы. Под оптимизацией понимают расчетную процедуру нахождения положения системы частиц, соответствующего минимуму энергии системы. Описание строят при следующих допущениях: 1) Система ограничена в объеме. 2) Твердая поверхность участвует в моделировании только как источник поля. 3) Доменная структура в смазочном слое отсутствует. 4) В системе не происходят химические реакции. 5) Поверхность не имеет шероховатостей и структурных дефектов. 6) Смазочный слой симметричен относительно плоскости раздела.

Основой пространственной модели СС служит молекулярный кластер, составленный из частиц СМ. Объем кластера (количество частиц) выбирают достаточным для отображения в нем надмолекулярных эффектов. Результатом моделирования является расчет на молекулярном уровне сдвиговых напряжений, возникающих в СС, с тем, чтобы предсказывать смазочное действие СМ на основе данных о его молекулярной природе и параметров функционирования трибосистемы.

Работа выполнена при поддержке гранта Минобразования РФ № 2.1.2/4670

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ АБРАЗИВНЫХ ПОРОШКОВ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГИДНОЙ СМОЛЫ

Л.Ю. Бильдюкевич, А.Л. Зайцев

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

Для разделения полупроводниковых пластин на отдельные кристаллы используются ультратонкие режущие диски, представляющие собой тончайшее лезвие в форме круга, связующим которого является полимер фенолформальдегидного типа с равномерно распределенными в нём по объёму абразивными зёрнами. Такой диск обеспечивает высокий процент выхода годных кристаллов, геометрическую точность кристаллов, низкий уровень сколов по краям кристаллов; ширину реза, равную его толщине. Требования к характеристикам диска обеспечиваются за счет технологических свойств используемого прессматериала. Основные свойства пресскомпозиции определяются свойствами смолы, а для придания прессматериалу определенных специфических свойств, прежде всего, нужно правильно выбрать наполнитель.

Исследовано влияние природы абразивного наполнителя на термомеханические свойства и текучесть композиций на основе фенолформальдегидной смолы ЛБС-3 (ГОСТ 901–95). В качестве дисперсных наполнителей использовали: оксиды алюминия, титана, кремния и карбиды титана и кремния. Концентрацию высокотвердых абразивных наполнителей в полимере варьировали от 5 до 60 об.%. По результатам проведенного термомеханического анализа из данных композиций выбраны наиболее технологичные, предложенные в качестве основы разрабатываемого прессматериала для изготовления ультратонких режущих дисков. Установлено, что при введении большого количества дисперсного наполнителя смола теряет текучесть вследствие образования пространственной сетки. По мере увеличения количества введенного порошка температура деформации пресскомпозиции сдвигается в область более высоких температур.

На основании анализа термомеханических кривых выбраны технологические режимы изготовления ультратонких режущих дисков.

ИЗНАШИВАНИЕ СИЛИКАТНОГО СТЕКЛА ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ СО СТАЛЬЮ

Д.А. Близнец, П.Н. Богданович

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь.

Производительность процесса изготовления оптических элементов зависит от интенсивности изнашивания стекла, а оптические свойства получаемых изделий — от топографии поверхностей, которая определяется доминирующим механизмом изнашивания.

Исследования проводились по схеме контакта цилиндрическая поверхность диска — плоскость на высокоскоростной (до 100 м/с) машине трения, оборудованной системой регистрации температурного поля. Топография поверхностей трения и кинетика изнашивания изучались с помощью лазерного конфокального микроскопа LEXT OLS3000 и телевизионной камеры.

Установлено, что зависимость массовой интенсивности изнашивания от скорости скольжения графически изображается кривой с минимумом, положение которого зависит от нагрузки. С увеличением нагрузки минимум кривой смещается в область меньших скоростей. Фрикционное взаимодействие приводит к одновременному появлению продольных борозд и усталостных микротрещин, распространяющихся перпендикулярно вектору скорости. С течением времени усталостные микротрещины объединяются в магистральную трещину. Поскольку микротрещины различаются временем “жизни” и глубиной распространения, а изнашиваемые материалы неоднородны по механическим свойствам, трещина приобретает пилообразный профиль и представляет собой набор углублений, размер которых различается более чем на порядок. Усталостные трещины в процессе трения объединяются с продольными полосами и на скоплениях дефектов структуры изменяют направление роста. Под действием циклических знакопеременных механических и термических нагрузок образуются подповерхностные трещины, происходит их частичное отслаивание с последующим диспергированием и удалением из зоны контакта. Тяжелые режимы нагружения сопровождаются локальным плавлением, о чем свидетельствуют оплавленные частицы износа.

Анализ температурных полей в зоне трения и прилегающих областях показывает, что максимум температуры наблюдается вблизи выхода трущихся тел из контакта. Это объясняет появление терморастрескивания не только в контактной области, но и за ее пределами.

Изнашивание стекла сопровождается хрупким, абразивным разрушением; усталостным и термическим растрескиванием; пластическим отеснением и плавлением. Один из этих механизмов изнашивания в различные периоды процесса оказывается доминирующим и определяется режимами нагружения.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ВОЛОЧЕНИЯ НА КОЭФФИЦИЕНТ КОНТАКТНОГО ТРЕНИЯ

Ю.Л. Бобарикин, С.В. Авсейков

Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Гомель, Беларусь

Описание закономерностей контактного трения при волочении уже долгое время является актуальной задачей. Основной характеристикой контактного трения является коэффициент трения. Скорость волочения оказывает существенное влияние на его величину посредством изменения условий захвата смазки. Степень этого влияния остается не изученной. Для оценки влияния скорости волочения на значение коэффициента контактного трения использовали метод расчета его значения исходя из известных экспериментальных

данных по проверенной математической зависимости. Математическая зависимость определяет величину усилия деформации при волочении от других параметров волочения, в том числе от коэффициента контактного трения.

Для оценки влияния скорости волочения на изменение коэффициента трения была проведена серия опытов на волочильном стенде однократного волочения. В опытах использовалась смазочно-охлаждающая жидкость для станков тонкого волочения VSV с концентрацией 10%, предварительно подогретая до температуры 40 °С, соответствующей температуре ванны с СОЖ в реальных условиях волочения. Диаметры протягиваемой проволоки соответствуют первым четырем переходам заводского маршрута волочения проволоки Ø 0,412 мм из заготовки Ø 2,45 мм с конечной скоростью волочения 5 м/с.

Было установлено, что при повышении скорости волочения в каждом переходе наблюдается снижение усилия волочения, что объясняется снижением коэффициента трения в результате более устойчивого захвата смазки.

На основании полученных экспериментальных значений усилия волочения при известных прочих параметрах процесса методом расчета по известной формуле были получены значения коэффициентов контактного трения. Из матрицы значений коэффициентов трения получена зависимость относительного изменения коэффициента трения от скорости волочения и суммарной деформации протягиваемой проволоки:

$$f = f_0 - (0,6862 - 0,9315 \cdot V_{\text{в}} - 0,3851 \cdot \varepsilon_{\text{п}} + 0,4589 \cdot V_{\text{в}} \cdot \varepsilon_{\text{п}} + 0,1519 \cdot V_{\text{в}}^2 + 0,191 \cdot \varepsilon_{\text{п}}^2)$$

где: f_0 — базовое значение коэффициента трения; $V_{\text{в}}$ — скорость волочения, м/с; $\varepsilon_{\text{п}}$ — суммарная пластическая деформация

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИХ АГЕНТОВ НА СВОЙСТВА ОГНЕЗАЩИЩЕННОГО НЕТКАНОГО МАТЕРИАЛА

В.В. Богданова¹, Л.В. Радкевич¹, Ю.М. Можейко²

¹Учреждение БГУ «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», Минск, Беларусь

²ОАО «Могилевхимволокно», Могилев, Беларусь

В рамках разработки антипиреновой системы, обладающей одновременно огнетушащими и фиксирующими свойствами, проведена корректировка рецептуры антипиреновой композиции СиАНС-1 с целью придания нетканым материалам дополнительных потребительских свойств. Ранее было установлено, что использование в качестве огнезащиты изделий из полиэфирного нетканого материала состава СиАНС-1, представляющего собой синтетический аммонийный металлофосфат, позволяет получить высокие показатели огнезащиты, и получить изделия хорошего внешнего вида. Надо отметить, что работа проводилась с материалом из полиэфира, а его волокна имеют, как известно, гидрофобную поверхность. С целью предотвращения выпыливания антипирена с поверхности нетканого материала при его эксплуатации изучали действие агентов, обладающих пленкообразующими и клеящими свойствами: синтетические смолы (КФБ, К-421-02), латексы (МБМ-3, DL-430, СКС-65, «Латедакс»), поливинилхлорид (ПВХ), сополимер винилхлорида с винилиденхлоридом (ВХВД), карбоксилированный стирол-бутадиеновый сополимер, карбоксиметилцел-люлозу (КМЦ), поливинилового спирт (ПВС), желатин.

Пленкообразователи наносили как на предварительно огнезащищенный материал, так и с использованием смеси антипирена с фиксирующим агентом. При этом предварительно установлено, что такие пленкообразующие агенты как синтетические смолы, латексы, ПВХ, ВХВД, КМЦ, ПВС и желатин не совмещаются с используемой нами аммонийной металлофосфатной системой СиАНС-1 15% концентрации. Наилучшую совместимость с

составом СиАНС-1 показала водная дисперсия карбоксилированного стирол-бутадиенового сополимера марки «Lipaton SB 5521» производства POLIMERLATEX GMBH.

Влияние концентрации пленкообразователя в рабочем растворе огнезащитных составов на огнестойкость обработанных ими изделий из полиэтилентерефталата оценивали по изменению величины кислородного индекса. По результатам эксперимента, установлено, что пленкообразующий компонент отрицательно сказывается на огнестойкости нетканого материала. Оптимальные результаты по огнезащитным и фиксирующим свойствам получены при содержании пленкообразователя в количестве 7 % по отношению к содержанию сухого вещества в составе.

ТЕПЛОПРОВОДНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТОВ

С.П. Богданович¹, Л.Л. Васильев², Л.П. Гракович²

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

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

Стабильность работы электронных вычислительных систем, их срок службы в значительной степени зависят от температурного режима эксплуатации. Поддерживать температуру микросхем в требуемом диапазоне позволяют системы охлаждения (СО). В настоящее время основными материалами для изготовления СО являются металлы и их сплавы, например медь, алюминий и др. Рядом ценных преимуществ по сравнению с металлами обладают полимерные материалы (ПМ): низкая плотность, возможность получения теплоотводящей поверхности практически любой формы, меньшая стоимость, легкость переработки. Применение ПМ в конструкциях СО сдерживается их низкой теплопроводностью (коэффициент теплопроводности для большинства из них $\lambda \approx 0,2 \div 0,4$ Вт/м·К), для металлов данный параметр достигает 400 Вт/м·К. В тоже время, согласно литературным данным, для обеспечения необходимого теплоотвода в ряде случаев могут использоваться материалы с $\lambda \approx 4—10$ Вт/м·К. Получение подобных композитов на полимерной основе возможно при использовании специальных наполнителей, обладающих высокой теплопроводностью, активно взаимодействующих с матричным полимером и образующих теплопроводный каркас.

Целью работы является создание полимерного композиционного материала с повышенными теплопроводностью и эластичностью, низкой плотностью (до $2,0$ кг/см³), потенциально пригодного для изготовления СО.

В качестве базовых полимеров использовали полиэфирные термоэластопласты и сополимеры полипропилена с этиленом. Теплопроводные дисперсные наполнители: углеродные материалы, в том числе нанодисперсные, а также порошки некоторых металлов. Компаундирование осуществляли на экструзионно-грануляционной линии на базе двухшнекового экструдера TSK 35/40 (L/D = 40). Физико-механические и теплофизические свойства материалов определяли в соответствии с действующими стандартами.

Установлено, что при введении наполнителя до 60 мас.% в полиэфирные эластомеры и сополимеры полипропилена, материалы сохраняют способность к деформированию (относительное удлинение при разрыве достигает 40%), при этом λ композитов возрастает в $5 \div 10$ раз по сравнению базовым полимером.

Наилучшее сочетание свойств (плотности и теплопроводности) достигается при использовании комбинированных наполнителей (теплопроводных тонкодисперсных частиц металла и углеродных нанонаполнителей). Композиты имеют плотность $\approx 1,7$ кг/см³ и $\lambda \approx 4$ Вт/м·К.

Полученные результаты являются основанием для разработки рецептуры и технологии теплопроводных материалов для изготовления СО взамен аналогичных изделий из металлов.

ПОЛУЧЕНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО МАГНИТНОГО МАСЛА

А.Н. Болотов, В.В. Новиков, О.О. Новикова

Тверской государственной технической университет, Тверь, Россия

Целью работы является создание магнитного масла с малой испаряемостью, способного функционировать в диапазоне температур: 60—200 °С и имеющего хорошие смазочные характеристики при граничном режиме трения. Особенность подхода заключается в том, что для стабилизации магнетита, являющегося дисперсной фазой, использовали олигомеры.

Технология получения масла состоит из следующих этапов:

- подбор жидкости-носителя по вязкостно-температурным свойствам, испаряемости и смазочной способности;
- синтез ПАВ-стабилизатора, образующего с магнетитом устойчивые магнитные коллоиды;
- получение и трибоиспытания магнитного масла.

Синтез ПАВ проводили методом прививки на полисилоксановый скелет поверхностно-активных фрагментов углеводородных полимеров. В качестве основы для прививки использовали непосредственно олиго-хлорсилоксан ХС-2-ІВВ, что обеспечивает максимальное сродство сольватной оболочки и дисперсионной среды, в качестве модифицирующего агента — акриловую кислоту. Исследование влияния модифицированного олиго-хлорсилоксана на смазочные свойства дисперсионной среды показало, что значительное ухудшение противоизносных свойств происходит при концентрации ~6 мас.%. Однако, у традиционной композиции ПЭС-5 + олеиновая кислота происходит резкое увеличение износа уже при содержании ПАВ ~1 мас.%. Это объясняется, в частности, низкой растворимостью жирных кислот в олиго-этилсилоксанах и спецификой адсорбции из таких сред, что приводит к адсорбционному понижению прочности и повышению износа.

Получали магнитное масло, обрабатывая предварительно очищенный ацетоном магнетит 20% раствором ПАВ в олиго-хлорсилоксане. Содержание ПАВ составляло 35 мас.%, от веса магнетита. Пептизацию вели при 80 °С в вакууме. После сепарации в центрифуге получали магнитное масло с намагниченностью насыщения 25 кА/м и вязкостью 0,45 Па·с. Длительные трибоиспытания показали, что ресурс разработанного масла превышает 1000 часов.

Таким образом, модифицирование олиго-силоксанов позволяет получить ПАВ, пригодные для стабилизации магнитных масел.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ГЕЛЕЙ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА

П.И. Бондаренко

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

Суспензирование порошка поливинилового спирта (ПВС) в дистиллированной воде и нагревание раствора в течение 40—60 мин при $T = 80—85$ °С приводит к получению однородных прозрачных гелей. Высушивание гелей ПВС на воздухе при комнатной температуре и низкой влажности сопровождается образованием прочных, оптически прозрачных, термопластичных пленок.

Цель работы — изучение закономерностей структурообразования в гелях ПВС, подвергнутых криообработке в диапазоне субнулевых температур.

В работе использовали 10 мас.% гель ПВС, структурирование которого проводили на воздухе при $T = 18—21$ °С: в 1-м случае — без предварительного замораживания, во 2-м — после экспонирования геля в области субнулевых температур ($T_{кр.} = -1 \div -5$ °С) в течение $\tau = 30$ мин. В ходе приготовления криогелей регулировали количество циклов «замораживание-оттаивание» и скорость оттаивания в криокамере.

Средствами оптической микроскопии установлено, что полученные криогели ПВС 10 мас.% обладают текстурой, составленной полиморфными элементами — тонкими тяжами, расходящимися радиально или расположенными под углом $70—90^\circ$, что обуславливает оптическую анизотропию образцов. Методом дифференциально-сканирующей калориметрии установлено, что повторная криообработка оказывает влияние на распределение связанной воды между аморфной и паракристаллической фазами криогеля. Исследование прочности пленок из сформированных криогелей показало, что релаксация напряжений в полимерной матрице происходит медленнее при увеличении кратности циклов криообработки и уменьшении скорости оттаивания ($v = 0,10—0,13$ °С).

Сделан вывод, что экспонирование гелей ПВС 10 мас.% в области субнулевых температур обуславливает протекание процессов структурирования, в которых активно участвует вода, специфически связанная с аморфной и паракристаллической фазами полимера. Полученные результаты важны с точки зрения разработки полимерных коллоидных систем и формоустойчивых изделий медицинской техники на их основе.

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НОВЫХ КРЕМНЕЗЕМНЫХ СМАЗОК

Л.И. Борисенко¹, Н.В. Борисенко¹, М.В. Курбатова²,
И.А. Любинин², Л.В. Железный², Г.П. Приходько¹

¹Институт химии поверхности им. А.А. Чуйко НАН Украины, Киев, Украина

²УКРНИИ НП «МАСМА», Киев, Украина

Известно, что смазки на основе кремнезема целесообразно применять в условиях высоких температур, химического и радиационного воздействия на узлы трения, где невозможным является использование смазок на органических, в т.ч. мыльных загустителях. Самым большим недостатком кремнеземных смазок является их низкая смазочная способность.

В настоящих исследованиях были изучены антифрикционные, противоизносные, противозадирные характеристики кремнеземных смазок и предложены способы их улучшения. Исследования были проведены на четырехшариковой машине трения в соответствии с ГОСТ 9490. При этом, дисперсной фазой служили как высокодисперсный кремнезем (А-300), так и наноккомпозит $\text{SiO}_2/\text{CeO}_2$, содержащий наночастицы CeO_2 (5 мас.%).

В смазочную композицию были добавлены порошки графита марки С-1, дисульфида молибдена, углеродных нанотрубок, фуллеренов. Эти добавки, не снижая высокотемпературных свойств кремнеземных смазок, существенно улучшили смазочные характеристики последних. Так, нагрузка сваривания для исходной смазки, содержащей кремнезем А-300 и ПЭС-5, увеличилась с 1300 Н до 1960 Н при добавлении 10% графита и дисульфида молибдена. При использовании в качестве загустителя наноккомпозита $\text{SiO}_2/\text{CeO}_2$, нагрузка сваривания возросла с 1230 Н до 2450 Н (в случае применения графита) и с 1230 Н до 3090 Н (в случае применения MoS_2). Добавки углеродных нанотрубок и фуллеренов не повлияли на смазочные характеристики.

Замена дисперсионной среды ПЭС-5 на минеральное масло ОБ-500 также приводит к положительному эффекту. Так, смазка на основе наноккомпозита $\text{SiO}_2/\text{CeO}_2$ характеризует-

ся смазочными свойствами на уровне мыльных смазок типа ЛИТОЛ-24. При введении MoS₂ нагрузка сваривания увеличилась до 3480 Н.

Авторы благодарны за финансовую поддержку работ целевой комплексной программой фундаментальных исследований НАН Украины «Фундаментальные проблемы наноструктурных систем, наноматериалов, нанотехнологий» (проект № 46/11-Н).

СИНТЕЗ НАНОКОМПОЗИТОВ ДИОКСИДОВ КРЕМНИЯ, ТИТАНА, ЦЕРИЯ, ЦИРКОНИЯ И СВОЙСТВА СМАЗОК НА ИХ ОСНОВЕ

Л.И. Борисенко¹, Г.Г. Мнищенко², Н.В. Борисенко¹, И.Я. Сулим¹, И.А. Любинин²,
К.С. Кулик¹, Л.В. Железный², Т.В. Чернявская¹

¹Институт химии поверхности им. А.А. Чуйко НАН Украины, Киев, Украина

²УКРНИИ НП «МАСМА», Киев, Украина

Применение смазок на основе высокодисперсного кремнезема (ВДК), а также его модифицированных производных целесообразно в узлах трения различных механизмов, работоспособных при высоких температурах, в агрессивных средах, в условиях вакуума и воздействия радиации.

Исследованы смазки, загустителем которых служил ВДК, содержащий наночастицы TiO₂, ZrO₂ и CeO₂. Наноконпозиты синтезировали модифицированием ВДК тетраизопророксидом титана или ацетилацетонатом циркония и церия с последующей термообработкой в окислительной атмосфере. Смазки получали путем диспергирования загустителя в дисперсионной среде при комнатной температуре с последующей гомогенизацией. Дисперсионной средой служили полидиэтилсилоксановая жидкость ПЭС-5 и минеральное масло ОБ-500 (таблица).

Свойства кремнеземных смазок

Загуститель/ кол-во, масс. %	Р при 25°С, м·10 ⁻⁴			К, %	К _t , %	Ис, %	Смазочные свойства		
	60*	1000	10000				Р _к , Н	Р _{св} , Н	И _з , Н
Смазки на основе ОБ-500									
А-300/ 7%	220	240	304	5,6	189	2,1	823	1300	373
А-300+CeO ₂ / 9%	285	290	323	15	183	2,2	1170	1570	479
Смазки на основе ПЭС-5									
А-300/ 7%	279	320	**	11,7	230	0,9	<196	1300	140
А-300+CeO ₂ /18 %	307	270	300	13,4	113	0,9	<196	1230	154

*) перебивание 60—10000 ударами, **) разрушение структуры, Р — пенетрация при 25 °С, К — коллоидная стабильность (% отделения масла), К_t — коэффициент термоупрочнения смазки при 200 °С, Ис — испаряемость при 200 °С, Р_к — нагрузка критическая, Р_{св} — нагрузка сваривания, И_з — индекс задира.

Показано, что устойчивость структуры смазки зависит от состава загустителя и типа дисперсионной среды. Модифицирование ВДК наночастицами TiO₂, ZrO₂, CeO₂ повышает механическую и термическую стабильности смазок, а использование минерального масла повышает загущающую способность наноконпозитов и улучшает смазочные характеристики.

Авторы благодарны за финансовую поддержку работ целевой комплексной программой фундаментальных исследований НАН Украины «Фундаментальные проблемы наноструктурных систем, наноматериалов, нанотехнологий» (проект № 46/11-Н).

СТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Т.А. Бочкарева¹, Л.А. Никифоров²

¹Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия

²Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия

В настоящее время полимерные композиционные материалы (ПКМ) являются наиболее перспективными материалами, используемыми в машиностроении. Они обеспечивают не только замену металлов и сплавов, но и повышают надежность и долговечность деталей машин. Применение ПКМ в узлах трения техники, особенно при эксплуатации в холодном климате, позволяет решить проблему повышения работоспособности и ресурса деталей.

Целью работы является исследование структуры ПКМ на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), наполненного наноразмерными α - и γ - Al_2O_3 и SiO_2 , а также природными слоистыми соединениями (бентонит, вермикулит и каолинит), подвергнутые механоактивации.

Методом электронной микроскопии, малоугловой и широкоугловой рентгеновской дифракции получены параметры кристаллических решеток порошковых материалов, степень кристалличности и изучена структура ПКМ в зависимости от природы наполнителя.

На основании проведенных исследований показано, что модифицирование СВМПЭ нанокomпонентами приводит к изменению структурных параметров ПКМ: степени кристалличности (α) и межплоскостных расстояний кристаллической решетки. При введении наполнителей в СВМПЭ происходит увеличение α на 14% для кристаллического α - Al_2O_3 , и на ~5% для аморфных оксидов SiO_2 и γ - Al_2O_3 .

Зарегистрировано увеличение межплоскостных расстояний в структурной решетке глины вследствие проникновения макромолекул СВМПЭ в межслойные пространства слоистой структуры глины. Это способствовало снижению коэффициента трения и возникновению эффекта самосмазывания в трибосопряжениях.

МИКРОБИЦИДНЫЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ СЕРЕБРОМ И СЕРЕБРОСОДЕРЖАЩИМИ КОМПОЗИЦИЯМИ

Г.А. Браницкий¹, В.Г. Соколов¹, Т.А. Азарова², Т.Н. Каменская³,
Н.А. Белясова⁴, Л.И. Антоновская⁴

¹НИИ физико-химических проблем БГУ, Минск, Беларусь

²Институт общей неорганической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

³Институт экспериментальной ветеринарии, им. С.И. Вышеллеского, Минск, Беларусь

⁴Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

Целью исследования является установление условий, при которых включение Ag в керамические материалы, из которых изготавливаются фильтроэлементы (ФЭ) для стерилизующей очистки жидкости, может предотвратить их от обрастания микроорганизмами в процессе эксплуатации. Использование Ag в ФЭ экономически оправдано, если его содержание не велико, оно прочно закреплено на поверхности, а методические приемы осаждения просты и мало затратны.

С этих позиций рассматриваются результаты изучения антимикробных свойств образцов алюмосиликатной керамики с содержанием Ag на уровне близком 2×10^{18} ат/см², при размерах частиц, не превышающих 100 нм.

Формирование Ag и композиционных пленок осуществлялось пропиткой образцов в растворах (растворитель — изопропиловый спирт, ИПС) с последующей сушкой и прогревом на воздухе. Используются растворы AgNO_3 , AgNO_3 в сочетании с полибутилтита-

натом (ПБТ), в том числе облученные ультрафиолетовым светом для формирования частиц фотолитического серебра. Продуктом гидролиза ПБТ при контакте с влагой воздуха является пленка (до 100—150 нм) рентгеноаморфного диоксида титана.

Обсуждаются причины различия антимикробных свойств образцов в отношении тест-культур следующих микроорганизмов: *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* и *Pseudomonas fluorescens*. Во всех образцах присутствуют не восстановленные формы серебра, являющиеся основным агентом, воздействующим на микроорганизмы. При их удалении (промывка в растворе аммиака или обработка NaBH_4 , CH_2O) антимикробная активность образцов заметно уменьшается.

АНАЛОГИЯ МЕЖДУ ПРОХОЖДЕНИЕМ ЧАСТИЦ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ ЧЕРЕЗ ТРИБОЗАБОР ПРИ ТРЕНИИ СКОЛЬЖЕНИЯ И ПРОХОЖДЕНИЕМ СВЕТА ЧЕРЕЗ ВЕЩЕСТВО

С.Б. Булгаревич, М.В. Бойко, Е.Н. Тарасова

Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону, Россия

При трении образуются частицы износа в виде дисперсной фазы твердого вещества. Авторами рассматривается аналогия в формальном описании прохождения дисперсной фазы через трибозазор и прохождения света через прозрачную, но поглощающую свет среду. Ослабление интенсивности потока частиц дисперсной фазы dI за счёт их удерживания поверхностями тела и контртела выразится формулой, представляющей дифференциальное соотношение между убылью интенсивности потока дисперсной фазы и элементом расстояния зазора трущихся тел dx : $dI = -\alpha dx$, где α — линейный коэффициент поглощения вещества дисперсной фазы трущимися телами. Интегрирование от 0 до l , где l — эффективная длина зазора трибосистемы, приводит к уравнению: $I_l = I_0 e^{-\alpha l}$, где I_l — интенсивность вышедшего из зазора длиной l потока дисперсных частиц. Уравнение, сходное законам Бугера-Ламберта-Бера, описывающим прохождение света через среду. При $\alpha > 0$ прохождение частиц дисперсной фазы через зазор между трущимися телами приводит к ослаблению интенсивности потока частиц. К случаю $\alpha \gg 0$ можно отнести явление безызносности при избирательном переносе — все частицы дисперсной фазы, попавшие в зазор, поглощаются сервовитной пленкой и последующий износ отсутствует. При $\alpha = 0$ отсутствует удержание частиц дисперсной фазы. При $\alpha < 0$ происходит увеличение интенсивности потока частиц дисперсной фазы. Величине $\alpha \ll 0$ отвечает катастрофический износ, например, абразивный (аналогия с фотоактивной средой). Поток частиц, попавших в зазор, способствует созданию большого числа новых частиц дисперсной фазы. На выходе из зазора, интенсивность потока частиц дисперсной фазы будет существенно больше, чем на входе. Последняя ситуация по аналогии с прохождением света через среду соответствует работе лазера. Аналогия все же весьма отдаленная, так как при трении отсутствует резонатор, но, тем не менее, в главном она имеет место: при $\alpha < 0$ заходит в зазор между трущимися телами меньшее число частиц, чем выходит из него. Работает трибоактивная среда. Авторы выражают благодарность РФФИ за поддержку проекта № 08-10-00025-а.

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ТЕРМОРЕАКТИВНЫХ СВЯЗУЮЩИХ

М.В. Бурмистр, Е.А. Липко, В.С. Бойко, Ю.М. Кобельчук,
О.И. Михайлова, К.О. Герасименко

Украинский государственный химико-технологический университет, Днепропетровск, Украина

В настоящее время полимерные композиционные материалы (ПКМ) на основе термоактивных фенолоформальдегидных связующих (ФФС) и волокнистых наполнителей широко используются в автомобильной, авиационной, космической, химической, металлургической промышленности и других отраслях народного хозяйства.

Целью работы было получение высокопрочных износостойких ПКМ на основе модифицированных термоактивных ФФС и базальтового волокнистого наполнителя.

Повышенный комплекс эксплуатационных характеристик ПКМ достигался за счет введения в состав ФФС ряда модификаторов, таких как кремнийорганические соединения или спирторастворимые N-алкилзамещенные производные полиамида ПА-6.

Базальтопластики получали пропиткой волокнистого наполнителя модифицированными фенолоформальдегидными связующими с дальнейшей сушкой полученных пресс-материалов и горячим прессованием стандартных образцов.

При разработке ПКМ исследовали адгезионное взаимодействие между наполнителем и полимерной матрицей, а также влияние на эксплуатационные характеристики таких технологических факторов как дисперсность базальтовых волокон, степень наполнения композиции, концентрация пропиточных растворов, количество и вид антифрикционных добавок. Для всех композиций определены оптимальные технологические параметры переработки прессматериалов в изделия.

Получены антифрикционные и конструкционные ПКМ с ударной вязкостью 130—190 кДж/м², пределом прочности при изгибе 120—350 МПа, пределом прочности при сжатии 110—130 МПа, теплостойкостью по Мартенсу 120—250 °С, водопоглощением 0,5—0,7%, коэффициентом трения 0,23—0,32 при скорости скольжения 0,3 м/с.

Разработанные ПКМ способны эксплуатироваться в тяжело нагруженных узлах трения при повышенных температурах и в агрессивных средах на трубопрокатных и других производствах.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ ОРГАНОПЛАСТИКОВ К ВОЗДЕЙСТВИЮ СОЛЯНОЙ КИСЛОТЫ

А.И. Буря, Э.В. Ткаченко, М.В. Бурмистр

Днепропетровский государственный аграрный университет, Днепропетровск, Украина

В связи с увеличением в последнее время требований техники к температурным пределам работоспособности полимерных изделий резко увеличился интерес к синтетическим материалам, обладающим высокими тепло- и термостойкостью, механической прочностью, износостойкостью.

Армирование термостойкого ароматического полиамида фенилон С-1 волокном Ари-мид-Т позволяет получить органопластики (ОП) с такими свойствами. В связи с тем, что ОП используются как материалы уплотнений, мы изучали их химическую стойкость в соляной кислоте.

Химическую стойкость оценивали по степени набухания образцов диаметром 50 и толщиной 2 мм в соляной кислоте в течение 10 суток.

Влияние содержания волокна Аримид-Т на свойства органопластиков

Показатели	Содержание волокна, мас.%				
	—	5	10	15	20
Набухание в 5% HCl, %	0,79	0,78	0,73	0,62	0,63
Микротвердость, кг/мм ²	23,3	23,4	24,2	31,6	35,6

Как видно из данных, представленных в таблице, по мере увеличения содержания волокна набухание ОП уменьшается, достигая минимума при содержании Аримида-Т в количестве 15 мас.%. В этом случае набухание ОП на 27,4% меньше, чем у исходного полимера. Достигнутый эффект можно объяснить химическим взаимодействием на границе раздела полимер-волокно, что подтверждается данными ИК-спектроскопии. Происходит взаимодействие как по «дефектным» незациклизованным имидным циклам, так и по самим имидным циклам:

- исчезает пик в цикле арил-амида при 1670 см⁻¹, который частично присутствует в непрессованном фенолоне и появляется минимум в области 1760—1780 см⁻¹;
- появляется полоса при 1685 см⁻¹ в прессованном образце ОП, свидетельствующая об образовании карбоксильной группы из бывшей имидной в волокне Аримид-Т.

Наряду с химическим взаимодействием наблюдается и физическое, упорядочение надмолекулярной структуры связующего, о чем свидетельствует рост его микротвердости. Поэтому в аморфной структуре исходного фенолона микрополости имеют больший размер и, следовательно, может быть создана значительно более высокая средняя концентрация агрессивной среды, чем в упорядоченных областях органопластика.

В случае увеличения концентрации кислоты с 5 до 10% набухание фенолона и ОП уменьшается в 1,4 и 1,7 раза соответственно, что можно объяснить снижением способности ионов кислоты попадать в микрополости материалов за счет уменьшения их подвижности.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЛОКСОПОЛИМЕРОВ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ ПОЛИАЗОИНИЦИАТОРОВ КАСТОРОВОГО МАСЛА

Н.А. Бусько, В.К. Грищенко, А.В. Баранцова,
Н.В. Бабкина, Ю.А. Сильченко, Я.В. Кочетова

Институт химии высокомолекулярных соединений НАН Украины, Киев, Украина

В настоящей работе представлены результаты изучения физико-химических свойств блоксополимеров (БСП), полученных методом радикальной полимеризации с использованием олигомерных полиазоинициаторов касторового масла (ОАИКМ). Олигомерные полиазоинициаторы с разным количеством иницирующих центров синтезированы на основе 2,2'-азо-бис-изобутирогидразона циклогексанона (АГН-ЦГ) и макротриизоцианата касторового масла (МТИКМ) при мольных соотношениях МТИКМ:АГН-ЦГ = 2:3, 2:1 и 1:1. Структура синтезированных ОАИКМ подтверждена методом ИК-Фурье спектроскопии.

На основе синтезированных полиазоинициаторов и мономера стирола методом термоинициированной радикальной полимеризации синтезированы БСП типа (АБ)_n (А — блок касторового масла, Б — блок олигостирола) с постоянной величиной блока касторового масла и различной величиной олигостирольного (ОСт) блока. Проведены кинетические исследования процессов синтеза БСП методом дифференциальной калориметрии на калориметре ДАК1-1А.

Методами ДСК и динамического механического анализа исследованы релаксационные переходы в гибких (касторовое масло) и жестких ОСт блоках полученных БСП и их вязкоупругие характеристики. Теплоемкость образцов измеряли в температурном интер-

вале -100 — 240 °С с помощью дифференциального калориметра Mettler Toledo Star SW7.00. Вязкоупругие характеристики изучали при использовании релаксометра в режиме вынужденных синусоидальных колебаний с частотой 100 Гц. Исследованные БСП представляют собой типичную двухфазную полимерную систему, о чем свидетельствует наличие двух температур стеклования (T_c) с образующейся межфазной областью. T_c низкотемпературного блока касторового масла остается практически неизменной во всей области составов, а также с увеличением величины ОСт блока, но закономерно увеличивается ΔC_p и уменьшается толщина межфазного слоя. Введение жесткого компонента (блока стирола) в касторовое масло значительно увеличивает значение E' как в стеклообразном состоянии (при -40 °С), так и при комнатной температуре (20 °С) для всех исследованных БСП. Таким образом, показано, что изменяя состав и величину блоков в БСП можно целенаправленно регулировать фазовую структуру и совместимость в полимерной системе.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОЙ СТРУКТУРЫ СМЕСЕЙ КОНФИГУРАЦИОННЫХ ИЗОМЕРОВ ПОЛИЛАКТИДОВ МЕТОДОМ ИК ФУРЬЕ СПЕКТРОСКОПИИ

Г.В. Бутовская¹, Д.А. Белов², Д.А. Котиков², Л.А. Крумплевская³

¹Научно-исследовательский институт физико-химических проблем БГУ, Минск, Беларусь

²Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

³Витебский государственный университет им. П.М. Машерова, Витебск, Беларусь

Ранее методами рентгенофазового и термомеханического анализа было показано, что полимерные пленки, формирующиеся из раствора смесей с поли-L-лактида с поли-D,L-лактидом в хлороформе, характеризуются более высокими по сравнению с аддитивными значениями степени кристалличности и температуры перехода в вязкотекучее релаксационное состояние. Однако на основании рентгенофазового анализа можно получить информацию только о суммарной степени кристалличности, что не позволяет выявить детали механизма повышения упорядоченности структуры в смесях полилактидов, тогда как метод ИК Фурье спектроскопии дает возможность соотнести фазовые превращения полилактидов с изменениями конфигурационного состояния их макромолекул.

Цель работы – выяснение влияния соотношения компонентов смеси поли-L-лактид – поли-D,L-лактид на кристаллическую структуру стереорегулярного поли-L-лактида. Объектами исследования были промышленные образцы полилактидов производства фирмы «Galactic» (Бельгия), а также их смеси с содержанием поли-L-лактида, равным 5, 10, 25 и 50 мас.%. ИК спектры пленок полилактидов записывали при комнатной температуре на спектрометре AVATAR FTIR-330 в области частот 400 — 4000 см^{-1} .

Обнаружено, что в ИК спектрах полоса $\text{C}=\text{O}$ валентных колебаний в диапазоне частот 1810 — 1710 см^{-1} , а также области CH , CH_3 деформационных и $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ валентных колебаний (1500 — 1000 см^{-1}), скелетных валентных и CH_3 маятниковых колебаний (960 — 830 см^{-1}) чувствительны к изменению кристаллической структуры поли-L-лактида.

Изучено влияние температуры и продолжительности термообработки пленок смесей поли-L- и поли-D,L-лактида на изменение интенсивности структурно-чувствительных полос ИК спектра. Обсуждается влияние атактического изомера на образование упорядоченных кристаллических областей в пленках, сформированных из раствора смесей полилактидов в хлороформе. Высказано предположение о механизме эффекта сверхаддитивного увеличения степени кристалличности в смесях стереорегулярного поли-L-лактида с атактическим поли-D,L-лактидом.

К УЧЁТУ ВЛИЯНИЯ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПОВЕДЕНИЕ АВТОКОРРЕЛЯЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ МИНИМИЗАЦИИ ОБЪЁМА ИСПЫТАНИЙ

И.А. Буяновский, Е.А. Правоторова

Институт машиноведения им А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия

Ранее разработан метод, позволяющий сократить объём трибологических испытаний при получении аналогичного объёма информации, основанный на представлении широкого класса трибологических процессов как стационарных и эргодических. Важной особенностью является использование характеристик случайных процессов, более информативных, чем традиционные, прежде всего – автокорреляционной функции, которая позволяет получить значительно более полную информацию об исследуемом процессе, чем отдельные числовые характеристики. Это создаёт возможность осуществить осреднение информации уже не традиционно, т.е. по количеству реализации в каждой точке исследуемого пространства, а по времени, что позволяет заметно сократить объём трибологических испытаний. Проведённый на базе теории автокорреляционных функций анализ большого количества экспериментальных данных, полученных как при сухом трении, так и при трении в среде различных смазочных материалов, позволил установить, что воспроизведённые на лабораторных машинах и стендах трибологические процессы могут быть с достаточной точностью рассмотрены как стационарные и эргодические. При этом было установлено, что поведение автокорреляционной функции при обработке результатов трибологических испытаний при сухом трении заметно отличалось от её поведения при испытании смазанных узлов трения. Так, скорость её приближения к нулю при увеличении времени испытаний в смазочных средах существенно выше, чем без смазочных материалов. Это позволяет значительно сократить продолжительность испытаний для подтверждения возможности применения простой и быстродействующей теории эргодических стационарных процессов. Таким образом, при трибологических испытаниях смазанных трибосопряжений экономия времени достигается как за счёт рассмотрения процессов этих испытаний как стационарных и эргодических, так и за счёт ускоренного (в два и более раза) достижения автокорреляционной функцией таких характеристик, как: интенсивность или скорость изнашивания, коэффициент трения и фрикционный подъём температуры, нулевого значения.

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ РАСХОДОМЕРОВ МЕТОДОМ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ.

А.М. Валенков¹, С.В. Пискунов²

¹Институт механики металлополимерных систем им В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

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

Одной из главных проблем, возникающих при эксплуатации расходомеров, является высокая чувствительность к загрязнениям рабочей среды (жидкость, газ). Это приводит к износу трущихся деталей расходомеров, что в свою очередь, отражается на достоверности проведенных замеров.

В работе изучен процесс формирования износостойких оксидно-керамических покрытий, полученных методом микродугового оксидирования (МДО) на деталях расходомеров, изготовленных из алюминиевого сплава Д16Т.

Покрытия формировали в силикатно-щелочном электролите. Микродуговое оксидирование осуществляли в гальваностатическом режиме с использованием импульсного и переменного токов. Плотность тока составляла $j = 0,3 \text{ А/дм}^2$, конечное напряжение $U = 480 \text{ В}$. Толщина полученных покрытий составляла 50 мкм, микротвердость — 17 ГПа.

Оптимизированы технологические параметры формирования данных покрытий. Установлено влияние токовых режимов и составов электролитов на свойства износостойких покрытий.

Установлено, что формирование на рабочей поверхности деталей расходомеров износостойких покрытий методом МДО значительно увеличивает срок службы расходомеров и надежно защищает поверхность от коррозии и гидроабразивного износа.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ УПРОЧНЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДА-12

А.М. Валенков, В.М. Шаповалов

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

При создании армированных полимерных композиционных систем эксплуатируемых в условиях высоких нагрузок одним из наиболее перспективных наполнителей являются углеродные волокна. Однако, наряду с комплексом уникальных свойств, поверхность углеродных волокон является химически инертной и гидрофобной, что отрицательно влияет на адгезионные взаимодействия при формировании межфазного слоя в объеме полимерной матрицы. В результате этого одной из задач в области композиционного материаловедения является разработка новых и усовершенствование существующих методов поверхностной функционализации углеродно-волокнистых наполнителей.

Цель работы заключается в изучении влияния электрохимической функционализации поверхности микроструктурированных углеродных волокон на прочностные свойства композиционных систем на основе полиамида-12.

В качестве объекта исследования использовался мелкодисперсный углеродно-волокнистый материал с диаметром частиц 50—750 нм, полученный в плазме высоковольтного разряда атмосферного давления. Функционализацию поверхности данного материала проводили в экспериментальной электрохимической ячейке с применением псевдооживленного дисперсионного электрода.

По результатам данного исследования оптимизированы рецептурно-технологические параметры процесса электрохимического окисления углеродного материала. С помощью спектроскопического и титриметрического анализа исследованы качественные и количественные показатели степени функционализации поверхности.

Исследованы механические свойства композиционных материалов на основе полиамида-12 с применением модифицированного углеродного наполнителя. Установлено, что модификация поверхности микроструктурированных углеродных волокон кислородсодержащими группами обеспечивает повышение прочностных свойств полученных композитов. Композиции характеризуются высокими показателями временного сопротивления при растяжении и ударной вязкости и могут быть использованы при получении материалов различного эксплуатационного назначения.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЛИЗА НА ОСАЖДЕНИЕ СПЛАВОВ Zn–Ni МЕТОДОМ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

Н.Г. Валько, И.И. Алесчик

Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Гродно, Беларусь

Поиск оптимальных режимов осаждения качественных гальванопокрытий Zn–Ni с заданными свойствами в настоящее время не возможен без математического моделирования. Однако из-за различного рода допущений, применяемых при математическом моделировании, не всегда удается получать адекватные результаты расчетов. Простым выходом в данной ситуации является моделирование электроосаждения по схеме полного факторного эксперимента.

Целью данной работы являлось исследование влияния различных факторов на выход сплава по току, толщину и элементный состав сплавов Zn–Ni, электролитически осаждаемых при воздействии рентгеновского излучения методом регрессионного анализа.

В качестве факторов, влияющих на процесс электроосаждения сплава Zn–Ni, рассматривались: плотность катодного тока, рН электролита, концентрация ионов никеля в растворе и экспозиционная доза рентгеновского излучения, действующего в процессе формирования покрытий. При планировании по схеме полного факторного эксперимента были реализованы все возможные комбинации факторов и были получены покрытия при соответствующих режимах электроосаждения. В ходе моделирования были составлены уравнения регрессии с учетом, квадратичного, тройного и четверного взаимодействия факторов.

Анализ коэффициентов при факторах позволил заключить, что выход по току сплава Zn–Ni и толщина покрытий в первую очередь зависят от плотности катодного тока и увеличиваются с возрастанием последнего. Установлено, что данные величины также зависят от кислотности электролита и мощности экспозиционной дозы рентгеновского излучения. Обнаружено, что действие рентгеновского излучения в процессе осаждения сплавов приводит к увеличению выхода по току и уменьшению толщины осадка при общем увеличении массы осаждаемого сплава.

РАЗРАБОТКА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА И БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА

С.В. Васильев, А.А. Охлопкова

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия

Базальтовые волокна обладают уникальными свойствами: высоким уровнем физико-механических и химических свойств; долговечностью, химической инертностью, экологичностью. Применение базальтовых волокон позволит улучшить физико-механические, физико-химические (стойкость в агрессивных средах) характеристики полимерных композитов. Целью данной работы была разработка и исследование свойств базальтопластиков на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ).

Приводятся результаты исследований по разработке новых полимерных материалов для изготовления узлов трения технических средств, эксплуатируемых в условиях холодного климата. В работе использовали смешение наполнителя с полимером в лопастном смесителе, что позволяет добиться равномерного распределения частиц наполнителя в матрице полимера.

Оптимальный комплекс свойств достигается при 5 масс. % содержании базальтового волокна. Установлено, что модификация ПТФЭ базальтовым волокном приводит к повышению деформационно-прочностных и триботехнических характеристик. Износостойкость повышается в 475 раз по сравнению с ненаполненным ПТФЭ, прочность и эластичность остаются на уровне ненаполненного ПТФЭ. Разработанные материалы характеризуются стабильными и низкими значениями коэффициента трения и интенсивности изнашивания, повышенными деформационно-прочностными показателями, обеспечивающими жесткость сопряжений и высокую несущую способность. Использование подобных материалов позволит многократно повысить ресурс узлов трения, а также решить проблему импортозамещения штатных уплотнений и подшипников.

РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖИДКОГО СТЕКЛА, ПОЛУЧЕННОГО ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ

Н.С. Васильева¹, Л.А. Алешина¹, А.Д. Фофанов¹, Е.Ф. Кудина²

¹Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия

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

Целью работы было выявление структурных особенностей образцов ксерогелей, полученных из водного раствора щелочного силиката (ВРС) при различных условиях дегидратации до постоянного веса: при 200 °С (образец 1) и в условиях микроволнового воздействия (образец 2). Исследование воздействия микроволнового нагрева проводили при частоте 2463 ± 10 МГц. В качестве ВРС использовали стандартное натриевое жидкое стекло (ГОСТ 13078, силикатный модуль $n = 2,9 \pm 0,1$ плотность $\rho = 1,45$ г/см³). Основной компонент дегидратированного ВРС представляет трисиликат натрия. Анализ тонкой структуры сформированных ксерогелей проводили методом РСА. Рентгенограммы исследуемых объектов получены на дифрактометрах типа ДРОН в $\text{Cu-K}\alpha$ излучении, монохроматизированном кристаллом пиролитического графита в первичных и отраженных лучах.

На обеих рентгенограммах на фоне диффузной картины рассеяния наблюдаются отражения от кристаллической фазы. Количество кристаллической фазы во втором образце больше, чем в первом. При дегидратации жидкого стекла в условиях микроволнового воздействия изменение картины рассеяния сводится к появлению дополнительного диффузного максимума под углом рассеяния $2\theta_{\text{Cu}} = 8,65^\circ$, соответствующему межплоскостному расстоянию $d = 10,22$ Å, и к изменению формы основного диффузного максимума, что говорит о различии в характере взаимного расположения атомов в образцах.

Качественный фазовый анализ показал, что рентгенограммы кристаллической фазы, входящей в состав ксерогелей, соответствуют рентгенограмме фазы $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Рассеяние аморфной составляющей образцов жидкого стекла резко отличается от рассеяния плавленным кварцем, ближний порядок в котором соответствует расположению атомов в структуре α -кварца.

«Старение» образца, полученного дегидратацией при 200 °С, в лабораторных условиях привело к появлению дополнительных отражений от кристаллической фазы на рентгенограмме, а также к изменению формы основного диффузного максимума со стороны меньших углов рассеяния, что говорит об изменениях во взаимном расположении атомов в области ближнего упорядочения. Установлено, что дополнительные линии на рентгенограмме принадлежат фазе $\text{Na}_3\text{H}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Исследования проведены при поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009—2013 гг. № П801 от 24 мая 2010 г.

ТРЕХМЕРНАЯ ГРАНИЧНАЯ ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ВОССТАНОВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ТЕПЛОТЫДЕЛЕНИЯ В ПОДШИПНИКАХ СКОЛЬЖЕНИЯ

М.А. Васильева, А.С. Кондаков, Н.П. Старостин

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия

При исследовании особенностей работы узлов трения, диагностике их технического состояния необходимо определение момента трения. Непосредственный замер момента трения в цилиндрических сопряжениях производятся громоздкими механическими устройствами. Такие традиционные устройства не могут быть размещены в узле трения эксплуатируемой техники.

Перспективным представляется применить метод тепловой диагностики трения, позволяющий восстанавливать момент трения по замерам температуры. Метод основан на том факте, что почти вся энергия, затрачиваемая на трение, трансформируется в теплоту. Для определения момента трения по температурным данным в подшипниках сопряжения возникает обратная задача восстановления функции мощности тепловыделения.

Анализ температурного поля полимерного подшипника скольжения с использованием полной трехмерной модели показал, что распределение температуры практически однородно по длине подшипника и корпуса. Влияние теплоотдачи от торцевых поверхностей подшипника незначительно. Вследствие этого втулку и корпус можно рассматривать плоскими, а вал трехмерным. Таким образом, трехмерное температурное поле в подшипнике скольжения представимо в виде суперпозиции двумерного и трехмерного полей.

В данной работе разработан алгоритм решения трехмерной граничной обратной задачи по восстановлению функции мощности тепловыделения по температурным данным методом итерационной регуляризации на основе градиентных методов минимизации функционала невязки.

Вычислительными экспериментами показана сходимость приближений к точному решению, но качество восстановления ухудшается по мере удаления от центра зоны трения по угловой координате. Наиболее точно функция восстанавливается в центре контактной зоны, где она принимает максимальное значение. Этого достаточно для принятия решений по техническому состоянию узла трения.

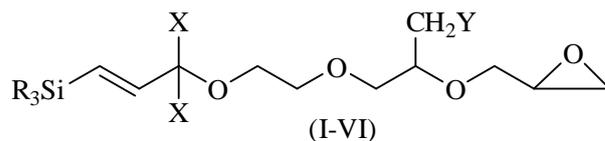
ПОЛУЧЕНИЕ ТЕРМОСТОЙКИХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ ОКСИРАНОВ

М.Г. Велиев, О.В. Аскеров, М.И. Шатинова, А.Ф. Гулиева, М.Ф. Хыдырова

Институт полимерных материалов НАН Азербайджана, Сумгайыт, Азербайджан

Среди многочисленных представителей кремнийорганических мономеров и модификаторов особое место занимают кремнийорганические эпоксидные соединения. При этом полимерные продукты и композиционные материалы, полученные на их основе, обладают улучшенными эксплуатационными свойствами: повышенной термостойкостью, стабильностью и механическими и диэлектрическими показателями.

С целью повышения термостойкости эпоксидной композиции на базе промышленной эпоксидиановой смолы проведено исследование по получению композиционных материалов путем использования кремнийорганических соединений, содержащих в молекуле функциональные группы и непердельные связи. Используемые кремнийорганические эпоксидные соединения синтезированы гидросилилированием соответствующих триарил(алкил-, алкокси-)гидридсиланами в присутствии металлокомплексных катализаторов — платинохлористоводородной кислоты и ацетилацетонатдикарбонила родия — и имеют следующее строение:



$R = C_6H_5$, $X = Y = Cl$ (I); $R = C_6H_5$, $X = Y = Br$ (II);

$R = C_2H_5$, $X = Br$, $Y = OCH_3$ (III); $R = OC_2H_5$, $X = Br$, $Y = OCOCH_3$ (IV);

$R = C_2H_5$, $X = Br$, $Y = OCOCH_3$ (V); $R = C_6H_5$, $X = Br$, $Y = OCH_3$ (VI)

Синтезированные кремнийорганические эпоксидные соединения (I-VI) были использованы для получения эпоксидиановых композиций на основе эпоксидиановой смолы (ЭД-20). Содержание кремнийорганических веществ (I-VI) — 10—50 мас.% на 100 мас.% ЭД-20. Полученные результаты свидетельствуют о том, что модификаторы (I-VI), содержащие в своей структуре оксиановые группы и атомы кремния, обладают более высоким стабилизирующим эффектом.

Показано, что все синтезированные кремнийсодержащие добавки (I-VI) повышают термостойкость эпоксидиановой композиции и относительное удлинение и могут применяться в качестве модификаторов эпоксидиановой смолы.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТИМОСТИ КОМПОНЕНТОВ ИНСЕКТИЦИДНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

Н.С. Винидиктова¹, Е.В. Лашкина², О.А. Ермолович²

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

Современные тенденции развития материаловедения в области создания композиционных материалов направлены на разработку новых композитов с дополнительными функциональными свойствами, позволяющими расширять область их применения. В нашей работе были проведены исследования по созданию новых инсектицидных полимерных материалов, предназначенных для борьбы с вредителями сельского хозяйства и для защиты продукции от воздействия биоагентов.

С целью оценки влияния компонентов инсектицидных композитов на деформационно-прочностные характеристики созданных на их основе пленок была изучена совместимость пластификатора — диоктилфталата (ДОФ) и инсектицидов — Актеллик, Перметрин, Циперметрин, Искра, Кинмикс методом ИК-спектроскопии (МНПВО), а также сравнением спектров пропускания материалов.

Сравнительный анализ ИК-спектров пленочных образцов ПЭВД/ДОФ/инсектицид показал, что между компонентами композита происходят физико-химические взаимодействия, причем с разной интенсивностью, как в объеме, так и на поверхности пленок, что приводит к улучшению термодинамической совместимости.

Наиболее заметные изменения в частоте полос наблюдаются в материалах состава ПЭВД/ДОФ/Перметрин и ПЭВД/ДОФ/Циперметрин, ПЭВД/ДОФ/Искра, характеризующие физико-химические реакции, протекающие между компонентами полимерной композиции. Смещение ряда полос поглощения, в частности сложноэфирной связи, в сторону больших волновых чисел коррелирует с удовлетворительными деформационно-прочностными характеристиками этих образцов.

Таким образом, проведенные исследования показали возможность совмещения компонентов инсектицидных полимерных материалов и получение новых гомогенных композиционных пленок с дополнительными функциональными свойствами.

**МЕТОД РЕШЕНИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ КОНТАКТНОЙ ЗАДАЧИ
ДЛЯ МЯГКОГО ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДИЕНТНОГО СЛОЯ,
ЛЕЖАЩЕГО НА ЖЕСТКОМ УПРУГОМ ОСНОВАНИИ.**

С.С. Волков, С.М. Айзикович, И.В. Погоцкая, З.В. Андреева

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

В настоящее время широкое распространение получили функционально-градиентные материалы, т. е. материалы, у которых упругие свойства изменяются непрерывно по одной из координат. При идентификации механических свойств биологических тканей и мягких полимеров возникает задача определения упругих свойств мягкого функционально-градиентного слоя лежащего на жестком однородном упругом основании.

Рассматривается осесимметричная контактная задача о вдавлении кругового штампа, с плоской подошвой, в функционально-градиентный мягкий слой толщины h , лежащий на однородном основании, упругие свойства которого отличаются значительно от упругих свойств подложки. Задача сводится к решению парного интегрального уравнения, трансформанта ядра $L(u)$ которого аппроксимируется выражением специального вида

$L_N(u) = \prod_{i=1}^N \frac{u^2 + A_i^2}{u^2 + B_i^2}$. Проанализированы случаи, когда модуль Юнга покрытия изменяется

по ряду линейных и тригонометрических законов.

Рассмотрен частный случай задачи, когда мягкое однородное покрытие лежит на жестком основании, упругие свойства которого отличаются до 1000 раз от свойств покрытия. Проводится сравнение полученных контактных напряжений, с контактными напряжениями, построенными ранее известными методами для несжимаемого основания. Показано, что по мере увеличения жесткости основания, значения контактных напряжений приближаются к контактными напряжениям для несжимаемого основания.

Используемый двусторонне асимптотический метод позволяет получить эффективное решение задачи для всего диапазона характерного геометрического параметра задачи и различной степени жесткости основания.

**ВТОРИЧНЫЕ ПРОДУКТЫ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ
КАК АЛЬТЕРНАТИВА НЕФТЯНЫМ БАЗОВЫМ МАСЛАМ**

Е.Н. Волнянко, Т.Г. Чмыхова

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

В последние годы глобальные тенденции в развитии нефтеперерабатывающей отрасли направлены на снижение затрат за счет увеличения выхода товарного продукта по отношению к сырой нефти. На современном этапе развития нефтепереработки широкое использование вторичных процессов позволяет нефтеперерабатывающим предприятиям осуществить значительно более глубокий отбор бензиновых и дизельных фракций, сократить переработку сырой нефти, при этом, не только сохранив ассортимент выпускаемой продукции, но и значительно его расширив. Радикальные изменения технологии процесса в целом обеспечивают вовлечение в переработку все более тяжелого сырья: если на первой стадии развития крекингу подвергались керосино-газойлевые фракции, а затем — вакуумные газойли, то за последние годы все возрастает число установок, использующих в качестве сырья нефтяные остатки: мазуты, деасфальтизаты и их смеси с вакуумными дистиллятами. Вакуумные дистилляты, получаемые при вакуумной перегонке мазута, используют, как правило, для дальнейшей переработки. В данной работе исследовали возможность применения вакуумных дистиллятов — вторичных продуктов переработки нефти — в качестве масляной основы при создании смазочных материалов.

Получены смазочные материалы, имеющие триботехнические характеристики, сравнимые с характеристиками смазочных материалов, изготовленных на основе промышленных масел, а по некоторым параметрам и превосходящие их. Так температура каплепадения и предел прочности соизмерим со смазочными материалами, изготовленными на основе высококачественных авиационных масел, и достигает 220 °С. Предел прочности имеет значение, характерное для смазочного материала Униол-1, в то время как параметр износа увеличен при различных нагрузках на 20%.

По результатам исследований сделан вывод о целесообразности применения вакуумного дистиллята в качестве основы при производстве смазочных материалов.

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФИЛЬТРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

С.В. Выдумчик, О.О. Гавриленко, М.А. Ксенофонтов, Т.Г. Павлюкевич, С.А. Чупрынский

НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ, Минск, Беларусь

Применение пенополиуретановых композиций для получения интегральных и эластичных полимеров экономически выгодно для создания нового поколения автомобильных и авиационных фильтров, так как их использование значительно уменьшает время на изготовления изделий. Технологию получения изделий из пенополиуретанов реализуют путем смешения в течение нескольких секунд двух взаимодействующих жидких композиций, сразу после чего с высокими скоростями начинаются процессы поликонденсации, вспенивания и отверждения.

Авторами разработан ряд смесительно-дозировочных установок низкого давления, которые широко внедрены на предприятиях Республики Беларусь, России и Украины для производства всех типов топливных, воздушных и масляных фильтров.

Работа смесительно-дозировочных установок низкого давления основана на дозации и смешении компонентов при давлении до 2,5 МПа в смесительной камере ротором, скорость вращения которого может достигать 18000 об/мин. В отличие от установок высокого давления смесительно-дозировочные установки низкого давления позволяют получать изделия из пенополиуретана массой от 0,001 до 10 кг.

В состав смесительно-дозировочной установки низкого давления входят следующие основные узлы: насосы-дозаторы с электроприводами, смесительное устройство, емкости с мешалками для компонентов и растворителя, устройство насыщения компонентов воздухом, термостат, пульт управления, поворотная стойка, пневморегулирующая аппаратура и контрольно-измерительные приборы.

Плотность пенополиуретана регулируется устройством для насыщения воздухом компонента А, основным элементом которого является керамический фильтр с эффективным размером пор около 10 мкм. Управление воздушным потоком осуществляется пневмораспределителем. Регулировка и контроль расхода воздуха в пределах от 0 до 4 л/мин производится с помощью ротаметра, а время, необходимое для насыщения воздухом компонента, отмеряется таймером.

В блоке управления используется микроконтроллер, с помощью которого выбираются режимы и задаются параметры работы установки: производительность, температура и соотношение компонентов, их массы и времени заливки, частота вращения вала смесительного устройства, время и продолжительность автоматической промывки смесительной камеры растворителем, время продувки воздухом камеры смешения, время насыщения воздухом компонента А, визуализация технологических параметров в процессе выпуска изделий.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЗУЧЕСТИ УПРУГОВЯЗКОПЛАСТИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ФТОРОПЛАСТА

С.Л. Гавриленко

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

Хладотекучесть, как проявление ползучести, в особенности свойственная политетрафторэтилену (ПТФЭ), в определенной степени способствует широкому использованию указанного полимерного материала в уплотнительной технике и прилеганию контактирующих поверхностей. С другой стороны, хладотекучесть приводит к нестабильности геометрической формы сопряжений из антифрикционных полимерных композитов при эксплуатации. Таким образом, в целях прогнозирования эксплуатационных характеристик трибосопряжений на стадии проектирования, необходимо описание и прогнозирование хладотекучести.

В данной работе описана методика прогнозирования хладотекучести на основе математического моделирования напряженно-деформированного состояния композита на основе фторопласта Флувис 20 в условиях сжатия. С этой целью проведена серия испытаний на сжатие цилиндрических образцов с характерной скоростью деформации, соответствующей квазистатическому случаю. В рамках нелинейной упруговязкопластической модели произведена идентификация модели в определенном диапазоне скоростей деформации. Испытания цилиндрических образцов на кратковременную ползучесть соответствовали вязкопластическому режиму нагружения. Из определяющего соотношения для усилия от параметров модели и нагружения путем математической обработки получена интегральная зависимость перемещения ползучести от времени. Полученная зависимость удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Д.Г. Гаврилов, С.В. Мамонов, М.И. Мартиросов, Л.Н. Рабинский

Московский авиационный институт (государственный технический университет), Москва, Россия

В работе проводятся экспериментальные и теоретические исследования по определению механических характеристик образцов из стали и цветных металлов, на которые нанесены различные защитные полимерные покрытия. Образцы для испытаний представляют собой прямоугольные пластины 12 x 120 мм различной толщины (0,8 мм, 1,0 мм, 1,5 мм и 2 мм). Перед нанесением лакокрасочных покрытий на исследуемые образцы проводили предварительную подготовку поверхностей: обезжиривание, а затем фосфатирование (для стали) и хроматирование (для цветных металлов). Затем электростатическим распылением на образцы наносили полимерную порошковую краску на эпоксидно-полиэфирной основе. Далее для повышения механических свойств и придания поверхности дополнительной износостойкости, долговечности и ударопрочности на окрашенную поверхность наносился керамический лак CeramiClear Deltron D8105 фирмы PPG Industries (США). Этот лак содержит керамические наночастицы, которые после нанесения лака на поверхность, затвердевая в печи полимеризации, образуют густую сетчатую структуру, которая выступает в качестве защитного слоя окрашенной металлической поверхности, улучшает ее эксплуатационные свойства. Толщину покрытия контролировали электронным толщиномером.

Проводились эксперименты на центральное растяжение и четырехточечный изгиб, сравнивались механические характеристики исследуемых образцов с аналогичными образцами без покрытия, а также с образцами, на которые на полимерную порошковую

краску наносили различные упрочняющие полиуретановые лаки или декоративные лаки, не являющиеся наноструктурированными. Эти эксперименты проводились на универсальной испытательной машине Zwick Z100 (Германия). Дается сравнение полученных экспериментальных результатов с данными численного моделирования в среде PATRAN/NASTRAN.

С помощью измерительного комплекса NanoTest 600 (Великобритания) проводили наноиндентирование изучаемых покрытий. Использовали индентор Берковича. Определяли твердость покрытия по Бринеллю, приведенный модуль упругости, модуль упругости краски и лака, податливость контакта и ряд других характеристик. Теоретические расчеты выполняли с помощью программного обеспечения на основе модели Оливера-Фарра.

На основании проведенных исследований на макро- и микроуровнях выявлена корреляция полученных данных, подтверждена работоспособность применяемой теоретической модели. Выработаны практические рекомендации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых и ведущих научных школ, код проекта НШ-64683.2010.8, а также при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009—2013 годы по лоту «Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров в области нанотехнологий и наноматериалов», госконтракт №02.740.11.0790 от 17.05.10 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ФЕНОЛОФОРМАЛЬДЕГИДНОЙ СМОЛЫ ПОСЛЕ ХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ

Т.Н. Генарова, А.Л. Зайцев

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

Основной особенностью фенольных олигомеров является способность образовывать трехмерные сетчатые структуры. Процесс поликонденсации и формирования конечной структуры происходит в результате развития сложных химических реакций. Механизм сшивки полимеров фенольного типа изучен недостаточно.

Известно, что основной механизм формирования сетчатой структуры заключается в том, что на стадии перехода резолы в резитол происходит превращение разветвленных молекул значительных размеров в глобулярные образования. Последующий переход резитола в резит осуществляется при дальнейшем отверждении посредством образования химических связей между ядрами.

Как правило, фенолформальдегидная смола (ФФС) содержит свободный фенол, присутствие которого влияет на ее свойства. В связи с этим целью работы является исследование влияния свободного фенола на структуру поверхности ФФС после химического травления. Для экспериментов выбрана промышленно выпускаемая смола марки ЛБС-1. Проводили 2 серии экспериментов:

- 1) Сушка смолы на воздухе и измельчение до порошкообразного состояния.
- 2) Сушка смолы, промытой водой для удаления свободного фенола, на воздухе и последующее измельчение до состояния полидисперсного порошка.

Далее спрессованные порошки подвергали химическому травлению при следующих условиях: образцы помещали в пробирки с 2 %-ным раствором NaOH и выдерживали в течение 20 часов при комнатной температуре при периодическом перемешивании стеклянной палочкой.

Исследование микроструктуры поверхности образцов проводили с помощью атомно-силового микроскопа NT-206.

Полученные результаты позволили судить о влиянии содержания свободного фенола на степень и прочность полимерной сшивки, а также исследовать изменение морфологии поверхности исследуемых образцов до и после химического травления.

ФОРМУЕМОСТЬ СМЕСЕЙ ПОЛИПРОПИЛЕНА И ПОЛИЭТИЛЕНА ПРИ ИХ ЭКСТРУЗИОННО-ПРЕССОВОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ

С.А. Герасименко

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

Одной из важных областей применения смесей полипропилена и полиэтилена является производство крупногабаритных изделий, получаемых путем прессования предварительно пластицированного полимерного расплава. Практическая реализация технологии осуществляется при объединении в едином технологическом цикле операций получения полимерного композита, пластикации порции его расплава, подачи расплавленного материала в пресс-форму и прессования. При этом, фактически, объединяются два технологических процесса — экструзии и прессования (экструзионно-прессовая технология — ЭПТ). При использовании ЭПТ имеется ряд особенностей, обусловленных необходимостью обеспечения удовлетворительной формуемости термопластов и требуемого уровня показателей физико-механических свойств изделий.

В работе выполнен анализ формуемости, характеризуемой длиной пути течения расплава (L_p) в оформляющих каналах технологической оснастки, смесей полипропилена (ПП) и полиэтилена низкой плотности (ПЭНП) с вязкостью расплава отдельных компонентов, изменяющейся в широких пределах, а также теплофизических и механических свойств материалов.

Полученные данные свидетельствуют о том, что для смесей ПП и ПЭНП существенное влияние на формуемость оказывают, фазовая структура материала, значения показателя текучести отдельных компонентов и их теплофизические свойства (значения температур кристаллизации и плавления). В случае если дисперсионную среду образует полиолефин (ПО), имеющий повышенную температуру плавления, то добавление к нему сравнительно небольших количеств более вязкого ПО с меньшей температурой плавления способствует улучшению формуемости. Если тугоплавкий компонент (ПП) является более высокоиндексным, то добавление к нему ПЭНП с высокой вязкостью расплава ухудшает формуемость. Добавки более высокоиндексного ПЭНП к ПП повышают L_p в области малых концентраций полиэтилена и практически не изменяют ее при высоких концентрациях ПЭ.

Полученные данные свидетельствуют об отсутствии прямой корреляции между формуемостью полимерных материалов при их переработке по ЭПТ и показателями реологических свойств полимерного расплава.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАЛОНАПОЛНЕННЫХ АНТИФРИКЦИОННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПТФЭ

А.И. Герасимов, А.Е. Дедюкин

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия

С целью расширения области использования малонаполненных антифрикционных материалов на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) были поставлены следующие задачи: определение несущей способности; определение скорости изнашивания при естественно низких температурах.

Использована модифицированная методика определения несущей способности или максимально допустимых давлений на материал узла трения, разработанная в Институте проблем машиноведения РАН. С целью повышения достоверности результатов, испытания проводились по схеме «диск — неподвижный диск», что обеспечивало на одном и том же неподвижном диске проведение нескольких экспериментов. Установлено, что наполнение ПТФЭ модификаторами, содержащими наноразмерные частицы, приводит к повышению несущей способности малонаполненных композиций в 2 раза по сравнению с такими же композициями, содержащими наполнители с традиционными размерами.

Для определения скорости изнашивания при естественно низких температурах был разработан стенд для натуральных испытаний. Предварительные испытания малонаполненных антифрикционных материалов на основе ПТФЭ показали, что скорость изнашивания чистого фторопласта-4 и композиций, содержащих масло, не зависят от температуры окружающего воздуха. Однако, скорости изнашивания некоторых композиций при низких климатических температурах по сравнению со скоростью изнашивания при комнатной температуре отличались до 20 раз. Для выяснения изменения прочностных свойств от температуры окружающей среды были проведены испытания образцов-лопаток из испытываемых материалов при температурах плюс 23 и минус 40 °С на разрывной машине при скорости раздвижения зажимов 100 мм/мин. Выявлено, что резкое снижение относительного удлинения при максимальной нагрузке при низких температурах по отношению к чистому фторопласту-4 приводит к существенному увеличению скорости изнашивания и, наоборот, увеличение данного показателя по отношению к чистому фторопласту-4 приводит к снижению скорости изнашивания. Причем в первом случае скорость изнашивания вопреки принятому утверждению, что интенсивный износ происходит в пусковой момент, практически остается постоянной на весь период испытания.

ЭЛЕКТРОМУФТОВАЯ СВАРКА ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ ВОЗДУХА

А.И. Герасимов, Г.В. Ботвин, Е.В. Данзанова

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия

Согласно нормативным документам сварка газопроводов из полимерных труб, в том числе при помощи соединительных деталей с закладными нагревателями, может производиться при температуре окружающего воздуха от минус 15 °С до плюс 45 °С. В настоящей работе рассматривается разработанный способ сварки при температурах окружающего воздуха ниже нормативных без строительства укрытий. Актуальность работ обусловлена особенностями климата Российского Севера.

Перед проведением сварки при температуре от –50 °С до –15 °С на область полимерной трубы и деталь с закладным нагревателем устанавливали теплоизоляционный материал, толщину которого определяли расчетным путем из условия обеспечения такой же интенсивности охлаждения соединения, как и при допустимых температурах окружающего воздуха. Деталь с закладным нагревателем подключали к источнику питания для предварительного прогрева. Продолжительность и мощность прогрева находятся расчетами теплового процесса сварки из условия достижения однородного распределения заданной температуры в зоне расплавления детали с закладным нагревателем и трубе.

Муфтовая сварка полиэтиленовых труб была произведена при температурах окружающего воздуха +23 °С, –15 °С, –33 °С. Технологические параметры сварки при –33 °С: производился предварительный прогрев, для датчика температуры сварочного аппарата имитировалась температура +18 °С, сварное соединение охлаждалось в теплоизоляционной рубашке.

Для определения эффективности разработанной технологии проводили оценку прочности сцепления сварных соединений по ISO 13954.

В результате испытаний значения разрушающих напряжений при растяжении оказались равными 11,235 МПа, 10,86 МПа, 12,479 МПа для сварных соединений, полученных при температурах окружающего воздуха +23 °С, –15 °С, –33 °С соответственно.

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ АЗОТИРОВАННОГО СЛОЯ НА ДЕФОРМАЦИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ ПРИ ТРЕНИИ СКОЛЬЖЕНИЯ

С.А. Герасимов, М.С. Алексеева, Л.И. Куксенова, В.Г. Лаптева

Московский государственный технический университет Н.Э. Баумана, Москва, Россия
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия

Способность азотированных сталей и сплавов упрочняться в условиях трения является условием длительной работоспособности сопряжений. Изучали деформационное упрочнение в зависимости от структурного состояния азотированного слоя с когерентными и некогерентными нитридными частицами и его роль в установлении уровня износостойкости. Деформационное упрочнение осуществляли гидродробеструйным методом. Способность к деформационному упрочнению после поверхностного наклепа дробью оценивали по приращению микротвердости и физическому уширению рентгеновской линии (220) матрицы азотированного слоя.

Установлено, что в азотированном сплаве Fe + 1%Cr максимальный прирост микротвердости ΔHV составляет 1900, а прирост физического уширения $\Delta\beta_{(220)}$ — 12мрад; для сплава Fe + 4%Cr $\Delta HV = 3500$, $\Delta\beta_{(220)}$ — 12мрад. Для исследованных сплавов максимальная способность к деформационному упрочнению после азотирования наблюдается при режимах насыщения, обеспечивающих наибольшую износостойкость: для сплавов с 1%Cr — температура азотирования 620 °С, для сплавов с 4%Cr — 660 °С. В сталях мартенситного класса эффект деформационного упрочнения выше по сравнению со сталями перлитного класса после азотирования при одних и тех же температурах, что связано с образованием преимущественно когерентных упрочняющих нитридных частиц.

Способность к деформационному упрочнению является функцией расстояния между упрочняющими частицами, их размеров, а также степени их когерентности. Показано, что в азотированных сталях максимальная износостойкость и способность к деформационному упрочнению соответствуют тем размерам нитридов и расстоянию между ними, при которых дислокации не перерезают частицы нитридов, а огибают их.

При выборе температуры азотирования для достижения высоких триботехнических характеристик необходимо рассматривать характеристики структурного состояния азотированного слоя, которые определяют способность материала упрочняться при деформации в условиях контактного взаимодействия азотированные стали и сплавы, т.е. имеющих в исходном до трения состоянии запас по деформационному упрочнению.

РАСТВОРИМЫЕ БЛОКСОПОЛИИМИДЫ

А.И. Глоба¹, В.М. Зеленковский², Н.Р. Прокопчук¹, Э.Т. Крутько¹

¹Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

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

В настоящее время одним из современных направлений в синтезе полиимидов (ПИ) является создание плавких и растворимых в органических растворителях ПИ, что позво-

ляет существенно расширить области их практического использования и осуществлять переработку традиционными для термопластов методами.

В данной работе получены пленкообразующие растворимые полиимиды путем синтеза фрагментированных полиамидокислот на основе промышленно производимой поли-(4,4'-дифенилоксид)пиромеллитамидокислоты и олигоамидокислоты на основе 4,4'-диаминодифенилоксида и диангида 4,8-дифенил-1,5-диазобисцикло-/3,3,0/-октан-2,3,6,7-тетракарбоновой кислоты.

Превращение синтезированного блоксополимера в полиимид осуществляли химическим (обработкой раствора блоксополимера имидизирующей смесью с последующим осаждением полиимида) и термическим (ступенчатым прогревом в атмосфере азота до 300 °С) способами.

Как установлено экспериментально, пленкообразующую способность синтезированные полимеры сохраняют после химической имидизации при содержании ОАК в блоксополиимиде не превышающем 9 мас.% (в пересчете на сухое вещество ПАК). Нижняя граница содержания ОАК, обеспечивающая растворимость получаемых материалов, составляет 4 мас.%.

Химическое строение полученных блоксополиимидов подтверждали методом ИК-спектроскопии. Для объяснения причин растворимости синтезированных блоксополиимидов компьютерным моделированием с использованием известных значений валентных углов и длин химических связей с помощью программного пакета ChemBio3D Ultra 11.0 построены наиболее энергетически выгодные конформации макромолекулярных сегментов исходного полиимида, олигоимида на основе диангида 4,8-дифенил-1,5-диазобисцикло-/3,3,0/-октан-2,3,6,7-тетракарбоновой кислоты и блоксополиимида, рассчитаны значения их конформационных параметров с учетом периодов идентичности и контурных длин полимерных цепей в пределах периода идентичности.

Проведенные расчеты показали, что для исходного полиимида конформационный параметр имеет низкие значения, а следовательно и высокий уровень межмолекулярных взаимодействий, что приводит к удержанию вместе его макромолекул и препятствует проникновению молекул растворителя между полимерными цепями, их сольватации, набуханию и растворению. Синтез блоксополиимида, содержащего объемные диазобисциклооктановые фрагменты, имеющие сильно свернутые конформации (высокое значение параметра конформации), позволяет создавать более «рыхлую» структуру, способную к растворению.

КОМПЛЕКСНАЯ МОДИФИКАЦИЯ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

О.В. Гоголева¹, А.А. Алексеев²

¹Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия

²Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия

Целью данной работы является разработка новых самосмазывающихся триботехнических полимерных композиционных материалов на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ). Показано, что при наполнении ПТФЭ активированными в течение 2 минут природными цеолитами, физико-механические характеристики увеличиваются на 10—20%, скорость массового изнашивания снижается до 130 раз по сравнению со свойствами ненаполненного ПТФЭ. При наполнении ПТФЭ цеолитом, предварительно пропитанным моторным маслом М-8В, установлено снижение скорости массового изнашивания до 615 раз при увеличении относительного удлинения при разрыве на 10% и снижении предела прочности при растяжении на 20 % по сравнению с ненаполненным ПТФЭ. Также установлено

снижение коэффициента трения и температуры в зоне контакта до 2 раз по сравнению с ненаполненным ПТФЭ.

Таким образом, разработаны перспективные самосмазывающиеся полимерные композиты для повышения надежности, безопасности и эффективности эксплуатации техники Севера.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 09-03-98502-р_восток_a)

ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ И ДИАГНОСТИКА УПЛОТНЕНИЙ ВАЛОВ ГИДРОМАШИН

В.М. Голуб, М.В. Голуб

Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь

Проведен анализ отказов технологического оборудования, перекачивающего различные жидкости, большинство из которых являются абразивосодержащими и агрессивными. Из проведенного анализа отказов установлено, что более 60% из них приходится на долю уплотнений валов гидромашин, при том, что в последнее время в качестве уплотнений широко применяются уплотнения торцового типа.

Работа уплотнения определяется режимом трения его основного элемента — пары трения. На надежность уплотнения при эксплуатации оказывают влияние такие факторы как: его конструктивное исполнение, качество изготовления деталей и сборки уплотнения, режим работы гидромашин и температура на контакте пары трения, величина утечки, рабочая (перекачиваемая) среда, давление в камерах уплотнений валов, квалификация обслуживающего персонала и др.

Обеспечение надежности уплотнений связано с технической диагностикой, которая позволяет выявить неисправности и возможные отказы уплотнений на ранних стадиях эксплуатации.

Выделяют тестовое и функциональное диагностирование. Методы тестового диагностирования используются для оценки технического состояния основных элементов уплотнения в соответствии с техническими условиями. Такая проверка выходных параметров (гидравлической плотности при рабочих давлениях и частоте вращения вала, температурных режимах пары трения, триботехнических характеристик) проводится на новых уплотнениях, после их изготовления и сборки, а также на уплотнениях после ремонта и после их монтажа на насосах перед их вводом в эксплуатацию.

Функциональная диагностика обеспечивает контроль выходных параметров уплотнений на насосах, и при их отклонении от эксплуатационных, срабатывает аварийная защита.

Разработаны стенды для опрессовки и динамической обкатки уплотнений. Для каждого конкретного случая разработаны методики тестовых испытаний.

Испытания показали, что определяющим диагностическим параметром рабочего состояния торцового уплотнения является величина утечки рабочей среды, т.е. степень его разгерметизации. Оценка рабочего состояния торцового уплотнения по температуре контакта не эффективна. Проведение стендовых испытаний и диагностический контроль утечки рабочей среды позволил повысить срок службы уплотнений в период их эксплуатации.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА, СОДЕРЖАЩЕГО УДЛИНИТЕЛИ ЦЕПИ И УГЛЕРОДНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ

В.В. Голубович¹, А.В. Крауклис², И.Ф. Буяков², С.П. Богданович¹

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

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

Одной из важных проблем, возникающих при компаундировании композиционных материалов на основе полиэтилентерефталата (ПЭТ) и их переработке является обеспечение предотвращения гидролитической и термической деструкции макромолекул полиэфира. Для исключения их негативного влияния применяются специальные модифицирующие добавки, в частности, удлинители цепи (УЦ). Роль УЦ могут выполнять ди- или мультифункциональные химические соединения, способные реагировать с концевыми группами макромолекул в расплаве полиэфира. Однако наряду с увеличением молекулярного веса ПЭТ при введении УЦ наблюдается замедление кристаллизации и снижение степени кристалличности полиэфира.

С другой стороны, известно, что кинетикой кристаллизации термопластов, в том числе ПЭТ и других насыщенных полиэфиров, можно управлять введением в состав композитов малых добавок нанонаполнителей, например, углеродных наноматериалов (УНМ).

В качестве УНМ в работе использовали многостенные углеродные нанотрубки (УНТ) и технический углерод ТУ № 220. Роль УЦ выполняли модификаторы АПЭК-ММ-1 и АПЭК-ММ-2 (ТУ ВУ 400084698.151-2004), содержащие изоцианатные соединения и стабилизатор (СТ) термической деструкции.

Компаундирование анализируемых материалов осуществляли методом реакционной экструзии при использовании экструзионно-грануляционной линии на базе двухшнекового экструдера. Для полученных материалов определяли показатели механических свойств при растяжении, вязкость разбавленных растворов полимера в дихлоруксусной кислоте, показатель текучести расплава. Процессы плавления и кристаллизации ПЭТ исследовали с помощью дифференциального сканирующего калориметра ДСМ-10М. С помощью автоматического обратного крутильного маятника (релаксометра) получены температурные зависимости тангенса угла механических потерь и динамического модуля сдвига.

Выполнен сравнительный анализ молекулярной структуры, релаксационных и механических свойств ПЭТ и его композитов, содержащих добавки УНМ (нанотрубок, технического углерода), а также УЦ. Показано, что реакции, приводящие к удлинению цепи, активно протекают в присутствии углеродных нанонаполнителей. В то же время замедление кристаллизации ПЭТ, происходящее под влиянием УЦ, нивелируется в присутствии углеродных нанонаполнителей, причем более ярко данный эффект проявляется в композитах, содержащих нанотрубки.

АРМИРУЮЩИЕ СПИРАЛЬНЫЕ ПРУЖИНЫ В ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТАХ

В.В. Гончаренко¹, П.И. Лобода¹, М.В. Гончаренко¹,
Г.В. Герасимов¹, А.О. Ткаченко¹, М. Хайльмайер²

¹Национальный Технический Университет Украины «Киевский Политехнический институт», Киев, Украина

²Технический Университет Дармштадта, Дармштадт, Германия

Результаты наших исследований в области полимерных композитов показали, что выпрямленные спиральные пружины являются наиболее удобными для армирования полимерных композитов с памятью формы. Теоретический анализ механического поведения цилиндрических спиральных пружин имеет начало в нескольких публикациях. Нормальные напряжения σ в поперечном сечении пружинной проволоки определяются как $\sigma = CS(\Delta\alpha)$, где C — константа пружины, МПа; $\Delta\alpha$ — текущая величина декремента угла

подъема пружины; $S(\Delta\alpha)$ — текущая величина комплекса, определяемого как $S(\Delta\alpha) = \Delta\alpha \sec(\alpha_0 + \Delta\alpha)$. Начальная величина угла подъема α_0 разгруженной пружины может быть определена как $\alpha_0 = \arcsin(\lambda_m^{-1})$, где λ_m — степень вытяжки предельно выпрямленной спиральной пружины. В данном случае целью является разработка метода линеаризации зависимости «напряжение–деформация» в области нелинейной упругости армирующих выпрямленных спиральных пружин полимерных композитов с памятью формы.

Объектом экспериментального исследования является стальная спиральная пружина. Эта пружина после многократно повторяемой нагрузки усилием 285 Н удлинилась. Такое растяжение привело к увеличению индекса пружины $J = D_m/dc$ 19,65 до 27,8 (d — диаметр проволоки, D_m — максимальный диаметр пружины). Учитывая такое увеличение индекса, мы можем точнее определить максимальный сдвиг на поверхности выпрямленной пружины $\gamma_m = 1.03\%$ следующим образом: $\gamma_m = (\pi - 2\alpha_0)/(\pi J)$.

Экспериментальные точки, представляющие напряжение как функцию комплекса $S(\Delta\alpha)$, ложатся на графике на прямую линию. Тангенс угла наклона такой прямой к оси абсцисс представляет собой материальную константу C . ΔC является отклонением константы C от теоретического значения. Можно с уверенностью предположить, что отклонение ΔC характеризует точность метода линеаризации зависимостью $\sigma = f[S(\alpha)]$.

Большие возможности получения надежной информации о свойствах спиральных пружин в области нелинейной упругости могут быть использованы при разработке металлополимерных композитов с памятью формы.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ФТОРКОМПОЗИТЫ: ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Г.Н. Горбацевич, В.А. Струк

ОАО «Гродненский механический завод», Гродно, Беларусь,
Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Гродно, Беларусь

Наиболее распространенный в настоящее время методологический подход к формированию изделий из полуфабрикатов, основанный на введении в матрицу компонентов различного состава, агрегатного состояния и дисперсности, не позволяет достичь синергического эффекта реализации основных характерных преимуществ политетрафторэтилена перед другими полимерными связующими: тепло- и термостойкости, химической стойкости в сочетании с оптимальными триботехническими характеристиками при эксплуатации в экстремальных режимах.

ОАО ГМЗ является единственным в Беларуси промышленным производителем функциональных фторкомпозитов серии Флубон и их аналогов. Длительный опыт в области технологии фторкомпозитов позволил разработать эффективные методы снижения роли неблагоприятных факторов, обусловленных структурными и физико-химическими особенностями компонентов, на параметры служебных характеристик триботехнических и герметизирующих материалов серии Флувис.

Методология совершенствования традиционной технологии композитов Флувис базируется использования механических эффектов на различных стадиях технологического процесса. Механохимическое активирование смеси компонентов с применением двухвалковой установки (технология МА) обуславливает формирование частиц матрицы с преимущественной ориентацией, которые обладают более высокой способностью к образованию малодефектных структур при холодно прессовании заготовок.

Использование для монолитизации заготовок специальных оправок, регулирующих тепловое расширение в осевом и тангенциальном направлении (технология ВС), обеспечивает эффект механохимического модифицирования граничных слоев и образования структур с повышенным адгезионным взаимодействием и более высокой степенью гомо-

генизации. Синергический эффект достигается при одновременном использовании технологий МА и ВС, которые обуславливают повышение параметров служебных характеристик в 1,5—2 раза при содержании УВ от 20 до 35 мас.% по сравнению с композитами Флувис, полученными по традиционной технологии.

Разработанные составы и технологии фторкомпозитов защищены серией патентов на изобретение и применяются при промышленном производстве заготовок на ОАО ГМЗ.

НАНОКОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ, ФОРМИРУЕМЫЕ ИЗ АКТИВНОЙ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ

Д.Л. Горбачёв, А.А. Рогачёв, М.А. Ярмоленко, А.В. Рогачёв

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь

Объектом исследования явились композиционные покрытия на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ), полиэтилена (ПЭ), полиуретана (ПУ) и других полимеров, содержащие различные по своей природе функциональные добавки. Покрытия осаждали из активной газовой фазы, генерируемой в вакууме в процессе воздействия на механическую смеси порошков потока электронов.

Показано, что композиционные покрытия ПТФЭ–ПЭ, ПТФЭ–ПУ могут рассматриваться как высокодисперсные бинарные механические смеси модифицированных исходных компонент. Плазменная активационная обработка летучих продуктов диспергирования способствует формированию покрытий с более дисперсной структурой, инициирует протекание процессов химического взаимодействия.

Установлено, что композиционные покрытия ПЭ, содержащих различные легирующие добавки: хлорид алюминия; перекись бензоила; гидрохинон; хинон; дифениламин имеют более высокую транс-виниленовую ненасыщенность и больший размер надмолекулярных образований в сравнении с покрытиями, сформированными термическим диспергированием. На основании анализа влияния природы наполнителя на молекулярную структуру и топографию композиционных слоев, сформированных методом электронно-лучевого диспергирования, сделано предположение о доминирующем влиянии на вторичную полимеризацию ионно-молекулярных процессов.

При формировании композиционных слоев на основе дифениламина, сульфаминовой или сульфаниловой кислоты, мочевины и тиомочевинны основным процессом, определяющими состав конденсированных слоев, являются электростатические взаимодействия, проявляющиеся между заряженными на стадии генерации газовой фазы молекулами дифениламина и адсорбированными молекулами органических веществ.

Показано, что слои на основе полианилина (ПАНИ) и термопластичных полимеров представляют собой композиционные системы «блочного» типа, характер взаимодействия между элементами которой определяется природой полимерной матрицы и адсорбционной активностью поверхности подложки. Характер электронных спектров и высокая адсорбционная активность покрытий ПАНИ-ПУ свидетельствует о протекании в процессе их формирования химических превращений. Электронно-лучевое диспергирование механической смеси ПВХ и ПАНИ сопровождается окислением фрагментов макромолекул последнего, что обусловлено интенсивными процессами дехлорирования хлорсодержащего полимера.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ РЕЛАКСАЦИИ В КОМПОЗИТНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛАХ НА ОСНОВЕ УДАРОПРОЧНОГО ПОЛИСТИРОЛА МЕТОДАМИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕРМОАКТИВАЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Ю.А. Гороховатский, А.А. Гулякова

Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

В последнее время появляется интерес к созданию упаковочных материалов, обладающих дополнительными свойствами, которые позволяют увеличить срок хранения продуктов, подавляя развитие микроорганизмов. Одним из способов получения такой «активной» упаковки является электретирирование полимерных композитных материалов. Ударопрочный полистирол (УПС) является одним из самых распространенных упаковочных материалов. В связи с этим актуальным представляется исследование его электрофизических свойств и, в частности, процессов релаксации заряда. Работа посвящена исследованию релаксационных процессов в пленках УПС с 0, 2, 4, 6 и 8%-ным содержанием диоксида титана (TiO_2 , рутил).

Исследование проведено с помощью методов термостимулированной деполяризации (ТСД) и диэлектрической релаксационной спектроскопии (ДРС) с привлечением дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК).

Спектр токов ТСД выявил наличие двух релаксационных процессов. В исходных образцах (без наполнителя) наблюдается один четко выраженный релаксационный процесс при температуре порядка 100 °С. Положение пика соответствует температуре стеклования УПС (что подтверждено при помощи метода ДСК), внедрение рутила не влияет на его положение. В композитных образцах на спектре ТСД появляется второй высокотемпературный пик (при температуре порядка 140 °С). Величина пика токов ТСД практически линейно растет с увеличением объемной концентрации наполнителя в образцах. Этот релаксационный процесс может быть связан с миграцией заряда на границе полимер-наполнитель вследствие эффекта Максвелла-Вагнера. Результаты ДРС хорошо согласуются с данными ТСД и также выявляют для пленок УПС два релаксационных процесса. Низкотемпературный процесс проявляется во всех образцах и может быть соотнесен с температурой стеклования УПС, высокотемпературный процесс наблюдается только для композитных пленок.

Таким образом, в композитных пленках на основе УПС с добавлением TiO_2 установлены два релаксационных процесса: низкотемпературный, связанный с переходом стекло-резины, и высокотемпературный, появление которого может быть связано с процессом формирования «квазидиполей» на границе раздела сред полимер-наполнитель.

ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ПЛЕНОК ПОЛИМЕР-НЕОРГАНИЧЕСКИХ НАНОКОМПОЗИЦИЙ В ОБЛАСТИ МАЛЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

И.В. Гофман

Институт высокомолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург, Россия

Рассмотрены особенности механического поведения пленок наноконпозиций на основе полимеров разных классов — полигетероариленов, полисахаридов (хитозан и эфиры целлюлозы), полиуретанов, и наночастиц слоевой и цилиндрической геометрии (монтмориллонит, углеродные нановолокна и наноконусы, гидросиликатные нанотрубки) при растяжении в области малых деформаций — до предела пластичности. Изучено влияние концентрации наночастиц на степень нелинейности деформационного поведения наноконпо-

зиционных пленок при малых деформациях и на положение предела пластичности на деформационных кривых. Обсуждается связь наблюдаемых эффектов с перестройкой системы межмолекулярных связей в наноконпозиционном материале по мере роста концентрации наночастиц.

О НОРМИРОВАНИИ СВОЙСТВ СЕРИЙНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ФТОРОПЛАСТА-4

П.Н. Гракович¹, А.В. Смирнов², И.А. Шкурский³

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²ОАО «Сумское машиностроительное научно-производственное объединение им. М.В. Фрунзе», Украина

³ОАО «Белтрансгаз», Минск, Беларусь

В настоящее время практически все серийно выпускаемые композиты на основе фторопласта, в том числе и созданные в последние годы, производятся по нормативной документации (ТУ и др.) по своей технической идеологии мало отличающейся от аналогичных советских документов. Фактически нормируются несколько достаточно просто измеряемых параметров, в первую очередь плотность, прочность на разрыв, износ. Измерения производятся на специальных, удобных для производителя, образцах. Однако практика показывает, что детали, изготовленные по одним и тем же чертежам, из композитов одной и той же марки, но разных партий, могут иметь ресурс, отличающийся в десятки раз и более, несмотря на полное соответствие материала ТУ. При этом композиты из фторопласта устанавливаются, как правило, в наиболее ответственные узлы, например, используются в уплотнениях тяжелых компрессоров в химической, нефтехимической и газовой промышленности, где преждевременная остановка оборудования и ремонт приводит к потерям, несоизмеримым со стоимостью уплотнений.

Предлагается новый подход к созданию нормативной документации на композиты на основе фторопласта-4, включающий:

– создание ТУ не на «Материал...» для любых отраслей применения, а ТУ на «Материал для конкретного применения», напр. уплотнений компрессоров, или запорной арматуры;

– ревизию методик измерений физико-механических характеристик;

– включение в ТУ методик измерения физико-механических свойств материала при рабочих условиях, в первую очередь, при рабочей температуре (факультативно).

Новая идеология создания нормативной документации нашла свое отражение в серии новых ТУ на «Композиты «Флувис» и «Суперфлувис» для уплотнений компрессоров», разрабатываемых для ОАО «Сумское машиностроительное производственное объединение им. М.В. Фрунзе» и ОАО «Белтрансгаз». Выпуск композитов по новым ТУ будет организован на Гродненском механическом заводе параллельно с производством композитов по старым ТУ. По нашему мнению, именно такой подход позволит повысить конкурентоспособность новой техники и снизит уровень технического риска при работе оборудования, что в целом обеспечит повышение конкурентоспособности конкретных композитов.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГРЕБНЯ ВИТКА НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ЭКСТРУДЕРОВ С МОДЕРНИЗИРОВАННЫМИ ЧЕРВЯКАМИ

Е.В. Грахольская, В.Г. Барсуков

Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Гродно, Беларусь

Применение новых полимерных и композиционных материалов выдвигает задачу модернизации оборудования и оснастки для их переработки. При этом в конструкциях мини-экструдеров, а также экструдеров для переработки материалов с низкой насыпной плотностью перспективны трёхзонные червяки с усиленным сердечником. Однако, многие вопросы работоспособности модернизированных устройств не изучены, методики расчета параметров винтовой нарезки в должной мере не разработаны.

Целью работы является комплексное изучение влияния геометрических параметров гребня витка (угла при вершине гребня витка, ширины и высоты гребня витка) на работоспособность экструдера.

При исследовании влияния ширины гребня витка установлено, что уменьшение этого параметра способствует увеличению полезной площади сечения винтового канала, улучшению соотношения предельно допустимых сил трения по червяку и цилиндру и обеспечивает тем самым повышение транспортирующей способности червяка. Однако для одноопорных конструкций червяков уменьшение ширины гребня витка сопровождается заметным ростом напряжений в зоне контакта червяка с цилиндром и снижением износостойкости рабочих органов.

Анализ влияния угла при вершине гребня витка показал, что для рассмотренных значений углов от 0 до 30° увеличение угла при вершине сопровождается уменьшением площади сечения винтового канала в сравнении с прямоугольным витком, уменьшением длины образующей (поверхности действия отрицательных сил трения), и увеличением соотношения полезной площади к длине образующей. Учитывая особую чувствительность устройства к соотношению сил трения по червяку и цилиндру, даже небольшие изменения этого соотношения в сторону уменьшения величины отрицательных сил трения (за счет уменьшения соответствующей площади) могут оказаться существенными. Для наиболее часто встречающихся значений глубин канала, характерных для зон загрузки и уплотнения, оптимальный угол наклона при вершине гребня витка составляет 16°..24°.

Результаты проведенных исследований позволяют учесть влияние всех параметров гребня витка на работу червяков с дополнительной опорой в зоне выдавливания.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НОВЫХ АЗОТСЕРУСОДЕРЖАЩИХ ВОЛОКНИСТЫХ ИОНИТОВ

В.И. Грачек, А.А. Шункевич, О.И. Исакович, Р.В. Марцынкевич

Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Азотсерусодержащие гранульные иониты обладают высокой сорбционной активностью к благородным и цветным металлам, что делает их перспективными сорбентами для концентрирования и выделения ценных элементов.

Цель настоящей работы получить новые азотсерусодержащие волокнистые иониты и оценить их сорбционные свойства по катионам способным к комплексообразованию.

Азотсерусодержащие иониты (АСИ) получали двухстадийным синтезом: первая стадия — реакция аминирования волокна «нитрон» этилендиамином (ЭДА) или диэтилентриамином (ДЭТА). В зависимости от используемого амина, синтезированные материалы получили следующее название: при аминировании ЭДА — ФИБАН С-1, при аминирова-

нии ДЭТА — ФИБАН С-2. Вторая стадия синтеза — взаимодействие аминированного волокна с сероуглеродом.

Исследованы сорбционные характеристики АСИ по катионам Pb, Cu, Cd, Ag. Сорбцию металлов проводили статическим и динамическим способом. Концентрацию ионов металлов определяли на атомно-эмиссионном спектрометре Vista PRO с индуцированной плазмой. В статическом режиме исследованы зависимости сорбции катионов металлов от pH раствора и показано, что сорбенты хорошо сорбируют ионы металлов в области pH 5,0—7,0. Сорбцию ионов металлов изучали из индивидуальных растворов солей $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, CuCl_2 , CdCl_2 и AgNO_3 с исходной концентрацией 25—30 ppm при pH 6,0. Исследования показали, что в статике ФИБАН С-1 и С-2 практически одинаково сорбируют ионы всех исследуемых металлов.

В динамических условиях способность волокнистых АСИ сорбировать катионы металлов исследовали, используя модельный раствор, содержащий по $2,75 \cdot 10^{-2}$ ммоль/л CuCl_2 , CdCl_2 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ и AgNO_3 (pH 6,0). Модельный раствор со скоростью 2,5 и 5,0 см/мин пропускали через колонки с высотой слоя АСИ 17—18 мм, диаметром 12,5 мм, объемной плотностью 0,16—0,20 г/см³. Результаты исследований показали, что проскок ионов Pb, Cu, Cd наблюдается уже в первых порциях вытекающего раствора, но для ионов серебра равновесной сорбции при пропускании 20 л модельного раствора не достигается. При пропускании 9 л раствора через колонку с сорбентом ФИБАН С-1 и 7 л через колонку с сорбентом ФИБАН С-2 в вытекающих растворах Ag^+ не обнаружено. Исследование сорбции ионов серебра на фоне 2 ммоль/л CaCl_2 (умеренная жесткость воды) показало, что сорбционная активность АСИ в отношении ионов серебра несколько уменьшается, но остается высокой. Десорбция ионов серебра проходит в статических условиях 2,0 м раствором азотной кислоты. АСИ после десорбции не теряют сорбционные и механические свойства и могут применяться еще в нескольких циклах сорбции-десорбции.

КАЧЕСТВО И СВОЙСТВА ПРОДУКТА ДВУХСТАДИЙНОГО РЕЦИКЛИНГА ИЗ РТИ И ШИН

О.А. Грицак, Ю.Н. Ващенко

Украинский государственный химико-технологический университет, Днепропетровск, Украина

Широко применяемыми и наиболее распространенными в мире способами рециклинга являются дробление и регенерация резиновых отходов. В результате дробления получают измельченный вулканизат (ИВ), который используют в качестве наполнителя композиционных полимерных материалов. Но известно, что применение такого наполнителя в количествах более 10 мас.ч на 100 мас.ч. каучука влечет за собой ухудшение всех свойств изделий. Обработка поверхности ИВ активными добавками позволяет повысить уровень свойств готовых изделий и тем самым увеличить его содержание в смесях.

Ранее проводимые работы на кафедре ХТПЭ ДВНЗ «УДХТУ» было установлено, что двухстадийная модификация поверхности ИВ позволяет увеличить его содержание в резиновых смесях. Стадийность рециклинга заключалась в проведении двух стадий процесса: на первой стадии ИВ выдерживали в водных растворах аминов; а на второй стадии к полученному продукту добавляли смоляной композит. Следует отметить, что в процессе стадийности изменялись не только условия обработки ИВ, но и температурно-временной режим, концентрация используемых растворов, введение на валковом оборудовании смоляных добавок варьировалась в пределах допустимых концентрационных норм по классу опасности. В ходе работы с ИВ из отходов РТИ было установлено, что он легче модифицируется и дорабатывается при минимальной концентрации активного вещества на первой стадии, а при использовании ИВ из отходов шин данный модификат принимает надлежащий вид лишь при повышении концентрации активного вещества. Но при введе-

нии полученного продукта двухстадийного рециклинга в смесь, как из отходов РТИ, так и из шинного модификата оптимальность свойств показал продукт со средним содержанием активного вещества. Это можно объяснить длительностью работы вулканизационных агентов в шинных отходах, а также малым содержанием каучуковой массы в отходах из РТИ. Совмещение же двух типов отходов приводит к ухудшению общих свойств, как модификата, так и готового изделия из него в целом.

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ 1-(П-ВИНИЛФЕНИЛ)-2-АЦЕТИЛЦИКЛОПРОПАНА И СТИРОЛА

К.Г. Гулиев, Г.З. Пономарева, Р.В. Джафаров, А.Т. Алыев, А.А. Нагиева

Институт полимерных материалов НАН Азербайджана, Сумгайыт, Азербайджан

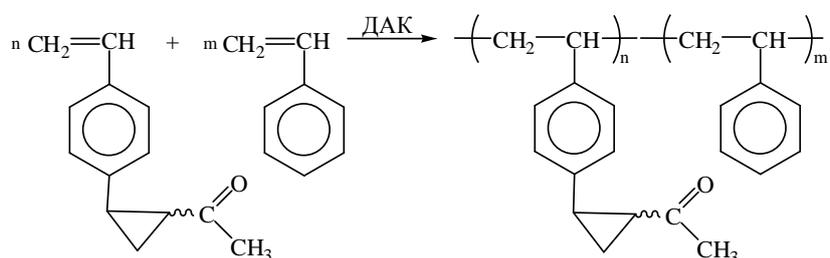
Углеводороды ряда фенилциклопропанов представляют большой интерес благодаря специфическим свойствам трехчленного цикла. Некоторые из этих соединений используются в качестве мономеров для получения полимеров с уникальными свойствами, такими как фоточувствительность, оптическая, биологическая активность и т.д.

Данная работа посвящена разработке метода синтеза полимерных светочувствительных соединений с целью создания на их основе новых негативных фоторезистов. В качестве объекта исследования использован функционально замещенный циклопропилстирол — 1-(п-винилфенил)-2-ацетилциклопропан (АЦПС), являющийся новым, до сих пор неизученным мономером, на основе которого и был создан эффективный новый негативный фоторезист. Синтез АЦПС осуществляли по методике, разработанной нами ранее.

С целью получения соответствующего сополимера и изучения его свойств была проведена сополимеризация АЦПС со стиролом.

Учитывая, что АЦПС способен к радикальной полимеризации с раскрытием винильной двойной связи, мы, с целью получения новых циклопропансодержащих сополимеров и выяснения особенностей поведения АЦПС в условиях радикальной сополимеризации, изучали его бинарную сополимеризацию со стиролом. Сополимеризацию проводили в массе и в растворе бензола при 70°C в присутствии ДАК (0.3% от суммарной массы мономеров).

Состав и структура синтезированных сополимеров установлена на основе данных спектрального и элементного анализов. Исследование структуры сополимера показало, что макроструктурное звено соответствует следующей формуле:



Определены константы сополимеризации исследуемых сополимеров и вычислены параметры Q-e. Полученные данные показали, что АЦПС является более активным мономером в данных условиях при радикальной сополимеризации, чем стирол. Пленочные материалы на основе этих сополимеров могут представлять интерес в качестве УФ-отверждаемых защитных покрытий. При изучении свойств полученного сополимера выявлено, что на его основе получают тонкие пленки с малой дефектностью, с хорошими адгезионными и физико-механическими свойствами по сравнению с полистиролом.

Показано, что полученные полимеры проявляют высокие литографические характеристики и могут быть использованы в качестве высокочувствительных фоторезистов негативного типа.

ИОННО-ЛУЧЕВОЙ СИНТЕЗ ФТОРУГЛЕРОДНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ С НИЗКОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ

О.В. Гуревич, Е.В. Телеш

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

Одной из проблем микроэлектроники является получение покрытий, с низким значением диэлектрической проницаемости (т.н. low-k материалы) и хорошими электрофизическими параметрами. Фторуглеродные плёнки являются очень перспективными для применения в качестве межуровневого диэлектрика, благодаря своей низкой диэлектрической проницаемости.

Нанесение покрытий осуществлялось реактивным ионно-лучевым распылением с использованием ионного источника. Ускоряющее напряжение составляло 4 кВ, ток разряда 50 мА. Остаточный вакуум не превышал 2,5 мПа. В качестве распыляемой мишени использовался графит высокой чистоты. Рабочими газами служили аргон и хладон-14 (CF₄). Плёнки формировались на подложках из кремния р-типа и стеклянных подложках, покрытых алюминием и медью. Температура подложки не превышала 60 °С. Толщина покрытий определялась с помощью микроскопа МИИ-4. Для измерения электрофизических параметров использовались МДП-структуры. Ёмкость и tgδ измерялись на частоте 1 МГц с помощью прибора Е7-8, а электрическая прочность с применением характеристикиграфа TR-4805.

Установлено, что скорость нанесения снижалась с увеличением доли хладона и составляет от 0,13 до 0,14 нм/с. Диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь покрытий немонотонно снижается с ростом парциального давления CF₄ в рабочем газе. Анализ зависимостей показывает, что покрытия, обладающие оптимальными характеристиками, были получены при 75% хладона-14. Адгезия, оцениваемая методом отрыва липкой ленты, была хорошей для всех типов подложек. Таким образом, при использовании оптимальных режимов нанесения можно получать покрытия с низкими значениями диэлектрической постоянной и тангенса угла диэлектрических потерь.

ФОРМИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКИХ ПЛЁНОК ФТОРОПЛАСТА

О.В. Гуревич, Е.В. Телеш

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

С переходом к размерам элементов интегральных схем 0,25 мкм и менее, возникают проблемы связанные с наличием паразитной ёмкости в многоуровневой системе металлизации. Неорганические диэлектрики имеют минимальное значение диэлектрической проницаемости ϵ в пределах 3—4 (SiO₂). Органические диэлектрики имеют меньшую диэлектрическую постоянную по сравнению с неорганическими, а лучшим из них является фторопласт с $\epsilon = 1,9—2,2$. Кроме того этот материал обладает высокими электрической прочностью, химической стойкостью, термостойкостью по сравнению с другими полимерами.

Нанесение плёнок осуществляли путём ионно-лучевого распыления фторопласта на установке вакуумного напыления УРМ 3.279.017. Мишень представляла собой диск из фторопласта-4 диаметром 70 мм и толщиной 8 мм. В качестве рабочего газа использовали аргон высшей очистки. Покрытий наносили на подложки из монокристаллического кремния р-типа и стекла К8. В процессе нанесения варьировались ускоряющее напряжение U_A

и ток термоэлектронного катода-компенсатора I_K . При отсутствии компенсации положительного заряда на поверхности диэлектрической мишени разряд ионного источника был нестабильным. Степень компенсации заряда на мишени изменяли за счёт регулирования тока компенсатора от 0 до 11 А. Наблюдается значительный рост V_H при $I_K > 5$ А, т.е. нейтрализация положительного заряда приводит к более эффективной работе ионного источника. Установлено, что I_K сильно влияет на тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ и на электрическую прочность $E_{\text{ПР}}$. Были получены следующие электрофизические характеристики фторопластовых пленок: диэлектрическая постоянная $\epsilon = 1,7\text{—}2,2$; тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta = 0,0254$; электрическая прочность $E_{\text{ПР}} = 5 \cdot 10^6$ В/м. Такие характеристики позволяют использовать тонкие пленки фторопласта для межуровневой изоляции в многослойной разводке интегральных схем.

Для исследования оптических характеристик пленки фторопласта толщиной 0,5—1 мкм наносили на подложки из стекла К8. Покрытия были прозрачны, без заметной окраски. Коэффициент пропускания на длине волны $\lambda = 555$ нм составил 0,8. Показатель преломления пленок фторопласта $n = 1,38$ оказался близок к коэффициенту преломления MgF_2 . Это делает перспективным использование пленок фторопласта в качестве слоёв с низким n для многослойных интерференционных оптических покрытий.

ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕМБРАН ДИАФРАГМОВЫХ КЛАПАНОВ МЕТОДОМ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Л.М. Гуринович, А.З. Скорород, В.П. Селькин

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

Проблема повышения ресурса мембран, используемых в диафрагмовых клапанах типа 15ч74П является актуальной для многих химических производств. Материал диафрагмы должен быть устойчив к воздействию фосфорной кислоты концентрацией 49—51% по фосфорному ангидриду при температуре 70 °С и обладать достаточно высокими деформационными характеристиками. Это связано с тем, что многократные деформации поверхности клапана при его полном открытии — закрытии приводят к образованию линии перегиба, по которой в дальнейшем образуется трещина. Совместное воздействие деформационных нагрузок, кислоты и температуры, резко сужают круг материалов, которые могут быть использованы для изготовления мембран данных клапанов.

Традиционно мембраны изготавливают из фторопласта-4 (Ф-4) методом спекания изделия в форме. Данный метод достаточно трудоемок, поскольку предполагает постепенный подъем температуры до 350—380 °С при давлении 25—30 МПа, с последующей длительной выдержкой при данной температуре и давлении. Время выдержки при температуре пропорционально массе изделия. Такой метод изготовления в известной мере предохраняет от появления трещин в изделии, но малопроизводителен и требует сложного специального оборудования.

В работе анализируется возможность использования некоторых литьевых марок фторопластов (Ф-2, Ф-4МБ, Ф-40) и высокоэластичных термопластичных полиэфиров для изготовления мембран клапанов типа 15ч74П методом литья под давлением. Показано, что потеря массы фторсодержащих материалов при их экспозиции в фосфорной кислоте в течение 50 часов при температуре 90 °С отсутствует, а набухание незначительно, существенно меньше 0,1% по массе. Термопластичные полиэфиры также устойчивы в данных условиях — потеря массы не наблюдается. Однако набухание термопластичных полиэфиров значительно выше и составляет 1,0—3,0%. На основании проведенных исследований перечисленные материалы были использованы для отливки пробных партий мембран, которые были поставлены на эксплуатационные испытания.

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ СЛЕДОВАНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛМАЗОПОДОБНЫХ УГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНОК, ОСАЖДАЕМЫХ ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ

Г.А. Гусаков, М.В. Пузырев, В.К. Гончаров, Л.В. Баран

НИИ прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко Белорусского Государственного университета,
Минск, Беларусь

Известно, что алмазоподобные углеродные пленки отличаются исключительно высокими механическими и трибологическими характеристиками, а также химической инертностью, что обуславливает высокий интерес к развитию технологий создания на их основе износ- и коррозийноустойчивых защитных покрытий на различных материалах. В настоящее время лазерно-плазменный метод, наряду с методом осаждения из сепарированной плазмы вакуумно-дугового разряда, рассматривается как один из наиболее перспективных способов получения алмазоподобных углеродных покрытий. Однако, несмотря на большое количество публикаций, посвященных исследованию свойств и механизмов роста углеродных пленок, до сих пор нет полной ясности в вопросах влияния условий осаждения на характеристики получаемых покрытий. Одним из таких малоизученных аспектов проблемы является влияние частоты следования лазерных импульсов.

В настоящей работе для получения алмазоподобных углеродных покрытий использовали YAG:Nd³⁺ лазер с длиной волны излучения 1064 нм и длительностью импульса $\tau = 20$ нс. Плотность мощности во всех экспериментах составляла $1,7 \cdot 10^8$ Вт/см². Частота следования лазерных импульсов изменялась от 1 до 10 Гц. Структуру поверхности полученных покрытий изучали при помощи атомной силовой микроскопии. Для полученных покрытий проводили также измерения микротвердости и трибологические испытания. В результате проведенных исследований установлено, при увеличении частоты следования лазерных импульсов от 1 до 10 Гц коэффициент трения полученных углеродных покрытий снижается с 0,38 до 0,16. При этом наблюдается постепенная смена механизмов взаимодействия контртела с поверхностью покрытия. Структура поверхности изменяется от столбчатой при 1 Гц на практически равноосную при 10 Гц. Однако шероховатость поверхности покрытий имеет выраженный минимум в диапазоне 5—6 Гц. Напротив, микротвердость покрытий в этом диапазоне достигает максимума (~ 50 ГПа). Полученные результаты обсуждаются с использованием модифицированной модели структурных зон, которая учитывает не только относительную температуру подложки, но и плотность потока и энергию осаждаемых атомов углерода, а также соотношение заряженных и нейтральных частиц в углеродной плазме.

ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ СЕЛЕНА НА СВОЙСТВА ПОЛИЭТИЛЕН-ПОЛИПРОПИЛЕН-ЭЛАСТОМЕРНОЙ КОМПОЗИЦИИ

З.Н. Гусейнова¹, Я.М. Билалов², Б.А. Мамедов²

¹Институт полимерных материалов НАН Азербайджана, Сумгайыт, Азербайджан

²Азербайджанская Государственная Нефтяная Академия, Баку, Азербайджан

Известно, что для модифицирования полиолефинов широко используются эластомеры различной природы, позволяющие улучшить такие свойства, как ударная прочность, эластичность, стойкость к растрескиванию, термостойкость и т.д.

Работа посвящена исследованию влияния элементного селена, вводимого в процессе переработки, на физико-механические свойства полиэтилен (ПЭНП)–полипропилен изотактический (ПП)–эластомерной смеси композиций. В качестве эластомеров использова-

ны бутадиен-стирольный (СКС-30АРКМ-15), бутадиен-нитрильный (БНК-40), бутиловый (БК-20-55) каучуки.

Изучение свойств композиций показало, что при введении селена (0.1—0.5 мас.ч.) прочность увеличивается на 20%, а эластичность несколько (10—12%) снижается. Несмотря на это, относительное удлинение при разрыве полученных образцов остается на достаточно высоком уровне, что обусловлено хорошей совместимостью ПЭ с ПП в присутствии эластомеров. Кроме того, селен, по-видимому, как гетерогенное включение играет роль зародышеобразователя. Поэтому не исключена возможность образования надмолекулярных фрагментов, влияющих на физико-механические свойства композиций.

Исследование термомеханических свойств показало, что температура размягчения исследуемой композиции смещается в область более высоких температур (110—130 °С).

Установлено, что в условиях переработки этих композиций при высоких температурах поддерживается постоянная вязкость системы и полученные материалы обладают высокой стойкостью к многократным механическим воздействиям.

Таким образом, получены композиции с высокой прочностью, теплостойкостью и стойкостью к растрескиванию, которые могут быть использованы в машиностроении, электротехнике и для получения разных технических изделий.

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ Ni-P ПОКРЫТИЙ МОДИФИЦИРОВАННЫХ SiO₂ И ПТФЭ

Д.М. Гуцев¹, Л.Ф. Иванов¹, Е.В. Торская², А.Н. Любичева²

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва, Россия

Одним из недостатков никель-фосфорных покрытий является относительно высокий коэффициент трения. Для его снижения вводят в их состав или наносят на поверхность различные модифицирующие добавки. Целью данной работы являлось исследование влияния добавок различной природы на триботехнические характеристики Ni-P покрытий.

Ni-P покрытия формировали химическим методом на образцах из электротехнической меди и среднеуглеродистой стали. В качестве модифицирующих добавок использовали высокодисперсные порошки низкомолекулярного ПТФЭ и диоксида кремния (SiO₂). ПТФЭ наносили на поверхность сформированных покрытий, а SiO₂ диспергировали в растворе реактива для формирования покрытий (10 г/л). Полученные покрытия подвергали термической обработке при 450 °С на воздухе в течение часа. Всего исследованы четыре вида образцов: чистое Ni-P покрытие, Ni-P+SiO₂, ПТФЭ на Ni-P и ПТФЭ на Ni-P+SiO₂.

Анализ морфологии поверхности покрытий и их поперечных срезов показал, что частицы SiO₂ равномерно распределены по толщине и площади покрытия. Порошок ПТФЭ после термообработки способствует формированию на поверхности тонкопленочных островков, расположенных на вершинах неровностей покрытий.

Триботехнические испытания производили на возвратно-поступательном трибометре по схеме шарик (ШХ15, $d = 4,8$ мм) по плоской поверхности покрытия при нагрузках 0,1...1,0 Н и скорости скольжения 2,5 мм/с. Износостойкость покрытий оценивали по ширине дорожки трения.

Установлено, что наибольшей твердостью и наименьшим коэффициентом трения обладают покрытия ПТФЭ на Ni-P+SiO₂. Эти же покрытия показали лучшую износостойкость. Для всех исследованных образцов наблюдалось существенное снижение коэффициента трения при нагрузках свыше 0,75 Н.

Результаты исследований показали, что наилучшим сочетанием физико-механических и триботехнических свойств обладают системы ПТФЭ на Ni-P+SiO₂.

Работа выполнена при поддержке гранта № Т10Р-124 Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований.

О ВЛИЯНИИ НАНОДИСПЕРСНЫХ ДОБАВОК НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ БЕЗГАЛОГЕННЫХ ПОЛИАМИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.А. Давыдов

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

Показана перспективность создания огнестойких композитов, в которых в качестве базового антипирена (АП) используются производные сим-триазина в сочетании с различными добавками, синергически усиливающими огнегасящий эффект. Синергические добавки (СД) вводят в состав огнестойких композитов в каталитических количествах. Они должны диспергироваться в полиамидной (ПА) матрице до частиц нанометровых размеров или иметь более тонкую дисперсию (молекулярное распределение, обеспечиваемое за счет растворения металлосодержащих соединений в полимерном расплаве на стадии компаундирования).

Огнестойкие композиты получали методом реакционной экструзии в расплаве полиамида 6 (ПА6) при использовании двухшнекового экструдера ZSK — 35/40 (диаметр шнека 35 мм, L:D=40). СД вводили совместно с антипиреном в полимер перед загрузкой в экструдер путем механической обработки ПА гранулята в высокоскоростном двухлопастном смесителе.

Установлено, что наибольшей эффективностью обладают соединения, находящиеся в объеме полимерной матрицы в нанодисперсном состоянии в совокупности с органическими стабилизаторами. При введении этих добавок в ПА матрицу они оказывают влияние на механизм химических превращений макромолекул в зоне горения, повышая выход карбонизованных продуктов в тонком поверхностном слое полимерного образца. Это позволяет устранить каплепадение и обеспечить достижение высшей категории стойкости к горению ПВ-0 (V-0 по UL-94). Разработан ряд составов антипиреновых добавок для полиамидов как исходных, так и содержащих различные типы наполнителей.

Для получения огнестойких композиций не требуется специального оборудования, их выпуск может осуществляться на серийных экструзионно-грануляционных линиях на базе двухшнекового экструдера. Полученные материалы перспективны для промышленного применения, поскольку являются конкурентоспособными по стоимости и техническим параметрам.

СВОЙСТВА ФТОРОПЛАСТОВЫХ КОМПОЗИТОВ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН

С.Г. Данченко, В.А. Шелестова

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

Среди фторопластовых композитов особую нишу занимает наполненный 20 мас.% модифицированного углеродного волокна (УВ) композит Суперфлувис 20. Он отличается плотной структурой и повышенными упруго-прочностными свойствами за счет улучшенного взаимодействия покрытого нанослоем фторполимера поверхности углеродного волокна с фторопластовой матрицей. Этот материал применяется в тяжелых компрессорах для изготовления поршневых и направляющих колец и позволяет значительно повысить ресурс ответственного оборудования. Однако требования к подобным материалам неизменно растут и конструктора компрессорного оборудования заинтересованы в расширении области рабочих давлений и температур уплотнительных материалов.

Для решения этой задачи нами проведены исследования физико-механических свойств фторопластовых композитов с повышенным содержанием модифицированных углеродных волокон марки Белум, которые отличаются наличием на поверхности нанометрового покрытия из фторполимера.

Изучены упруго-прочностные характеристики композитов при сжатии и растяжении на стенде Instron 5567 при различных температурах. Показано, что при увеличении содержания УВ от 20 до 25 мас.% происходит повышение комплекса свойств, особенно существенное при высоких температурах (50 и 100 °С). Но при содержании 27 мас.% УВ показатели снова снижаются. Сравнение композитов по плотности показало, что наименьшее отклонение кажущейся плотности от расчетной наблюдается у Суперфлуvisa 25 (1,6%), а при увеличении доли волокон до 27 мас.% оно составляет более 10%, т.е. композит разрыхляется. Исследование структурных особенностей композитов методом динамическо-механического анализа (ДМА) показало, что при повышении содержания модифицированных УВ свыше 25 мас.% происходит снижение модуля сдвига и повышение тангенса угла механических потерь, что подтверждает увеличение количества пор и пустот в структуре композита.

Изучена анизотропия прочностных свойств композитов в зависимости от направления прессования заготовок, которая обусловлена преимущественной ориентацией волокон перпендикулярно приложению нагрузки, что обеспечивает лучшее армирование, но снижает пластичность материала. Показана необходимость учета анизотропии свойств, а также температуры испытаний при проектировании и изготовлении деталей узлов трения.

МЕТОД И УСТРОЙСТВО ИЗМЕРЕНИЯ СВЕРХМАЛОГО ТРЕНИЯ В ПРОЦЕССАХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО КАЧЕНИЯ

И.З. Джилавдари, Н.Н. Ризноокая

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

С развитием МЭМС и точного приборостроения остро встала задача точного позиционирования элементов приборов. Именно трение, ввиду его гистерезисного характера, ограничивает точность позиционирования тел в процессах их микроперемещений. Проблемы точного позиционирования тел актуальны и в процессах качения. Эти задачи связаны с исследованием сил трения на этапе предварительного смещения тел (pre-rolling friction). Установлено, что на этом этапе сила трения качения непрерывно растет до некоторого установившегося значения, и этот рост происходит вплоть до расстояний, больших размеров пятна упругого контакта. Исследования трения качения при смещениях, значительно меньших размеров пятна упругого контакта, практически не проводилось. В первую очередь, это связано с малой величиной сопротивления качению при контакте твердых тел.

В работе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований сверхнизкого трения качения при малых нагрузках методом затухающих колебаний маятника, опирающегося двумя шариками на плоскую полированную поверхность исследуемого образца. Описывается экспериментальная установка и методы, позволяющие проводить измерения как безразмерного коэффициента сопротивления качению $f_{ск}$, так и момента сопротивления качению $M_{ск}$ при любых законах зависимости амплитуды свободных колебаний маятника от времени.

Приводятся результаты измерений параметров трения качения на поверхности полированных кремниевых пластин ($R_a = 0,4$ нм) для маятника массой $m = 1,256$ кг с корундовыми шариками радиусом $R = 5$ мм. Радиус пятна контакта шариков и пластин $a \approx 60,5$ мкм. Максимальное смещение шариков на поверхности исследуемых пластин

$r_{\max} \approx 1,2$ мкм, минимальное смещение — $r_{\min} \approx 38,5$ нм. Измерения проводились в интервале амплитуд от 110 угл с. до 1,4 угл с. В этих опытах коэффициент $f_{ск}$ уменьшался от $5 \cdot 10^{-7}$ до $1,7 \cdot 10^{-8}$, при этом момент $M_{ск}$ уменьшался от $2 \cdot 10^{-7}$ Нм до $2 \cdot 10^{-9}$ Нм. Оценка погрешности измерения коэффициента $f_{ск}$ дала значение 0,6% от максимального значения, при этом разброс результатов измерений коэффициента $f_{ск}$ для двух одинаковых пластин составил 6%.

ЯВЛЕНИЕ АНИЗОТРОПНОГО ТРЕНИЯ И ЕГО МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ

Н.Н. Дмитриев

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

При экспериментальном изучении процесса скольжения или качения тел по плоскости установлено, что сила трения, как правило, не совпадает с вектором скорости, а составляет с ним некоторый угол, причем величина силы трения зависит от направления скольжения.

При исследовании феномена анизотропии трения ранее были предложены два основных способа теоретического описания. Первый способ заключается во введении функциональной зависимости коэффициента трения от угла направления скольжения, а второй основан на использовании тензора трения (работы Змитровича А., Векшина Б.С., Потапова И.Н., Александровича А.И.).

Аналогичный подход развивается авторами настоящего сообщения. Было показано качественное и количественное отличие состояния равновесия и характера движения твердых тел на плоскости с анизотропным трением от изотропного случая. Это выражается в зависимости условий равновесия от ориентации тела и направления сил по отношению к главным осям скольжения, а также определенной ориентации вектора центра масс в момент остановки.

Результаты моделирования согласуются с экспериментальными данными, приведенными в публикациях зарубежных авторов. В докладе также приведены оригинальные экспериментальные данные о малоамплитудном скольжении контактирующих тел при выраженной анизотропии трения, обусловленной ориентированной текстурой поверхности деформируемого контртела в виде параллельных выступов треугольной формы в плане. Установлены закономерности изменения параметров контакта (силы трения, предельного тангенциального перемещения) в зависимости от направления и скорости скольжения; выявлены автоколебания и ортотропия силы трения.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ-РФФИ (проект T10P-248).

МЕХАНОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМАХ ПОЛИМЕР — ПОВЕРХНОСТЬ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Т.В. Дмитриева, В.И. Бортницкий

Институт химии высокомолекулярных соединений НАН Украины, Киев, Украина

Обеспечение соответствия свойств материалов возрастающим требованиям новой техники является первостепенной задачей. В этом контексте следует рассматривать и модификацию поверхности, которая имеет место в процессе любого динамического контакта твердых тел из жидкой или твердой фазы граничного слоя, разделяющего контактирующие поверхности.

Нами установлено, что гетерогенные механохимические процессы в полимерах и их растворах происходят глубже и с большей скоростью в присутствии обновляемой поверх-

ности твердого тела и сопровождаются повышенным содержанием низкомолекулярных фракций.

На примере систем ПАА – металл методом пиролитической масс-спектрометрии исследовано выделение водорода при термодеструкции полимера. Установлено, что медь активизирует образование атомарного водорода, в то время как с алюминием активизируется выход молекулярного водорода на начальной стадии деструкции и характеризуется высокой интенсивностью. Установлена также возможность создания барьерного слоя в системе ФТ – металл, препятствующего выходу водорода с поверхности металла.

На примере ПММА, полиамидов 6 и 66 было установлено, что в результате динамических механических воздействий термостойкость всех исследованных полимеров существенно снижается. Если механическому воздействию подвергается гетерогенная система, то термостойкость ее в области высоких температур по сравнению с гомогенной повышается. Температура начала выхода водорода при пиролизе полиакриламида, полученного в результате механического воздействия на гетерогенную систему полимер–металл, повышается на 100–140 °С и определяется природой металлов.

Таким образом, механохимические гетерогенные процессы на поверхности твердого тела в полимерсодержащих средах сопровождаются повышенной деформацией, пластифицированием, адсорбцией продуктов деструкции, а вторичные процессы превращения обуславливают модификацию поверхности с образованием более термостойких соединений.

Практическое применение перечисленные процессы находят при деформационном формировании металлов, приработке, повышении надежности пар трения и др.

ВЛИЯНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДОБАВКИ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ДИСПЕРГИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРСОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ

Т.В. Дмитриева, С.К. Крымская, Г.Ф. Невмержицкая

Институт химии высокомолекулярных соединений НАН Украины, Киев, Украина

Наименее исследованным и многогранным является направление создания композиций смазок с химически активными компонентами, которые в процессе использования проявляют химическую активность к твердой поверхности, трибополимеризуются или терморазлагаются, что приводит к образованию разделительного слоя в виде химически модифицированной твердой поверхности или газовой прослойки.

Целью данной работы было исследование влияния функциональной добавки на свойства водорастворимых полимерсодержащих композиций как потенциальных исполнителей смазочных функций. В качестве полимера исследованы водные растворы полиакриловой кислоты (ПАК), а в качестве функциональной антифрикционной добавки — циклический имин ЦИ. Важной характеристикой композиций смазок является их вязкость и ее изменения под воздействием температуры и скорости сдвига, то есть реологические свойства.

Исследованы реологические свойства композиций на основе ПАК широкого спектра концентраций от 0,01% до 5% и функциональной добавки ЦИ концентрации от 0,5% до 20%. Выбор полимера обусловлен его продолжительными триботехническими свойствами с достаточно высокой несущей способностью при контактном взаимодействии.

Установлено, что при малых скоростях сдвига в водных растворах ПАК концентраций 0,01; 0,02; 0,1 вязкость имеет аномально низкие значения, что вероятно объясняется сильным межмолекулярным взаимодействием макромолекул полимера, которое снижается при введении ЦИ и наблюдается независимость вязкости от напряжения сдвига. Для более концентрированных растворов ПАК — 0,5%; 1%; 5% наблюдается стабилизация динами-

ческой вязкости в широком диапазоне напряжений сдвига с введением ЦИ независимо от его концентрации.

С целью получения информации относительно поведения таких композиций в динамическом контакте с твердой поверхностью были исследованы диспергирующие свойства.

Диспергирование определяли гравиметрическим методом.

Полученные зависимости диспергирования показали, что величина съема металла практически не зависит от концентрации полимера и функциональной добавки ЦИ.

Полученные результаты дают основание для создания на базе таких систем композиций твердых и жидких смазок.

ОЦЕНКА СМАЗОЧНОГО ДЕЙСТВИЯ ТРАНСМИССИОННЫХ МАСЕЛ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Н.Ф. Дмитриченко, Р.Г. Мнацаканов, О.Н. Билякович, Е.В. Богайская

Национальный транспортный университет, Киев, Украина
Национальный авиационный университет, Киев, Украина

В условиях долговременного использования масел в агрегатах трансмиссий машин их состав, физико-химические свойства и эффективность смазочного действия подвержены существенным изменениям вследствие процессов старения и загрязнения механическими примесями.

Целью исследования, проводимого авторами, являлось изучение динамики изменения параметров смазочного действия (СД) трансмиссионных масел (ТМ) в зависимости от продолжительности применения данных смазочных сред в реальных узлах и агрегатах различных транспортных средств. Отбор проб ТМ был осуществлен по специально разработанной программе триботехнических испытаний в зависимости от величины пробега подконтрольных транспортных средств (ПТС) (от 0 до 200000 километров).

Исследования смазочной способности масел с различным остаточным ресурсом были проведены с помощью лабораторного комплекса, в состав которого входили одноконтанная установка СМЦ-2 и цифровой электронный блок, в режиме нестационарного трения. Фиксация и обработка параметров СД — в режиме реального времени при использовании компьютерной техники и соответствующего программного обеспечения.

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о наличии на определенных этапах использования трансмиссионных масел (при определенных значениях пробега ПТС) „критической зоны”, когда имеет место заметное ухудшение параметров смазочного действия, в частности, уменьшение толщины граничных полифазных слоев (ГПС), замедление интенсивности их формирования, после чего эффективность СД масел снова увеличивается. По мнению авторов, подобный результат может быть объяснен наличием так называемого переходного качественного состояния смазочных сред — когда активные присадки частично или целиком выработаны, а процессы окисления и полимеризации базовой части масел еще недостаточно эффективны при формировании ГПС.

Анализ закономерностей формирования и деструкции ГПС, а в перспективе — механизмов их структурных изменений, позволит оптимизировать сроки рационального использования элементов трибосистем, увеличить ресурс узлов и агрегатов машин.

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ ГРАНАТА, ЛЕГИРОВАННОГО ЦЕРИЕМ, ДЛЯ СОЗДАНИЯ УДАЛЕННЫХ ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ БЕЛЫХ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП

А.О. Добродей, Е.Н. Подденежный, Е.И. Гришкова

Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Гомель, Беларусь

Разработан новый способ синтеза наноструктурированных порошков иттрий-алюминиевого граната (ИАГ), легированных ионами редкоземельных элементов с использованием метода термохимического синтеза (горение), которые могут быть использованы в качестве исходного сырья для получения люминесцирующих полимерно-керамических материалов, стеклокерамических композитов и оптической керамики. Легирование ИАГ церием с добавлением гадолиния и лантана позволяет сдвинуть спектр люминесценции в красную область, тем самым получить излучение «теплого» белого света. Все образцы получены путем горения азотнокислых солей в сахарозе с последующей обработкой при $T = 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t = 1$ час на воздухе.

Методика получения люминесцентного полимерно-керамического покрытия — плоского фотопреобразователя включает в себя смешивание порошка $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ с кремнийорганическим лаком КО-08, нанесение композиции на поверхность полимерной или стеклянной подложки слоем толщиной 20—50 мкм и сушки при температуре 40—60 °С. В объеме покрытия формируется островковая структура, состоящая из агломератов наночастиц люминофора и областей прозрачности. Суммарное излучение в виде возбуждаемой в люминофоре желтой люминесценции и синий свет светодиода, проходящий через прозрачные области, фиксируется глазом как белый свет.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ В ПАРЕ С ТИТАНОВЫМ СПЛАВОМ ВТ-9

М.Н. Добычин, А.В. Никулин, Б.Я. Сачек

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва, Россия

Керамика находит все более широкое применение в узлах трения объектов атомной, авиационно-космической, химической, металлургической и др. отраслей промышленности в силу уникального сочетания прочностных и триботехнических свойств наряду с химической инертностью и высокой температурной стойкостью. В этом отношении особое место принадлежит керамикам на основе диоксида циркония с небольшими добавками оксидов иттрия, щелочно-земельных или редкоземельных элементов.

В ИОФ РАН разработана новая технология получения наноструктурированных материалов, основанная на плавлении материала с помощью прямого ВЧ-нагрева и последующей направленной кристаллизацией расплава в холодном контейнере, которая позволила получить наноструктурный материал на основе диоксида циркония (ZrO_2) — кристаллы частично стабилизированного диоксида циркония (кристаллы ЧСЦ) с наноразмерными кристаллическими частицами в диапазоне от 5 до 100 нм. Предварительные эксперименты по испытанию на трение различных композитов по закаленной стали показали перспективность использования кристалла ZrO_2 в качестве материала для подшипниковой опоры.

Триботехнические испытания проводились на многофункциональном триботестере УМТ-2 по схеме торцевого трения по диску 3-х пальчиковых образцов, выполненных из керамики (кристалла) ZrO_2 . Представлены результаты экспериментального исследования вышеуказанных материалов в условиях сухого трения в паре с альфированным титановым сплавом ВТ-9. Показано, что в условиях трения $V = 0,004$ м/с, $P = 3,3$ МПа и $T = 150$ °С между ними нет существенной разницы в отношении антифрикционных свойств, а в от-

ношении износостойкости небольшое преимущество имеют кристаллы ZrO_2 вследствие большей микротвердости. Износостойкость же альфированного титана практически одинакова как в паре с керамикой, так и в паре с кристаллом. Отдельная серия испытаний была посвящена определению зависимости интенсивности изнашивания от давления для материалов оптимальной пары трения в условиях, характерных для работы подшипника скольжения в узле поворота лопатки осевого компрессора.

Полученные уравнения имеют вид: $I = 1,58 \cdot 10^{-10} P^{1.49}$ — для кристалла ZrO_2 и $I = 3,7 \cdot 10^{-9} P^{1.43}$ — для сплава ВТ-9.

МОДИФИКАЦИЯ КАУЧУКОВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ОЛИГОМЕРАМИ

Р.М. Долинская, Т.Д. Свидерская, Е.И. Щербина

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

Резинотехнические изделия, используемые в различных отраслях промышленности при хранении и эксплуатации подвергаются воздействию естественных атмосферных и климатических факторов, растрескиваются и преждевременно выходят из строя. Применяются различные способы повышения стойкости композиций на основе эластомеров к внешним воздействиям, которые заключаются в уменьшении ненасыщенности эластомерной матрицы.

В работе показано, что повышение стойкости эластомеров к внешним воздействиям достигается их модификацией — эпоксидированием, смешением с более термостойкими эластомерами.

Были изготовлены смеси каучуков СКЭПТ-60 : СКИ-3 (80:20 мас.ч) и в них при температурах 130 и 150 °С в течение 5 минут была введена эпоксидная смола в количестве от 5 до 10 мас. частей. Анализ полученных данных показал, что вязкость смеси СКЭПТ — СКИ-3 в несколько раз меньше, чем вязкость исходных каучуков. В работе показано, что вязкостные свойства исследуемых смесей можно регулировать введением в них эпоксидной смолы ЭД-20 в количестве от 2,5 до 10 мас. %.

Таким образом, исследованы реологические характеристики эластомерных композиций, модифицированных эпоксидной смолой. Показано, что существует зависимость вязкости от состава смесей, что свидетельствует о достаточной совместимости каучуков в смеси СКЭПТ-60 : СКИ-3.

ПОДШИПНИКИ СКОЛЬЖЕНИЯ — СЕЙСМОИЗОЛЯТОРЫ С КОМПОЗИЦИОННЫМИ САМОСМАЗЫВАЮЩИМИСЯ МАТЕРИАЛАМИ

Ю.Н. Дроздов¹, В.А. Надеин², В.Н. Пучков¹, А.П. Краснов³, М.В. Пучков¹

¹Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия

²ООО НГБ «Энергодиагностика», Москва, Россия

³Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, Москва, Россия

Разработка нефтяных и газовых месторождений, часто, осуществляется в сейсмически активных районах (их активность может достигать 8—9 баллов по 9-балльной шкале) и это одна из главных трудностей, которую необходимо преодолевать в ходе реализации таких проектов. Реальным решением проблемы защиты от опасных последствий землетрясений высокой интенсивности является применение сейсмозащитных устройств, таких, как фрикционные маятниковые подшипники скольжения (ФМП).

Для обеспечения сейсмической изоляции между бетонным гравитационным основанием морской платформы и верхними сооружениями устанавливаются фрикционные ма-

ятниковые опоры скольжения. Четыре подшипника-сейсмоизолятора расположены в верхней части четырех бетонных опор. Они гасят экстремальные сейсмические нагрузки, изолируя верхние строения от наиболее разрушительных толчков, а также, снижают нагрузки на верхние строения от действия суточных изменений температуры, давления льда, волн и ветра. Высокая вероятность неблагоприятных экологических и экономических последствий от сильного землетрясения заставляет ученых и специалистов обращать особое внимание на повышение трибологической надежности фрикционных маятниковых подшипников скольжения, устанавливаемых на нефте- и газодобывающих платформах. Особые требования к материалу самосмазывающейся прослойки: обеспечение необходимой износостойкости (срок службы подшипников — не менее 30 лет) и сохранение низкого коэффициента трения в строго заданном интервале (0,04÷0,08) вне зависимости от наработки и от условий окружающей среды. Наиболее перспективными, способными обеспечивать необходимые фрикционные свойства и долговечность в условиях сурового климата и агрессивной окружающей среды, являются композиты, армированные волокнами термостойких полимеров и, так называемые смесевые антифрикционные ткани, созданные на основе волокон термостойких полимеров и политетрафторэтилена. Коэффициент трения термостойких тканей находится в сложной зависимости не только от химического состава, но и от свойств поверхности волокна, физико-химических свойств, сорбционной способности волокна и др. факторов.

Впервые в мировой науке и практике создаются научные основы проектирования опор скольжения, самосмазывающихся, самоустанавливающихся, с реверсивным движением для нефтегазовых морских платформ, превосходящих по несущей способности известные ранее опоры. Разработан оригинальный экспериментально — расчетный метод определения срока службы фрикционного маятникового подшипника скольжения-сейсмоизолятора с использованием зависимостей для определения скорости изнашивания, представленных в обобщенных переменных, а также метод оценки коэффициента трения фрикционных маятниковых подшипников.

ПОЛИМЕРНАЯ КОМПОЗИЦИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛА ОТ БИОКОРРОЗИИ С УЧАСТИЕМ СУЛЬФАТВОССТАНАВЛИВАЮЩИХ БАКТЕРИЙ И НАКОПЛЕНИЯ ЗАРЯДА СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

В.И. Дубкова, Н.П. Крутько, Т.С. Минкевич, Н.А. Белясова, В.Ф. Савченко

Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Защита от бактериальной коррозии и накопления заряда статического электричества обычно рассматриваются как отдельные, не связанные между собой составляющие. В то же время в практике нефтехимических и других производств эти два нежелательных фактора сосуществуют и присутствуют одновременно. В коррозионных процессах могут принимать участие различные микроорганизмы, однако наиболее опасными являются литотрофные, участвующие в трансформации серы в природе и способствующие созданию агрессивных сред. К ним относятся сульфатовосстанавливающие бактерии родов *Desulfovibrio*, с деятельностью которых чаще всего связывают коррозию металлов. Основываясь на этом, в ИОНХ НАН Беларуси разработана новая полимерная композиция, обладающая объединённой функцией защиты изделий, конструкций и сооружений от статического электричества и от химической и микробиологической коррозии, с высокой адгезией к металлическим, бетонным и другим поверхностям.

Антистатические покрытия из бифункциональной композиции характеризуются высокими коррозионно-защитными свойствами (коэффициент соотношения ёмкостей при различных частотах $K_f = 0,82—0,97$), выраженными антибактериальными свойствами по отношению к штаммам бактерий *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas fluorescens*, суль-

фатвосстанавливающим анаэробным *Desulfovibrio* LA, *Desulfomonas* (штамм СУ-6) и аэробным *Halothiobacillus neapolitanus*, которые вызывают питтинговую, язвенную и ручейковую коррозию металла. Покрытия оцениваются грибостойкостью в 0—1 балл по отношению к мицелиальным штаммам плесневых грибов

Aspergillus niger, *Chaetomium* sp., *Alternaria* sp. и *Trichoderma viride*. Бифункциональная композиция обладает высокой атмосферостойкостью (А31 после 120 циклов по ГОСТ 9.401) и химической устойчивостью при статическом воздействии растворов неорганических кислот, щелочей, насыщенных растворов хлоридов натрия и калия, роданида натрия, карбамида и сульфата аммония; лигносульфоната, пенозульсии для пожаротушения; устойчива при экспозиции в промышленных водах, товарной нефти и нефтепродуктах (выдержка — 4 года).

По результатам проведенных испытаний в НИИ пожарной безопасности и чрезвычайных ситуаций МЧС РБ покрытия из бифункциональной композиции являются искробезопасными на скоростях фрикционного взаимодействия Ф1-Ф6 (СТБ 11.05.04-2007) и могут применяться в помещениях категории «Б» по взрывопожарной и пожарной опасности, где по условиям эксплуатации возможно образование взрывоопасных парогазовоздушных смесей.

РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫЕ И ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПОЗИЦИИ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА С ШИХТОЙ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩЕЙ

В.И. Дубкова¹, Л.В. Судник¹, Л.В. Кульбицкая¹, Л.В. Маркова², В.Г. Комаревич²

¹Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

²Институт порошковой металлургии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Целью работы является исследование влияния шихты алмазосодержащей (ША-Б) на кристаллическую и надмолекулярную структуру сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ). Образцы композиций получали по порошковой технологии путем сухого смешения ингредиентов вручную и в механоактиваторе с последующим таблетированием методом горячего прессования. Для сравнения в тех же условиях подготовки и прессования изготавливали образцы СВМПЭ ненаполненного. Рентгеновскую съемку порошковых смесей и композиций после прессования выполняли на дифрактометре ДРОН-3 с использованием $\text{Cu K}\alpha$ излучения. Морфологию поверхности СВМПЭ и изломов его композиций исследовали на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения "Mira" фирмы "Tescan" (Чехия).

Выявлена высокая чувствительность СВМПЭ даже к слабым механическим воздействиям: наблюдается понижение рентгеновской степени кристалличности полимера и увеличение доли моноклинной модификации в кристаллической фазе. Размер области когерентного рассеяния (ОКР) кристаллитов моноклинной модификации увеличивается с незначительным понижением микронапряжений в ее кристаллической решетке. ОКР кристаллитов орторомбической фазы, наоборот, уменьшается, микронапряжения повышаются. Прессование порошка СВМПЭ приводит к дальнейшему понижению рентгеновской степени кристалличности полимера, содержание кристаллитов моноклинной модификации в кристаллической фазе полимера снижается значительно, вплоть до полного исчезновения. Введение ША-Б в СВМПЭ приводит к изменению соотношения между упорядоченными и неупорядоченными областями. Наблюдаются концентрационные зависимости степени кристалличности, размеров ОКР орторомбической и моноклинной модификаций в кристаллической фазе, микронапряжений в элементарной ячейке и её параметров от содержания вводимой добавки. Выявлены существенные различия в морфологии образующихся кристаллов СВМПЭ ненаполненного и в композиции с ША-Б. Если на поверхности

скола СВМПЭ наблюдаются сплюснутые сферолитные структуры, то в присутствии ША-Б, наряду со сферолитами, образуются многогранные структуры (эдриты), разнообразные по форме и величине (вплоть до массивных пирамидальных). ША-Б в композиции выступает в роли инициатора кристаллизации полимера. Перестройка структуры СВМПЭ под влиянием ША-Б отражается на электрофизических, термомеханических и физико-механических свойствах композиции.

КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ НАШПАЛЬНЫХ ПРОКЛАДОК

В.В. Дубровский¹, В.И. Инютин², В.Е. Мирошников²

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

На Белорусской железной дороге для железобетонных шпал наиболее распространено раздельное клеммно-болтовое крепление КБ с жесткими клеммами. Одной из причин нарушения работы крепления КБ является выход из строя наспальной резиновой прокладки в зоне выкружки подрельсовой площадки. В результате этого металлическая подкладка смещается, контактирует с бетоном и инициирует процесс его выкрашивания. Кроме того, использование в креплении КБ резиновых прокладок общей толщиной 17 мм, которые слабо сопротивляются горизонтальному перемещению рельсов относительно шпал, приводит к существенному ослаблению затяжки гаек клеммных и закладных болтов. После замены резиновых прокладок прокладками из полимерных композиционных материалов на основе фенольной смолы, наполненной измельченными отходами автомобильных покрышек, не было зафиксировано случаев выхода из строя рельсов по дефекту 69 и продольных остаточных перемещений рельсов относительно шпал. Однако их производство из-за токсичности фенольной смолы было прекращено.

В данной работе исследовано влияние отходов обувных предприятий и функциональных добавок на прочность, износостойкость и жесткость композиционного материала на основе вторичного полиэтилена.

Оптимизацию состава композиционного материала производили с применением метода центрального композиционного планирования второго порядка. Были получены уравнения регрессии, отражающие влияние ингредиентов на прочность при растяжении, ударную вязкость и износостойкость материала. Полученные уравнения регрессии представляли адекватные математические модели прочности и износостойкости композита.

Определение статической жесткости при сжатии проводили с применением специального приспособления, оборудованного индикаторами часового типа для измерений упругих деформаций в интервале нагрузок на прокладку от 20 до 100 кН. Статическая жесткость прокладок из разработанного материала составила от 300 до 510 кН/мм, что превышает аналогичный показатель для прокладок из резины (50 кН/мм). Повышение жесткости прокладок снижает возможность раскручивания резьбовых соединений в рельсовых креплениях.

На основании проведенных исследований из разработанного композиционного материала изготовлена опытно-промышленная партия наспальных прокладок на железобетонные шпалы, которые использованы для проведения эксплуатационных испытаний на Белорусской железной дороге.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПЭТ И ЕГО СМЕСЕЙ С ПОЛИАЛКИЛЕНТЕРЕФТАЛАТАМИ, АРМИРОВАННЫХ КОРОТКИМИ СТЕКЛОВОЛОКНАМИ

В.В. Дубровский¹, В.Н. Коваль¹, Н.А. Иванова², С.С. Песецкий¹

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Современный период развития науки о полимерах характеризуется интенсификацией исследований структуры и свойств полиэтилентерефталата (ПЭТ). Это связано с быстрым расширением объемов его производства и возможностями создания на базе данного полимера широкого ассортимента композитов технического назначения. К числу последних относятся стеклоармированные материалы на основе ПЭТ.

В работе представлены результаты, характеризующие особенности их технологии, структуры и свойств. Показано, что повышенное содержание воды в стекловолокне приводит к существенному ухудшению показателей механических свойств стеклоармированных композитов. Учитывая динамический характер сорбции воды стекловолокном, удаление избыточной влаги с его поверхности целесообразно осуществлять непосредственно перед компаундированием. Исследовано влияние типа замасливателя, применяемого для обработки поверхности стекловолокна, на механические характеристики стеклоармированных композитов. Установлено, что наиболее эффективным является использование замасливателей на основе полифункциональных силанов.

Одной из особенностей ПЭТ является сравнительно низкая скорость кристаллизации, что приводит к неоднородности кристаллической структуры материала в блоках и, как следствие, высокому уровню внутренних напряжений в изделиях и пониженной ударной вязкости. Для повышения степени кристалличности в готовых изделиях используется специальная обогреваемая оснастка, что приводит к снижению производительности процесса и повышению стоимости готовой продукции. Установлено, что ускорение процесса кристаллизации ПЭТ достигается введением в состав композитов полиалкилентерефталатов, обладающих частичной совместимостью с ПЭТ и имеющих пониженную по сравнению с ним температуру стеклования. Полученные таким образом смесевые матрицы имеют единую и более низкую, чем исходный ПЭТ, температуру стеклования, что обуславливает получение материала с высокой степенью кристалличности при относительно низкой температуре оснастки.

Снижение скорости кристаллизации ПЭТ и получение аморфизированного материала с высокой ударной вязкостью обеспечивается введением в состав композитов удлинителей цепи. В результате повышается молекулярный вес ПЭТ и замедляются кристаллизационные процессы. Такие материалы предназначены для деталей, которые эксплуатируются при воздействии ударных нагрузок.

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ НАНОСТРУКТУРНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Л.Е. Евсева, С.А.Танаева

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

Необычные физические и механические свойства компактных наноматериалов во многом обусловлены масштабными эффектами, возникающими из-за малого размера зерна и, соответственно, значительной объемной доли границ раздела, в том числе границ зерен. Наиболее важным элементом структуры наноматериалов, во многом определяющем их макроскопические свойства, являются границы раздела, а для гетерофазных наноструктурных материалов дополнительно и межфазные границы. Применение наноструктурных

порошков для синтеза керамических материалов позволяет за счет активного спекания получать керамику, обладающую высокой плотностью и прочностью, с одной стороны, а с другой стороны достаточно высокой стойкостью к высокотемпературной ползучести. Для успешной эксплуатации новых материалов необходимо знать их теплофизические характеристики.

В данной работе экспериментально исследованы теплофизические свойства (коэффициент теплопроводности и удельная теплоемкость) керамических материалов, полученных спеканием из наноструктурных порошков, а именно: муллит, кордиерит, циркониевая керамика, литиевая керамика, корундовая с добавлением углеродных нанотрубок, а также нанопорошка углерода и компактированных наноуглеродных материалов в зависимости от направления прессования.

Показано, что удельная теплоёмкость нанопорошков больше удельной теплоёмкости компактированных наноуглеродных материалов. Что касается коэффициента теплопроводности данных материалов, то для нанопорошков, как и следовало ожидать, коэффициент теплопроводности достаточно низок, в то время как у компактированных материалов он почти на два порядка выше. Теплопроводности компактированных материалов вдоль и поперек направления прессования значительно отличаются.

Проведены измерения теплофизических свойств керамических наноструктурных материалов на основе оксида алюминия и оксида циркония. Коэффициент теплопроводности керамики зависит от химического состава, а также от плотности материала. Наблюдается тенденция увеличения коэффициента теплопроводности по мере добавления к оксиду алюминия новых наночастиц — оксида магния, а затем оксида циркония.

ПАЛЛАДИЙСОДЕРЖАЩИЕ КАТАЛИЗАТОРЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ АНИОНИТОВ

Ю.Г. Егиазаров, М.Ф. Горбацевич, Е.Н. Ермоленко,
Л.Л. Потапова, А.Ю. Володин, Б.Х. Черчес

Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Разработана методика приготовления полимерного композита — волокнистого палладийсодержащего катализатора, представляющего собой полимерный волокнистый анионит с нанесёнными кластерами металла. Носитель-анионит предварительно модифицировали карбоксилат-ионами, что позволяло при последующем ионообменном введении палладия и восстановлении катализатора обеспечить преимущественную локализацию палладия в тонком приповерхностном слое волокна.

В качестве носителей катализаторов использовали волокнистые аниониты, синтезированные на основе полиакрилонитрильного волокна «нитрон-Д»: ФИБАН А-5 и ФИБАН А-6. Для модифицирования анионитов использовали карбоновые кислоты, различающиеся химической структурой, размерами аниона и константами диссоциации: масляную, щавелевую, янтарную, винную и лимонную.

Лучшие результаты по локализации палладия в тонком приповерхностном слое волокнистого носителя были достигнуты при использовании лимонной кислоты в качестве модификатора. Это объясняется, очевидно, тем, что цитрат-ион превосходит по размерам другие использованные в работе карбоксилат-ионы. Цитрат-ионы, сорбирующиеся преимущественно в приповерхностном слое волокна, создают стерические затруднения для сорбции других ионов из раствора, в частности, препятствуя прониканию ионов PdCl_4^{2-} вглубь волокна.

Приготовленные волокнистые катализаторы были испытаны в процессе низкотемпературного обескислороживания воды. Найдено, что активность образцов катализатора на

основе цитратных форм анионитов заметно превышает активность образцов на основе хлоридных форм.

Разработанный палладийсодержащий катализатор обладает не только высокой активностью, но и хорошими физико-механическими свойствами (прочность, эластичность), что обеспечивает практически полное отсутствие истирания катализатора и сводит к минимуму потери активного металла при длительной работе.

ТЕРМОЭЛАСТОГРАФИЯ НАНОНЕОДНОРОДНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Н.И. Егоренков¹, М.Н. Стародубцева²

¹Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Гомель, Беларусь

²Гомельский государственный медицинский университет, Гомель, Беларусь

Изучение структурно-механической неоднородности поверхности полимеров, включая биополимеры, является актуальной проблемой. Механические свойства клеток человека и животных как биокмозитов определяются их цитоскелетом, основой которого являются полимеры (белок спектрин и/или актин), которые образуют двумерную или трехмерную структуру. Цель работы — изучение нанонеоднородности структуры и механических свойств поверхности нативных и химически модифицированных клеток (эритроцитов, нейтрофилов, тимоцитов), а также аморфных (поливинилбутираль и др.) и кристаллических (полиэтилен и др.) полимеров методом термоэластографии. Исследования проводили на атомно-силовом микроскопе НТ-206[®] с термоплатформой («МикроТестМашины», Беларусь) при (20—120) °С, используя зонды CSC38 (MikroMash), в статическом режиме (опции: топография, карты латеральных сил).

Показано, что наиболее эффективно изучать нанонеоднородность структурно-механических свойств поверхностей как синтетических полимеров, так и биологических клеток позволяют карты латеральных сил. Выявлено, что характер нанонеоднородности исследуемых поверхностей существенно зависит не только от химического модифицирования (например, пероксисоединениями), но и температуры исследуемой поверхности (образца), что подтверждает существенную роль релаксационных процессов. Наиболее значительные изменения нанонеоднородности исследуемых поверхностей происходят в области структурных (плавление-кристаллизация, денатурация) и релаксационных (стеклование) переходов. Так, для аморфных синтетических полимеров ярко выраженная при температурах ниже температуры стеклования структурно-механическая нанонеоднородность начинает уменьшаться при подходе к температуре структурного стеклования (например, 57 °С для поливинилбутираля) и практически исчезает при переходе через эту температуру. При этом уменьшается практически до нуля величина средних значений латеральных сил и, соответственно, увеличивается разброс значений вокруг средней величины (колоколообразная кривая плотности вероятности измеряемых значений становится все более пологой и вырождается). Близкая по характеру картина наблюдается для аморфно-кристаллических полимеров при переходе через температуру плавления (например, 100—110 °С для полиэтилена низкой плотности) и биологических клеток при переходе через температуру денатурации белков, образующих цитоскелет (например, 40—50 °С для спектрин-актиновой сетки цитоскелета эритроцитов).

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ГИДРАТИРОВАННЫХ КАЛЬЦИЕВЫХ МЫЛАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ, ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ И МУЛЬТИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ СТРУКТУРЫ

С.Ф. Ермаков¹, В.В. Мулярчик², В.Г. Константинов²,
В.Н. Данишевский², Р.А. Шулдыков¹, А.Л. Богданов¹

¹Институт механики металлополимерных систем им В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²ОАО «Завод горного воска», г.п. Свислочь, Минская обл., Пуховичский р-н, Беларусь

В настоящее время имеют достаточно широкое применение пластичные смазочные материалы (ПСМ) на гидратированных кальциевых мылах, которые могут применяться в различных узлах трения, а также использоваться как консервационный состав, что делает актуальными исследования как по их удешевлению, так и по повышению качества.

Целью работы является разработка энергосберегающей технологии получения ПСМ на гидратированных кальциевых мылах с использованием промежуточных (дистилляты вакуумные нефтяные) и побочных (отек масляный производства парафинов) продуктов нефтепереработки и применением мультифункциональных стабилизаторов структуры. В качестве загустителя использовались мыла полученные в результате омыления синтетических жирных кислот суспензией гидроокиси кальция. Стабилизирующий компонент готовился на основе жидкокристаллических соединений холестерина, смеси многоатомных спиртов и эфиров этаноламинов.

Исследования показали, что ПСМ приготовленные с применением стабилизатора структуры, отличаются достаточно высокой стабильностью, и значительно превосходят эталонный образец по реологическим и триботехническим характеристикам. Время приготовления ПСМ по новой технологии сократилось более чем в 2 раза в сравнении с «Солидолом жировым». Показано, что эффективные количества стабилизатора структуры находятся в пределах 1—10% в зависимости от состава ПСМ и технологии приготовления. Установлено значительное влияние стабилизатора структуры на предел прочности на сдвиг исследуемых ПСМ, значение которого повышалось в 1,1—1,8 раза.

Испытания на ЧШМ также показали положительное влияние применяемого стабилизатора структуры на противоизносные свойства полученных ПСМ. Противоизносные свойства улучшились на 15—30%. Таким образом, установлено, что применение при получении ПСМ на гидратированных кальциевых мылах мультифункциональных стабилизаторов структуры и различных видов продуктов нефтепереработки позволяет получать ПСМ достаточно высокого качества, при этом обладающие повышенными реологическими и триботехническими свойствами при существенном сокращении времени их производства и энергозатрат.

АНТИФРИКЦИОННЫЕ СВОЙСТВА БИОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СЫВОРОТКИ КРОВИ

С.Ф. Ермаков¹, В.И. Николаев², А.В. Белецкий³

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²Гомельский государственный медицинский университет, Гомель, Беларусь

³Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии, Минск, Беларусь

Синовиальная среда сустава (синовиальная оболочка, суставной хрящ и синовиальная жидкость) является уникальной сбалансированной трибосистемой, элементы которой способны создавать оптимальные биофизические условия для длительного функционирования в условиях значительных переменных нагрузок. При остеоартрозе (ОА) хондроциты неспособны компенсировать недостаток их матрикса в сульфатированных мукополисахара-

ридах, заметно снижаются вязкоупругие свойства синовиальной жидкости (СЖ) вследствие усиления процессов расщепления и деполимеризации гиалуроновой кислоты (ГУК). Развивается трибологический дефицит и симптомо-структурные изменения в суставе. Очевидно, что наиболее эффективным является внутрисуставное введение таких препаратов, которые улучшат построение основного вещества хрящевой ткани и компенсирует недостаток ГУК в синовиальной жидкости. С биологической точки зрения наиболее подходит сыворотка крови (СК) и лекарственные средства (стекловидное тело и мукостат), действующими началами которых являются ГУК и хондроитинсульфат (ХС).

Цель работы — изучить антифрикционные характеристики биокомпозитов: СЖ, СК, СК+ГУК, СК+ХС при фрикционном взаимодействии естественной пары трения хрящ–хрящ.

Исследования проводили на маятниковом трибометре, пару трения изготавливали из элементов плечевого сустава животных через 1—2 часа post mortem, нагружение составляло 44,8 Н, начальный угол отклонения маятника 15°. Установлено, что добавка в СК стекловидного тела приводит к улучшению трибологических свойств сыворотки, вероятно, посредством образования за счет ГУК трехмерных каркасов на поверхности хрящей с образованием более прочной разделяющей смазочной пленки. В композиции СК и мукосат реализуется синергетический эффект, проявляющийся в улучшении смазочного действия по сравнению с действием исходных компонентов. При концентрации мукосата 50% в СК значения коэффициентов трения практически совпадают с аналогичными значениями СЖ. Результаты исследований являются основой для разработки медицинской технологии лечебной коррекции синовиальной среды сустава при остеоартрозе биокомпозитами на основе сыворотки.

БИОДЕСТРУКЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

В.Т. Ерофеев¹, М.М. Касимкина¹, А.Д. Богатов¹, В.Ф. Смирнов², В.А. Худяков³

¹Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск, Россия

²Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Н. Новгород, Россия

³Пензенский государственный технический университет, Пенза, Россия

Биологическая стойкость строительных материалов является одним из факторов, обеспечивающих надежность и долговечность зданий и сооружений. Поэтому задача изучения биологической коррозии строительных материалов и наносимых на них защитных покрытий представляется актуальной.

Проведены экспериментальные исследования сопротивляемости древесины, цементно-песчаного раствора и металла различным биовоздействиям. Рассматривали три варианта: без покрытия; с покрытием на основе эпоксидной смолы; с покрытием на основе эпоксидной смолы с фунгицидной добавкой «Тефлекс. Антиплесень». В результате проведенных исследований показано, что исследуемые материалы имеют степень обрастания 3 и 5 баллов, соответственно. При нанесении покрытия из эпоксидной композиции на рассматриваемые образцы наблюдается снижение степени обрастаемости на 1 балл. Показано, что фунгицидными свойствами обладают только образцы, покрытые эпоксидными композициями с фунгицидной добавкой «Тефлекс».

Исследовано изменение твердости на поверхности образцов материалов с покрытиями в условиях воздействия на них мицелиальных грибов. Установлено, что биоцидное покрытие оказывает благоприятное влияние на исследуемую характеристику, что проявилось в большей стабильности коэффициента изменения твердости по сравнению с эпоксидным покрытием. При длительных сроках испытания (6 мес.) образцов, покрытых биоцидным составом, коэффициент изменения их твердости близок к 1. После испытаний покрытий на поверхности металлических образцов обнаружены продукты коррозии, что яв-

ляется одной из причин снижения твердости материала с покрытием. Образцы, покрытые эпоксидным составом с фунгицидной добавкой, характеризуются меньшей хрупкостью поверхности и большей стабильностью свойств по сравнению с необработанным материалом и образцами, покрытыми эпоксидным составом. На первоначальном этапе испытания твердость образцов из цементно-песчаного раствора с эпоксидным покрытием и без него носит сходный характер. Наиболее предпочтительными по исследуемому показателю в сравнении с остальными составами оказались образцы с фунгицидным эпоксидным покрытием

Таким образом, покрытия на основе эпоксидных связующих и биоцидных добавок обеспечивают наименьшее изменение механических свойств материалов, которые они защищают.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ

В.Т. Ерофеев¹, А.В. Лазарев¹, А.Д. Богатов¹, В.А. Худяков²

¹Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск, Россия

²Пензенский государственный технический университет, Пенза, Россия

Одним из важнейших свойств композиционных материалов, определяющих их широкое применение в строительстве, является высокая коррозионная стойкость при воздействии химических и биологических агрессивных сред.

Нами исследованы эпоксидные композиты на аминотрансферном отвердителе с применением различных пластификаторов и наполнителей.

В качестве пластификаторов были использованы: диоктилфталат (ДОФ); карбамидная смола (ПКП-52); фурфуролацетонный мономер (ФАМ). Задача оптимизации составов полимерных композитов решалась с помощью математических методов планирования эксперимента. После статистической обработки результаты экспериментов показывают, что при содержании диоктилфталата от 4 до 8 мас.ч. и отвердителя 25—30 мас.ч. на 100 мас.ч. смолы прочность композитов при сжатии достигает 95 МПа, а при изгибе — более 80 МПа. Результаты эксперимента по исследованию составов, модифицированных карбамидной смолой, показали, что максимальные значения прочности при сжатии достигаются при ее введении в количестве до 6 мас.ч., а отвердителя — 30 мас.ч. на 100 мас.ч. смолы. Прочность композитов при таком содержании компонентов достигает 95—105 МПа. При модификации фурфуролацетонной смолой максимальное значение прочности при сжатии, равное 110 МПа, наблюдается при содержании пластификатора до 6 мас.ч. и отвердителя 30 мас.ч. на 100 мас.ч. смолы. Максимальная прочность при растяжении (72 МПа) достигается при следующем содержании компонентов: пластификатора — 10—14 мас.ч. и отвердителя — 10 мас.ч. Как следует из приведенных данных, модифицирование эпоксидных композитов оптимальными концентрациями пластифицирующих добавок позволяет получать составы с пониженной хрупкостью.

При проведении исследований наполненных эпоксидных композитов в качестве наполнителей были использованы измельченные отходы оптического стекла марки ТФ110 класса тяжелых флинтос с преобладанием в его составе свинца, марки ТФ10, содержащей в своем составе тройную систему $K_2O-PbO-SiO_2$, и бой кирпича глиняного обыкновенного. Тип фракций и содержание определенного зернового состава были приняты за варьируемые факторы: X_1 — 0,63—0,315 мас.ч., X_2 — 0,315—0,16 мас.ч., X_3 — менее 0,16 мас.ч.

Статическая обработка результатов эксперимента позволила выявить зависимости, характеризующие изменение предела прочности при сжатии, а также модуль упругости эпоксидных композитов от вида применяемого наполнителя.

ПРОСВЕТЛЯЮЩЕЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОЕ ПОКРЫТИЕ НА ОСНОВЕ ЧАСТИЦ СЕРЕБРА, СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ В ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЕ ПММА

С.В. Еськин¹, П.А. Музалев¹, И.Д. Кособудский¹, Н.М. Ушаков²

¹Саратовский государственный технический университет, Саратов, Россия

²Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Саратов, Россия

Просветление поверхностей элементов оптических систем используют для уменьшения потерь интенсивности падающего излучения на отражение, т. е. увеличения пропускной способности материала. Применение антибликовых покрытий актуально не только для устройств отображения информации, фотоэлементов, оптических линз, но и для средне- и даже крупногабаритного листового стекла, которое может быть использовано в качестве витражей, защитных стекол различного назначения, архитектурных компонентов и т.п..

Разработан уникальный неинтерференционный метод просветления, основанный на природе взаимодействия оптического излучения с наноструктурными системами (прозрачная полимерная матрица + сферические наночастицы определенных металлов), благодаря которому возможно достижение «идеального просветления».

Для оценки эффективности данной модели и анализа свойств соответствующего нанокompозита произведены экспериментальные исследования.

Композиционный материал рассматриваемого покрытия на основе наночастиц серебра, стабилизированных в матрице полиметилметакрилата (ПММА), синтезировали по методу «класпол». Анализ структуры нанокompозита осуществляли посредством РФА, ПЭМ, АСМ и др. методов. Среднее значение диаметра Ферета сферических нановключений металла при концентрации, обеспечивающей максимальную оптическую эффективность покрытия, составило менее 10 нм. Достаточно однородный фракционный состав, а также характер распределения полученных частиц серебра в матрице ПММА свидетельствует о правомерности использованного метода синтеза представленного нанокompозита. Нанесение просветляющего покрытия на подложку осуществляли жидкофазным и аэрозольным методами. Толщину пленок варьировали от 30 до 100 мкм; максимальная шероховатость не превышала 100 нм.

В ходе оптической спектроскопии экспериментальных образцов были выявлены опытные зависимости интенсивности проявления просветляющих свойств толстых пленок от концентрации металла в полимере, а также параметров синтеза.

По результатам исследований установлено, что применение композиционных покрытий в виде толстых пленок приводит к значительному увеличению пропускания в широком диапазоне длин волн (400—1100 нм).

ИЗУЧЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ОБРАЗОВАНИЯ АЛИФАТИЧЕСКИХ АМИДОВ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА КАПРОЛАКТАМА

Е.Н. Жданук¹, Э.Т. Крутько^{1,2}

¹ОАО «Гродно Азот», Гродно, Беларусь

²Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

Капролактама, важнейший мономер для синтеза полиамидных волокон, должен иметь высокую чистоту: содержание примесей в нем определяется миллионными долями. Исследования состава примесей, их происхождения и влияния на свойства капролактама являются необходимым условием обеспечения контроля на всех стадиях производства капролактама и, как следствие, высокого качества готового продукта.

Алифатические амиды сопутствуют капролактаму, получаемому через окисление циклогексана. В процессе окисления циклогексана из этих примесных углеводородов образуются соединения, которые на следующих стадиях переработки превращаются в амиды — источник летучих оснований в капролактаме. Очистка готового капролактама от амидов затруднена вследствие близости их свойств, поэтому необходима очистка полупродуктов от примесей, являющихся источником амидов.

В результате исследований было выявлено, что источником капроамида в капролактаме является капрональдегид, который является примесным соединением в циклогексаноне. В работе исследован механизм образования первичных амидов в капролактаме, приведены результаты хроматографического анализа полупродуктов со стадий получения циклогексанона и выявлен источник образования капроамида.

Обеспечение высокого качества капролактама — одна из важнейших задач, стоящих перед производителями этого продукта, определяющего качество получаемого из него полиамида и материалов на его основе, поэтому дальнейшее исследование состава примесей в капролактаме методом газовой хроматографии с применением современного аппаратурного оформления является целесообразным и перспективным.

ВЛИЯНИЕ НАНОРАЗМЕРНОЙ АЛМАЗНО-ГРАФИТОВОЙ ДОБАВКИ НА ЭВОЛЮЦИЮ СТРУКТУРЫ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК В ПРОЦЕССЕ ТРЕНИЯ

В.И. Жорник¹, А.В. Ивахник¹, В.П. Ивахник²

¹Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь

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

Свойства пластичных смазочных материалов в значительной степени определяются особенностями структуры их дисперсной фазы. В процессе трибозаимодействия трехмерный структурный каркас дисперсной фазы разрушается, что снижает его маслоудерживающую способность и ухудшает эксплуатационные характеристики смазочного материала.

Объектом исследования являлась дисперсная фаза пластичных смазок Литол-24 стандартного состава и ИТМОЛ-150Н с алмазосодержащим пакетом присадок на различных стадиях триботехнических испытаний, проводимых при удельной нагрузке 50 МПа. В качестве наноразмерной твердой добавки использовалась алмазно-графитовая шихта детонационного синтеза ША-А. Изучение дисперсной фазы смазок осуществлялось на сканирующем электронном микроскопе MIRA фирмы «Tescan» (Чехия) после ее отмывки по специальной методике.

Результаты исследования дисперсной фазы литиевой смазки Литол-24 и комплексной литиевой смазки ИТМОЛ-150Н с наноразмерными добавками показали, что в обоих случаях деструкция дисперсной фазы идет по механизму, включающему разрыв связей между волокнами и нарушение трехмерности каркаса, разрушение волокон и хаотичное образование из них более крупных и плотных структур, дробление дисперсной фазы до состояния не связанных друг с другом элементов и полную деструкцию структуры дисперсной фазы до раствора солей в дисперсионной среде. При этом структурный каркас дисперсной фазы модифицированной комплексной литиевой смазки более устойчив по сравнению с простой литиевой смазкой. Дисперсная фаза модифицированной смазки обеспечивает функционирование трибосопряжения благодаря сохраняющейся высокой дисперсности и работоспособности твердых антифрикционных добавок.

Исследование структуры дисперсной фазы смазочного материала на любом этапе триботехнических испытаний или эксплуатации узла трения позволяет судить о работоспособности пластичной смазки и сделать оценку ее остаточного ресурса.

НОВЫЕ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДИАНОВОЙ СМОЛЫ

М.В. Журавлева, Э.Т. Крутько, Т.А. Жарская

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

Целью данной работы являются разработка и исследование пленкообразующих композитов с улучшенными физико-механическими и термическими свойствами путем модификации эпоксидианового олигомера форполимером полиимида — полиамидокислотой и тетраамлеамидокислотой.

Пленкообразующие композиты получали путем введения в эпоксидиановую смолу с отвердителем раствор полиамидокислоты. Из полученных лаковых растворов отливали пленки на металлические и стеклянные подложки. Затем отверждали покрытия в термошкафу. Адгезионную прочность сформированных покрытий определяли методом решетчатого надреза с обратным ударом. Прочность при ударе образцов покрытий оценивали с использованием прибора «Удар-Тестер». Твердость определяли на маятниковом приборе. Анализ полученных экспериментальных данных позволяет утверждать, что наилучшего результата по качеству лакового покрытия на основе синтезированной имидосодержащей пленкообразующей композиции можно достичь при прогреве образцов олигомерных составов в температурном поле 100 °С в течение 140—160 мин. и при содержании олигомерного модификатора — полиамидокислоты в пределах 1—2% от массы сухого остатка эпоксидиановой смолы.

В качестве модификатора эпоксидианового олигомера нами также использовано гетероциклическое соединение — тетраамлеамидокислота.

Соотношение компонентов составляло, мас. %:

эпоксидная смола — 83,193—84,874

отвердитель — 10,924—12,605

тетраамлеамидокислота — 1,681—3,361

органический растворитель — остальное.

Обнаруженный эффект улучшения адгезионной прочности покрытия на основе разработанной композиции достигается только при использовании всех трех компонентов в заявляемых соотношениях.

На основании проведенного исследования синтезированы новые пленкообразующие имидосодержащие композиции, с улучшенными адгезионными свойствами, повышенной твердостью, ударопрочностью, влаго- и водостойкостью. Установлено, что модифицирующие компоненты катализируют процесс отверждения эпоксидиановых покрытий и повышают их термическую стабильность и коррозионную стойкость к агрессивным воздействиям внешней среды.

СТРУКТУРА И ЭНЕРГЕТИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ С ПОВЕРХНОСТЬЮ (100) ЖЕЛЕЗА

А.Л. Зайцев, Т.Н. Генарова

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

Химические превращения органических соединений на поверхности металлов в большинстве поверхностных явлений в значительной степени влияют на фрикционные, коррозионные и адгезионные свойства металлополимерных систем. В условиях трения углеводородная смазочная прослойка неизбежно подвергается окислению. Образующиеся при трении продукты деструкции и неполного окисления углеводородов, адсорбирующиеся на поверхность металла, изменяют характер взаимодействия и физико-химические

свойства границы раздела. Более того, формирование энергетически стабильных поверхностных структур может привести к изменению фазового состава поверхности, макроскопического поведения системы и ее технических характеристик.

В работе предпринята попытка в рамках метода функционала плотности рассчитать энергетику взаимодействия некоторых кислородсодержащих соединений (этанол, ацетон, формальдегид), использованных в качестве моделей функциональных групп продуктов неполного окисления углеводородов, с идеальной поверхностью железа (100) и установить наиболее устойчивые геометрические конфигурации продуктов хемосорбции.

Показано, что адсорбция продуктов неполного окисления углеводородов, в частности концевых гидроксильных и карбонильных групп, является экзотермическим процессом, протекающим с выделением энергии 100—350 кДж/моль, что свидетельствует о химической природе взаимодействия. На расстояниях порядка 3—4 вследствие поляризационного взаимодействия молекулы слабо реагируют с поверхностью железа с незначительным выделением энергии 2—10 кДж/моль. Энергетика экзоэффекта зависит от химической структуры адсорбата и в случае хемосорбции этанола является максимальной. Образующаяся связь Fe—OH, характерная для молекулярной адсорбции этанола, является нестабильной и разлагается с выделением атомарного водорода и образованием этоксильных поверхностных комплексов железа, в которых этоксигруппа связана с поверхностью трехкоординированным кислородом.

Взаимодействие карбонильных соединений сопровождается меньшим экзотермическим эффектом и приводит к образованию более стабильных молекулярных хемосорбированных структур, в которых связь молекулы с поверхностью осуществляется посредством атомов кислорода и водорода (ацетон) либо кислорода (формальдегид).

Полученные результаты свидетельствуют о высокой химической активности гидроксилсодержащих продуктов окисления углеводородов по отношению к поверхности железа.

ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВКАХ

В.И. Зозуля

ООО «Сумский научно-технический центр», Сумы, Украина

Проанализирован 40-летний опыт создания новых конструкций деталей и уплотнений из самосмазывающихся материалов для цилиндропоршневых групп в зависимости от условий эксплуатации компрессорных машин и вида компримируемого газа с давлением от 0,1 до 400 кгс/см² для работы без смазки.

Смазка цилиндропоршневых групп в компрессоров является нежелательным процессом. Например в некоторых газовых средах смазочные материалы могут насыщаться газом и влагой (конденсатом), что приводит к изменению их смазывающих свойств. Коэффициент диффузии двухкомпонентных смесей может быть рассчитан по уравнению:

$$D_{12} = \frac{k_{12} \cdot T^{1.5} \cdot \left(\frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2} \right)^{0.5}}{P \cdot \sigma_{12} \cdot \Omega_D},$$

где D_{12} — коэффициент диффузии компонента 1 в компонент 2; k_{12} — эмпирический коэффициент взаимодействия компонентов; T — температура; M_1 и M_2 — молекулярные веса компонентов; P — давление; σ_{12} — среднее арифметическое эффективных диаметров; Ω_D — интеграл соударений для диффузии.

При малой скорости движения и большом удельном давлении смазочный материал не полностью разделяет поверхности взаимодействующих деталей машин. При этом одна часть нормальной нагрузки передается микрообластям непосредственного контакта трущихся тел, а остальная часть нагрузки передается микроклиньями смазочного материала, заполняющего углубления и неровности, то есть появляется смешанное трение. Сила смешанного трения:

$$F_{\text{смеш}} = F_{\text{сух}} - F_{\text{жид}} = f_{\text{смеш}} \cdot N = f_0 \cdot N - \eta \cdot A \cdot \frac{dv}{dh}$$

Недостаток масла, неправильный подбор состава масла или несвоевременная его замена приводят к уменьшению подъема поршня и снижает влияние скорости на силу трения, что приводит к повышенному износу трущихся пар. Сложность учета всех приведенных выше факторов определяет фактическую необходимость внедрения самосмазывающихся композитных материалов, позволяющих исключить необходимость подачи смазки и при этом получить значительный технико-экономический эффект.

Подбор композитных материалов зависит от состава рабочей среды, условий и режимов работы компрессора. Проведена модернизация компрессоров более 91 машин 52 типов с переводом на работу без подачи масла и установкой уплотнений из материалов Ф4УВ20, Флувис и др. Так с 2006 г. на ЗАО «Северодонецкое объединение Азот» работает компрессор коксового газа М100 фирмы «Borsig», в котором 1-я ступень (поршень диаметром 1320 мм) работает при температуре 190÷200 °С, а 2-я ступень (диаметр 700 мм) при 230÷235 °С. Уплотнения выполнены из композита Флувис. На 24.04.10 г. компрессор проработал 24206 часов без замены уплотнений.

Для более широкого и эффективного применения композитных материалов в компрессоростроении считаю необходимым направить усилия разработчиков этих материалов на улучшение их свойств: повышение диапазона реальных рабочих температур до 270÷300 °С, достижение допустимой контактной скорости в паре трения с металлом до 6,5 м/сек, улучшение коэффициента теплопроводности материала, с приведением значений этих характеристик в сертификат, представляемых на материал.

В идеале, представляется необходимой совместная работа проектировщиков оборудования и изготовителей композитных материалов с учетом технических требований по условиям их предстоящей продолжительной эксплуатации в составе создаваемого или модернизируемого компрессорного оборудования.

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ И ТИПА НАПОЛНИТЕЛЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.И. Зубко, Д.В. Зубко

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Одним из важнейших научных направлений в материаловедении является разработка новых полимерных композиций на основе вторичных материалов, которые могут найти применение в электротехнической промышленности. Целью данной работы является разработка композиций на основе вторичного полиэтилена и исследование закономерностей изменения их электрических свойств в зависимости от содержания и типа наполнителя в диапазоне частот электрического тока 50 Гц — 1 МГц.

Разработана технология получения полимерных композиций на основе вторичных материалов, в которых в качестве связующего использован вторичный полиэтилен, а наполнителями являются порошкообразное углеродное волокно, резиновая крошка, лиг-

нин, порошкообразная электролитическая медь и др. Для исследования электрических свойств композиций создана экспериментальная установка, включающая высокочувствительный емкостной преобразователь (датчик) и малогабаритный цифровой измеритель иммитанса, обеспечивающий контроль текущих результатов на мониторе персонального компьютера.

Исследованы электрические свойства композиций на основе вторичного полиэтилена в зависимости от содержания и типа наполнителя в диапазоне частот электрического тока 50 Гц — 1 МГц. Обнаружено, что при повышении содержания порошкообразного волокна от 20 до 50% удельная электрическая проводимость композиции на основе вторичного полиэтилена возрастает на 4 порядка, от значений 10^{-7} до $10^{-3} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$.

Таким образом, изменяя содержание и тип наполнителя, характер его распределения в полимерной матрице, уровень взаимодействия полимер — наполнитель, контактное сопротивление между частицами, можно в широких пределах регулировать удельную электрическую проводимость наполненных композиций, превращая вторичный полиэтилен (изолятор) в полупроводник или электропроводящий материал.

В итоге выполненных исследований разработаны новые композиции электротехнического назначения на основе вторичного полиэтилена, установлены закономерности изменения их электрических свойств в зависимости от содержания и типа наполнителя в диапазоне частот электрического тока 50 Гц — 1 МГц. Результаты работы использованы для подбора оптимальных составов композиций на основе вторичного полиэтилена, при которых обеспечиваются их заданные электрические свойства.

РАЗРАБОТКА И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ИЗ БИНАРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

П.Г. Иваночкин¹, Н.А. Мясникова¹, Е.М. Колосова², М.И. Чебаков²

¹Ростовский государственный университет путей сообщения

²НИИ механики и прикладной механики при Южном федеральном университете, Ростов-на-Дону, Россия

Одним из путей повышения надежности, долговечности и экономичности материалов узлов трения является разработка и применение различных композиционных материалов. Имеется широкая и разнообразная по способу реализации группа материалов — бинарные материалы, в которой основную нагрузку берет на себя металл (сталь, латунь, бронза), а высокие антифрикционные характеристики обеспечиваются твердым смазочным материалом, расположенным в пазах, углублениях, отверстиях перфорации.

Эффективность использования бинарных материалов основана на формировании пленки фрикционного переноса на поверхности контртела, которая предотвращает задиры и схватывания при работе без смазки или прекращении ее подачи. Непрерывное возобновление пленки фрикционного переноса на рабочих поверхностях подшипника осуществляется контактным смазыванием — переносом твердой смазки на контактирующую с ним металлическую поверхность непрерывным намазыванием.

С целью использования ПТФЭ в составе бинарных антифрикционных самосмазывающихся материалов разработаны способы модификации его поверхности. Модифицирование позволяет значительно повысить адгезионную способность поверхности композита. Для контроля качества модифицированной поверхности наполнителя были использованы методы, основанные на совместном применении методов электронной спектроскопии для химического анализа (ЭСХА) и инфракрасной спектроскопии многократного нарушенного полного внутреннего отражения (ИК МНПВО).

Развиты методы расчета, разработаны теория и принципы оптимального проектирования новых типов бинарных подшипников скольжения. Осуществлен анализ механики

контактного взаимодействия для некоторых типов известных и новых существенно неоднородных цилиндрических самосмазывающихся бинарных подшипников скольжения.

Изучено влияние механических и геометрических параметров задачи на напряженно деформируемое состояние цилиндрического слоя, Рассмотрено влияние тепловыделения от трения, исследованы закономерности влияния температуры и коэффициента трения на величины контактных и эквивалентных напряжений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 09-08-01195)

СВОЙСТВА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ФРАКЦИИ, ВЫДЕЛЕННОЙ ИЗ НАНОДИСПЕРСНОГО ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

Л.Н. Игнатьева, О.М. Горбенко, В.Г. Курявый,
С.В. Суховерхов, А.Б. Слободюк, В.М. Бузник

Институт химии ДВО РАН, Владивосток, Россия

Нанодисперсный политетрафторэтилен (НПТФЭ), полученный термогазодинамическим методом (торговая марка ФОРУМ), является модифицированной формой политетрафторэтилена и имеет отличные от промышленного политетрафторэтилена свойства. Особенность этого материала — его деструкция, которая начинается при 50 и заканчивается при 500 °С. Это связано с наличием в составе порошка фаз с различной термической устойчивостью, что обусловлено полимолекулярностью порошка. Низкотемпературная фракция была выделена из порошка НПТФЭ при 70 °С в изотермических условиях. Несмотря на то, что фракция составляет не более 5% от общего состава порошка, она интересна для практических применений, в частности, она растворима в среде сверхкритического CO₂, что позволило создать технологию нанесения нанотонких фторопластовых покрытий.

По данным электронной сканирующей микроскопии фракция состоит из плоских бесформенных пленок размером около 10 мкм. Пленки в свою очередь состоят из наночастиц размером до 0,2 мкм. Помимо этого в образце присутствуют образования в виде волокон. Для определения состава фракции был проведен масс-хроматографический анализ. Основными компонентами фракции являются фторуглеродные образования с количеством атомов углерода от 6 до 14. Методом ИК-спектроскопии изучалось строение макромолекул низкотемпературной фракции. В её ИК-спектре наблюдаются полосы при 1785 и 985 см⁻¹, которые характеризуют колебания концевых –CF=CF₂ и боковых –CF₃ групп, соответственно. Спектр ЯМР ¹⁹F с вращением образца под магическим углом (ВМУ) содержит до 20 индивидуальных сигналов. Наиболее интенсивные из них относятся к группам –CF₂–CF₂– и –CF₃, другие, согласно квантово-химическим расчетам, вызваны разветвлениями во фторуглеродной цепи.

Были изучены термические свойства низкотемпературной фракции. Она возгоняется в температурном интервале 50—150 °С, плавится при 83 °С. Низкая температура плавления делает этот продукт технологически перспективным для нанесения покрытий, заполнения пор, создания композитов.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ СПЕЧЕННЫХ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ФРИКЦИОННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

А.Ф. Ильющенко¹, А.А. Дмитриевич¹, А.В. Лешок²

¹Институт порошковой металлургии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

²Молодечненский завод порошковой металлургии, Молодечно, Беларусь

Учитывая специфику развития автотракторной техники в Беларуси и странах СНГ, в институте порошковой металлургии основным направлением в области разработки фрикционных материалов признано создание композиций, предназначенных для эксплуатации в условиях, характерных для узлов трения энергонасыщенных машин и механизмов. При разработке новых фрикционных материалов особое внимание уделяется вопросам повышения износостойкости и получения достаточно высокого и стабильного коэффициента трения, а также вопросам снижения себестоимости и получения экологически чистых материалов.

Создан ряд металлокерамических фрикционных материалов с использованием стального порошка, получаемого переработкой шламовых отходов отечественной подшипниковой промышленности. Серия таких материалов известна под маркой «ШАДЕФ» Материал «ШАДЕФ» обладает коэффициентом динамического трения 0.07—0.14, интенсивностью изнашивания $2—5 \cdot 10^{-9}$. Преимущества материала в большей степени проявляются в тяжело нагруженных узлах трения (удельная работа трения до 850 Дж/см^2 , скорость скольжения до 70 м/с).

Параллельно, с расширением применения фрикционных материалов на основе железа, в институте активно ведутся работы в области совершенствования материалов на основе меди. Несмотря на более высокую стоимость исходных порошков, они, благодаря хорошей технологичности в производстве и высоким триботехническим характеристикам готового изделия, продолжают оставаться наиболее востребованными на современном рынке данного вида продукции.

НОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ С УЛУЧШЕННЫМИ СВОЙСТВАМИ ДЛЯ ГАЗОСТАТИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВ И ПНЕВМОТРАНСПОРТА СЫПУЧИХ СРЕД

А.Ф. Ильющенко¹, В.М. Капцевич², М.А. Андреев¹,
Р.А. Кусин¹, И.Н. Черняк¹, Д.И. Жегздринь¹

¹Институт порошковой металлургии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

²Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Беларусь

В триботехнике обособленной областью можно выделить газостатические подшипники и пневмотракторное оборудование, то есть узлы и устройства, в которых технологическим материалом, обеспечивающим «смазку» пары трения или перемещение транспортируемой сыпучей среды вдоль направляющего элемента является газ (как правило, воздух). Эта обособленность определяется тем, что используемые в данном случае материалы должны обладать по сравнению с другими пористыми фрикционными и антифрикционными материалами большей пористостью, обеспечивающей сквозную проницаемость. В большинстве случаев практического использования они должны обеспечивать равномерное распределение газового потока с высокой степенью диспергирования при минимальных потерях давления.

Цель данной работы — разработка новых процессов получения пористых материалов на основе металлических порошков с улучшенным комплексом свойств.

В работе приведены результаты исследований трех процессов получения двухслойных пористых материалов на основе металлических порошков с толщиной мелкодисперсного слоя не более 0,3—0,4 мм, основанных на: ионно-плазменном напылении в вакууме порошковой подложки с введенными в поверхностные поры порошковыми частицами удаляемого агента; прессование подложки из крупнодисперсного порошка формообразующим элементом с нанесенным с помощью связующего слоем мелкодисперсного порошка; прессование подложки из металлических волокон формообразующим элементом с нанесенным с помощью связующего слоем мелкодисперсного порошка. Причем для обеспечения необходимого качества спекания металлические волокна были активированы мелкодисперсными порошковыми частицами.

Исследование структуры пористых материалов осуществляли с помощью сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения "Mira" фирмы "Tescan" (Чехия), свойства определяли по стандартным методикам (по ГОСТ 26849–86 — средний размер пор, ГОСТ 25283–93 — коэффициент проницаемости).

В результате работы экспериментально установлено, что разработанные материалы по сравнению с известными обладают более высоким коэффициентом проницаемости (выше в 1,5 раза) при одинаковых средних размерах пор, что гарантирует снижение энергозатрат при эксплуатации изготовленных из них газостатических подшипников или пористых распределителей газовых потоков для пневмотранспорта.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОЛИЧЕСТВА МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ФРИКЦИОННЫХ ДИСКОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТОРМОЖЕНИЯ ПОГРУЗЧИКА «АМКОДОР»

А.Ф. Ильющенко¹, А.В. Лешок², С.А. Багнычев³, С.А. Карпыза³

¹Институт порошковой металлургии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

²Молодечненский завод порошковой металлургии, Молодечно, Беларусь

³ОАО Амкодор, Минск, Беларусь

Одним из основных элементов дорожно-строительной техники является мост, в котором устанавливаются тормозные элементы, обеспечивающие безопасность эксплуатации машин и способные передавать крутящий момент от продольно расположенных валов коробки передач к поперечно расположенным осям конечных передач, на которые установлены ведущие колеса. Для передачи крутящего момента служит фрикционный диск с металлокерамическим фрикционным слоем из материала на основе меди (МК-5).

В настоящей работе выполнена оценка влияния количества металлокерамических фрикционных дисков в тормозном узле погрузчика «Амкодор» на эффективность торможения.

Проводилось измерение тормозного пути холодных и нагретых тормозов погрузчика на участке дороги с сухим асфальтовым покрытием при следующих условиях: погрузчик без груза, рабочее оборудование в транспортном положении; шины 20.5—25.0 (НС 28); давление в шинах передних колёс — 0.35 МПа, задних — 0.27 МПа; давление в гидросистеме тормозов — 5.0 МПа; масса погрузчика 13600 кг; асфальтобетонное покрытие сухое. Тормозной путь определялся при максимальной скорости машины, осуществлялось тензометрирование гидросистемы рабочей тормозной системы погрузчика.

Результаты испытаний показали, что изменение количества фрикционных дисков в тормозах переднего и заднего моста не сказывается на динамике изменения давления в системе от времени торможения. Рабочая тормозная система погрузчика «Амкодор» с двумя и тремя фрикционными дисками обеспечивает торможение в пределах тормозного пути, соответствующего требованиям ГОСТ ИСО 3450. По результатам испытаний приня-

то решение использовать в тормозном механизме по три металлокерамических фрикционных диска.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ НЕКОТОРЫХ ТЕРМОПЛАСТОВ

Е.В. Иноземцева, О.Р. Юркевич

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

Композиты на основе смесей термопластичных полимеров находят все более широкое применение. Введение в состав базового полимера другого полимера позволяет целенаправленно изменять свойства материала. Структура и свойства смесевых композитов зависит от ряда факторов: совместимости полимеров и их соотношения, технологических факторов на стадиях получения и переработки.

Целью настоящей работы является исследование структуры и свойств материалов и покрытий на основе полиамида (ПА 6) и полиэтилентерефталата (ПЭТФ), модифицированных добавками низкоплавких термопластов: полиэтилена низкой плотности (ПЭНП) и сополиэфира (со-ПЭТ).

Использовали порошки полимеров. Для их получения гранулированные ПА 6, ПЭТФ и со-ПЭТ измельчали механическим путем после их охлаждения в жидком азоте. Порошок ПЭНП применяли в состоянии поставки. Композиции получали из полидисперсных ПА 6 и ПЭТФ порошков с размером частиц менее 315 мкм. Дисперсность легкоплавких компонентов изменяли в пределах 50—200 мкм. Композиционные составы готовили механическим смешением компонентов в шаровой мельнице.

Образцы материалов получали в виде пленок, сформированных методом свободного спекания контролируемого по толщине слоя порошка на алюминиевой фольге после их отслаивания. Режимы формирования пленок определены на основании предварительных экспериментов: для композиций на основе ПА 6 — температура 230—240 °С, время спекания 600 с; а на основе ПЭТФ — температура 280—285 °С, время спекания 300 с. Предел прочности материала пленок при растяжении и относительное удлинение при разрыве оценивали на разрывной машине ZM-40 (Германия). Физико-химический анализ композиций и материала пленок проводили методами термического и рентгеноструктурного анализа.

Результаты исследований показали, что в процессе нагрева смесей происходит последовательное плавление легкоплавкого и высокоплавкого компонентов, сопровождающееся их взаимодействием, приводящим к образованию смесевых материалов с новыми свойствами. Определены условия, при которых легкоплавкий компонент частично растворим в матричном полимере и не проявляет свою индивидуальность. Структура подобных материалов отличается однородностью, а пленки характеризуются повышенной механической прочностью и деформационной способностью.

СИНТЕЗ ВОДОРАСТВОРИМОЙ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ И ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ЕЕ ОСНОВЕ

Н.Я. Ищенко, А.З. Чалабиева

Институт полимерных материалов НАН Азербайджана, Сумгайыт, Азербайджан

Эпоксидные материалы, благодаря своим адгезионным, прочностным и защитным свойствам покрытий на их основе, находят широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. Важнейшей задачей современной лакокрасочной промышленности является создание водорастворимых и водоразбавляемых композиций, что резко улучшает экологию не только при производстве, но главным образом, в условиях их применения.

Целью настоящей работы является разработка новой водоразбавляемой смолы и создание на ее основе композиционных материалов. В данном исследовании приведены результаты реакции свободнорадикальной теломеризации аллилглицидилового эфира (АГЭ) с диметилацетамидом (ДМАА) в присутствии дитретбутилперекиси. Выявлено, что в реакции участвуют, в основном, двойные связи АГЭ. Эпоксидная группа в теломере сохраняется и может быть использована для дальнейших полимераналогичных превращений. Состав олигомера определяли по содержанию азота, а также путем титрования эпоксидных групп. Молекулярный вес олигомера, определенный криоскопическим методом, составляет 580,6 г/моль. Содержание эпоксидных групп в олигомере 21,5 %. Смола имеет низкую вязкость и стабильна при хранении, хорошо растворяется в воде.

Состав синтезированной смолы подтвержден ЯМР ¹H и ИК спектрами. Изучено межфазное натяжения на границе воздух—вода. 0,25% водный раствор смолы значительно снижает поверхностное натяжение воды при 20 °С с 72,53 эрг/см² до 41,25 эрг/см². Эти данные важны для получения покрытий и указывают на возможность их получения без использования ПАВ, которые, оставаясь в покрытии, ухудшают его свойства. На основе смолы получены глянцевые и прозрачные покрытия с удовлетворительными физико-механическими характеристиками.

На основе синтезированной смолы созданы композиции, которые легко отверждаются полиэтиленполиамином (ПЭПА) и изо-метилтетрагидрофталевым (и-МТГФА) ангидридом. Композиции были охарактеризованы по периоду гелеобразования при различных температурах, а в отвержденном состоянии по теплостойкости, твердости, прочностным показателям и водостойкости. Разработанные композиционные материалы обладают высокими значениями тепло- и термостойкости, а также повышенной стойкостью покрытий к агрессивным средам.

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ФЕНИЛОНА С2 И КРЕМНЕЗЕМИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

О.С. Кабат, В.И. Сытар

Украинский государственный химико-технологический университет, Днепрпетровск, Украина

Большинство известных полимеров, которые работают в узлах трения, обладают сравнительно невысокой прочностью, теплостойкостью, износостойкостью и отличаются высоким уровнем значений теплового расширения. Поэтому актуальной задачей является создание полимерного композиционного материала с высоким уровнем триботехнических, физико-механических и теплофизических свойств.

В качестве объектов исследований были изучены композиции на основе ароматического полиамида, торговой марки фенилон С2, теплостойкость изделий из которого достигает 290 °С, а прочность при сжатии 240 МПа. Одним из недостатков фенилона С2 является его относительно высокие значения коэффициента трения. Для уменьшения коэффициента трения полимер модифицировали и наполняли материалами на основе кремнеземов. Использовали следующие кремнеземистые материалы: силикагель (КСКГ), бентонит, перлит вспученный (А75). Для введения в полимер их предварительно измельчали до размеров 7—15 мкм.

Исследования триботехнических характеристик композитов фенилон С2 + кремнеземистый материал проводили в режиме трения без смазывания при нагрузке $P = 1$ МПа, скорости скольжения $V = 1$ м/с по контртелу из стали 45 с твердостью 45 HRC и шероховатостью $R_a = 0,35$ мкм. Установлено, что концентрационные зависимости коэффициента трения и интенсивности линейного износа разработанных композитов носят экстремальный характер. Лучшие триботехнические характеристики наблюдаются у композитов на основе фенилона при 2—5% содержании кремнеземистого материала в полимере. Значе-

ния коэффициента трения и износа этих материалов соответственно в 2—2,5 и 8—12 раз меньше чем у исходного фенолона С2

В результате проделанной работы созданы полимерные композиты на основе фенолона С2 и кремнеземистых материалов с высоким уровнем триботехнических, физико-механических и теплофизических свойств, которые могут быть рекомендованы к применению в узлах трения, работающих при высоком уровне нагрузок и температур.

ВЛИЯНИЕ РАСТВОРИТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОЛИЭТИЛЕНА В УСЛОВИЯХ ЕГО ПЕРЕОСАЖДЕНИЯ

И.Г. Калинина, К.З. Гумаргалиева

Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва, Россия

Цель данной работы — установить изменения в физико-химических и механических свойствах полиэтилена в результате его переосаждения из «хорошего» (м-ксилола) и «плохого» (хлорбензола) растворителей и показать, что в результате структурной трансформации получается полимер с измененными сорбционными и окислительными свойствами относительно исходного. Предлагается двухкомпонентная модель, объясняющая наблюдаемые явления, в которой индивидуальный гомополимер рассматривается как смесь идеально упорядоченного вещества с множеством разнообразных элементов нарушения ближнего порядка.

Экспериментально найдено распределение элементов беспорядка в полимере при изучении сорбции (растворения) низкомолекулярного вещества (А) — зонда в полимере. Представляя сорбцию как истинное растворение А в полимере, описываемое законом Генри, мы получили формулу для оценки концентрации центров, сорбирующих А (Z_a):

$$1/[A]_p = 1/[Z_a] + (1/K_a * \gamma_a * [Z_a]) * 1/[A_m],$$

где $[A]_p$ — концентрация молекул А в полимере, $[A_m]$ — концентрация А в среде, окружающей полимер. K_a — константа равновесия при сорбции А центрами Z_a .

В качестве вещества-зонда А в работе использовали антиоксидант фенил-β-нафтил-амин (ФНА). В качестве меры реакционной способности А в переосажденных образцах полиэтилена принято минимально эффективное значение концентрации А в этих полимерах, называемое критической концентрацией, тормозящее окисление полимеров.

Условия окисления: 180 °С и давление кислорода 300 мм рт. ст. при поглощении летучих продуктов твердым КОН. Для изучения сорбции образцы выдерживались в растворах А в спирте с последующей экстракцией растворенного вещества также спиртом (40 °С), А в растворе анализировался спектрофотометрически.

Получено, что переосаждение полимера во всех случаях увеличивало кристалличность и снижало величину относительной деформации при разрыве. Рассматриваются два возможных механизма сорбции низкомолекулярных веществ полимером: проникновение растворенного вещества в уже существующие элементы свободного объема без изменения структуры полимерного вещества и создание новых сольватных оболочек за счет перестройки структуры полимера (пластификации). В нашем случае при низких концентрациях А в ПЭ наблюдается первый тип растворения, а при высоких — второй. Изотермы сорбции А образцами состоят из двух отчетливо различающихся частей, что объясняется перестройкой структуры ПЭ под влиянием А, когда его концентрация превышает некоторый предел, различный для разных образцов. Если в отсутствие А кинетические кривые поглощения O_2 образцами ПЭ практически совпадают, то в присутствии А наблюдаются значительные различия.

Таким образом показано, что переосаждение ПЭВП из разных растворителей приводит к заметным различиям в физико-химических и физико-механических свойствах поли-

мера, в том числе в параметрах сорбции и эффективности антиоксиданта (фенил- β -нафтиламина). На основании двухкомпонентной модели строения полимера и зонной теории окисления рассматривается природа этого эффекта. Количественное сопоставление параметров сорбции и антиокислительной эффективности ФНА подтверждает справедливость предложенной модели.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ФОРМОВАННЫЕ ИЗДЕЛИЯ ИЗ СМЕШАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТЫ

А.Н. Калинка, О.И. Карпович, А.В. Спиглазов, В.П. Ставров

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

Утилизация смешанных некондиционных отходов термопластичных полимеров и стеклопластиков контактного формования становится все более актуальной во всем мире и в Республике Беларусь. Получившие наибольшее распространение технологии сжигания и химического рециклинга не отличаются высокой экономической эффективностью, но вызывают возражения у экологов. Переработка таких отходов в изделия конструкционного назначения весьма привлекательна по экологическим соображениям, но требует решения ряда технологических и технико-экономических проблем.

Смешанные отходы термопластичных полимеров характеризуются неоднородным и часто неопределенным составом, широким спектром температурных режимов пластикации и термодинамической несовместимостью компонентов и высокой вязкостью расплава и, как следствие, низкими показателями механических свойств материала в изделиях. По этим причинам существенно возрастают трудоемкость и энергоемкость пластикации, возникают затруднения при формовании изделий, ограничивается область применения и снижается конкурентоспособность изделий.

Цель исследования — создание технологий утилизации смешанных отходов термопластичных полимеров и стеклопластиков, приемлемых по технико-экономическим критериям для формования конкурентоспособных изделий конструкционного назначения.

На основе анализа технологических свойств исходных материалов разработаны основы энергоэффективных и производительных процессов выделения стекловолокнистой фракции из отходов стеклопластиков, экструзионного совмещения ее со смешанными отходами термопластичных полимеров и формообразования изделий из таких композиций. Получены композиционные материалы с показателями механических свойств, достаточными для получения конкурентоспособных изделий конструкционного назначения. Разработаны специальные средства технологического оснащения для осуществления всех стадий процесса. Сформулированы критерии технико-экономической целесообразности получения изделий по разработанной технологии. Результаты исследований прошли опытно-промышленную апробацию и освоены в производстве изделий.

Исследования выполнены в соответствии с заданиями 1.29 ГППИ «Новые материалы и технологии» и 1.92 ГНТП «Ресурсосбережение–2010».

ИОННО-АССИСТИРОВАННОЕ ОСАЖДЕНИЕ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ Mo И Ti НА ЭЛАСТОМЕР

А.В. Касперович¹, И.С. Ташлыков², О.Г. Бобрович¹,
Ж.С. Шашок¹, В.В. Мозгалёв¹, В.В. Мяделец¹

¹Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

²Белорусский государственный педагогический университет им. М. Танка, Минск, Беларусь

Металлические армирующие материалы по своим свойствам, технологии изготовления, обработке и переработке значительно отличаются от остальных типов армирующих материалов, применяемых в шинном производстве. Работоспособность шины как неоднородной системы зависит в значительной степени от сил сцепления между отдельными элементами покрышки. Прочность связи металлокорда с резиновой смесью увеличивается путем их поверхностной обработки: латунированием, бронзированием или другими комплексами.

В настоящее время для металлокорда наиболее распространена система латунирования, когда адгезия зависит, главным образом, от состава латуни, ее кристаллической структуры и толщины латунированного слоя. Кроме того, при производстве шин в резиновые смеси для брекера и каркаса вводят дополнительно промоторы адгезии на основе кобальтовых солей. Они обеспечивают достаточную адгезию к латунированному металлокорду. Однако по-прежнему стоит вопрос в поиске новых технологий, которые позволят увеличить уровень адгезии резины к металлокорду.

В данной работе для модифицирования поверхности латунированного металлокорда применен метод нанесения покрытий ассистируемых собственными ионами (НПАСИ).

Эксперименты по НПАСИ проводились с использованием вакуумного резонансного дугового источника с электродами, изготовленными из материала наносимого покрытия. Этот метод позволяет получить поток ионов молибдена и титана (Mo и Ti) и нейтральных атомов. Энергия ассистирующих ионов в экспериментах была 10 кэВ, вакуум при осаждении покрытий составлял $\approx 10^{-2}$ Па. Отношение плотности ионного потока к плотности потока нейтральных атомов в разных экспериментах варьировалось от 0,1 до 0,3 при значении скорости нанесения покрытия 0,1—0,4 нм/сек. В таких условиях покрытие наносится на мишень в режиме атомного перемешивания, в результате чего обеспечивается высокая адгезия покрытия на изделии и формируется плотная без границ зерен структура покрытия.

Структуру модифицированного металлокорда изучали методом сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионным химическим анализом на микроскопе JSM-5610 LV с системой химического анализа EDX JED-2201 JEOL (Япония).

ПОЛУЧЕНИЕ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ФРИКЦИОННОГО УГЛЕРОД-КЕРАМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА КЛАССА C/SiC

А.М. Кенигфест¹, Е.И. Крамаренко¹, В.В. Кулаков¹,
В.В. Мозалев¹, А.В. Кулифеев², С.А. Ситников²

¹ОАО Авиационная корпорация «Рубин», Балашиха, Московская обл., Россия

²ООО «Токкуум», Москва, Россия

Карбид кремния давно известен как материал, успешно применяющийся в тех условиях, когда требуется устойчивость при высоких температурах, а также высокая твердость и износостойкость. С целью снижения присущей этой керамике хрупкости и повышения стойкости к термическим ударам ее армируют различными волокнами: углеродными, карбидокремниевыми, оксидными и другими, получая волокнистые композиционные материалы различного назначения. В последнее десятилетие проводятся интенсивные исследова-

ния технологии получения и трибологических свойств различных разновидностей фрикционных материалов C/SiC, содержащих карбидокремниевую матрицу и углеродные волокна. Эти материалы получают газофазной или жидкофазной пропиткой углерод-углеродных основ с использованием легколетучих соединений кремния, жидких кремнийорганических полимеров или расплавленного кремния. Выяснилось, что материалы C/SiC представляют собой весьма эффективную альтернативу традиционным фрикционным материалам: металлокерамическим и углерод-углеродным, чугунам и полимерам, особенно в тяжелых условиях фрикционного нагружения. Они уже используются в тормозах ряда автомобилей, постоянно обсуждаются перспективы их применения в тормозах самолетов, скоростных поездов и высокоэнергетических подъемников.

Обсуждаются результаты экспериментов по получению материала C/SiC путем пропитки жидким кремнием (силицирования) полуфабрикатов из серийно выпускаемого фрикционного углерод-углеродного материала Термар-АДФ-ОС с различной степенью уплотнения пековым коксом, при этом основной задачей было выявление оптимального содержания матричного углерода, обеспечивающего сохранение армирующих углеродных волокон — их защиту от взаимодействия с кремнием. Изучены структура и фазовый состав различных вариантов материала. Установлено, что сохранение волокон достигается при исходной плотности основы для силицирования не менее $1,45 \text{ г/см}^3$ и объемной пористости не более 30%. Определены прочностные свойства материалов, определены фрикционные характеристики при различных скоростях начала торможения и давлениях на рабочих поверхностях. Показано, что материал оптимального состава имеет весьма высокие и стабильные при различных режимах фрикционного нагружения значения коэффициента трения, в отличие от аналогичных углерод-углеродных материалов не чувствительного к влиянию влаги, а также высокую износостойкость.

ВЛИЯНИЕ НАГРУЗКИ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ ТЕПЛОСТОЙКИХ ТЕРМОПЛАСТОВ

И.Н. Ковалева¹, А.Я. Григорьев¹, И.В. Гофман², В.Е. Юдин²

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²Институт высокомолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург, Россия

Современные теплостойкие термопласты широко используются в узлах трения механизмов, функционирующих в экстремальных условиях (аэрокосмическая техника, судостроение, химическое машиностроение и т. д.). Однако их триботехнические характеристики, как и для большинства полимеров, зависят от напряженно-деформированного состояния, что требует определения оптимальных условий нагружения узлов трения.

Целью работы являлось изучение влияния нагрузки на коэффициент трения теплостойких термопластов. Исследовались образцы полифениленсульфида, полиэфирэфиркетона и полиимидов марок ULTEM 1000 (Gelest, США), P-ОДФО (ИВС РАН, Россия) и ДФО-ДАДФЭ (НПО «Пластмассы», Россия).

Коэффициент трения определялся при возвратно-поступательном скольжении стального шарика (ШХ15, $d=4,8 \text{ мм}$) по плоской поверхности полимера при нагрузках $0,1 \dots 1,0 \text{ Н}$ и скорости скольжения $2,5 \text{ мм/с}$. Механические свойства полимеров определялись по диаграммам деформирования при растяжении. Радиус пятна контакта для анализа напряженно-деформированного состояния фрикционной пары оценивался по ширине дорожки трения, глубина которой (линейный износ) измерялся интерферометрическим методом.

Установлено, что для всех типов исследованных материалов зависимость коэффициента трения имеет минимум $0,1 \text{—} 0,2$ в области нагрузок $100 \dots 300 \text{ мН}$ при характерном значении $0,35 \text{—} 0,55$. Результаты анализа напряженно-деформированного состояния пока-

зали, что минимум коэффициента трения соответствует переходу от упругого к пластическому деформированию материала в области фрикционного контакта. При упругом нагружении наблюдался «отрицательный износ» — вспучивание материала внутри следа трения. Обнаруженное уменьшение микротвердости поверхностных слоев зоны трения свидетельствует о возможной связи наблюдаемого явления с релаксацией напряжений, возникших при изготовлении образцов.

Результаты могут быть использованы для повышения триботехнических характеристик узлов трения из теплостойких термопластов путем изменения условий их нагружения. Работа выполнена при поддержке Белорусского и Российского фондов фундаментальных исследований (проекты №Т10Р-051 и №0-03-90005-Бел).

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ВОДОВОДОВ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА ДЛЯ МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫХ СЕТЕЙ ВОДООТВЕДЕНИЯ.

В.В. Коврига, Н.В. Бисерова

ООО «Группа Полипластик», Москва, Россия

Армирование полимерных материалов известно давно. Это резиновые шланги высокого давления, пластмассовые армированные шланги, которые, как минимум, состоят из трёх слоёв — внутренняя герметизирующая оболочка, силовой каркас и наружная защитная оболочка. Полимерные оболочки изготавливаются из различных полимеров, в зависимости от назначения шланга (трубы). Силовой каркас — из непрерывных высокопрочных нитей или стальной проволоки. Наибольший диаметр трубы такой конструкции не превышает $D_y 300$.

Широко распространено армирование полимеров, например, мелкорубленным стекловолокном. Изделия из такого материала применяются в автомобильной промышленности. Фирма КРАН применила стеклонаполненный ПЭ для производства труб большого диаметра методом спиральной навивки экструдированной ленты. Преимуществом такого способа производства фирма считает то, что при экструзии ленты рубленое стекловолокно ориентируется в направлении экструзии, а так как намотка ленты происходит практически перпендикулярно оси трубы, возникает анизотропия прочностных свойств материала в продольном и поперечном направлении. Известно, что при нагружении трубы внутренним давлением среды радиальные напряжения в стенке вдвое больше осевых. Таким образом, положительная анизотропия прочности материала в радиальном направлении позволяет увеличить напорные характеристики трубы до уровня, когда критической становится прочность материала в осевом направлении. Как бы далее не укрепляли (армировали) материал трубы в радиальном направлении увеличить рабочее давление не удастся.

Было принято решение провести армирование трубы сеткой из стекловолокна. В результате были разработаны основные технологические приемы производства армированных труб типа КОРСИС ПЛЮС большого диаметра, позволяющие изготавливать трубы на заданное давление. Данные, полученные на опытной установке на трубах диаметром 630 мм, позволяют достаточно точно моделировать конструкции труб больших диаметров, в том числе и диаметром до 4000 мм. Разработка технологии армированных труб типа КОРСИС ПЛЮС обеспечивает значительные экономические преимущества, а именно снижение веса труб в несколько раз и, соответственно, в разы уменьшается себестоимость готовой продукции. Технология производства армированных труб позволяет получить конструкцию трубы диаметром до 4000 мм с заданной кольцевой жёсткостью и гибкостью.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ СОПРОТИВЛЕНИЯ РАЗДИРУ МАТРИЦЫ АРМИРУЮЩИМ ЭЛЕМЕНТОМ

В.В. Коврига, И.Н. Пятин, В.И. Сергеев, С.С. Пендик

ООО «Группа Полипластик», Москва, Россия

В настоящее время при создании армированных трубопроводов наметилась тенденция уменьшения толщины стенки рабочей полимерной трубы. В этих условиях возникает опасность продавливания стенки трубы через редкую сетку армирующих элементов. Особенно это опасно в условиях, когда армированные трубопроводы работают в условиях высоких температур (до + 150 °С).

В предлагаемом методе образец представляет собой фрагмент стенки трубы, который прорезается металлической проволокой малого диаметра с одновременным ступенчатым изменением температуры.

Используемая техника позволяет в одном эксперименте (на одном образце) получить данные о температурной зависимости раздирающего усилия. Кривая раздира на каждой из температурных ступеней аналогична кривым раздира без использования армирующего элемента и поэтому может быть обработана в соответствии с методами ISO. Перед испытанием металлическая проволока диаметром 0,5 мм вводится в образец через просверленное отверстие. С целью правильной центровки направления раздира, в образце может быть профрезерована канавка шириной 5—6 мм. В зависимости от того, в какой зоне по толщине образца находится раздираемый материал можно оценить механические свойства матрицы во внутреннем, среднем или наружном слое стенки трубы. Полученные зависимости раздирающих усилий на единицу толщины для образцов сшитого полиэтилена в диапазоне температур до 150 °С показали, что сшитый полиэтилен обеспечивает работоспособность трубы в температурном интервале до 115—120 °С.

Зависимости раздирающих усилий для полипропилена, полифениленсульфида показывают что применение этих материалов позволяет расширить температурный диапазон эксплуатации труб. Разработанный метод использован для выбора материалов труб, оценки воспроизводимости свойств при регулярном ведении технологического процесса.

МЕХАНИЗМ УЛУЧШЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ НАНОПОЛНЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С МЕДНОЙ ПОРОШКОВОЙ МАТРИЦЕЙ

В.А. Ковтун¹, В.Н. Пасовец²

¹Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²Гомельский инженерный институт МЧС, Гомель, Беларусь

Несмотря на достаточно большое число исследований в области материаловедения, вопросы создания материалов триботехнического назначения сочетающих высокую прочность и износостойкость, весьма актуальны. Среди различных путей решения данной проблемы можно выделить разработку композиционных материалов на основе порошковых металлических матриц с наноразмерными частицами углерода в качестве антифрикционного и упрочняющего наполнителя. В настоящее время все большее применение в промышленности находят антифрикционные порошковые материалы на основе меди. По механическим свойствам данные материалы из-за наличия пор несколько уступают литым, однако по эксплуатационным характеристикам их превосходят.

Цель работы состоит в выявлении механизма улучшения физико-механических характеристик порошкового композиционного материала на основе бинарных систем медь – углеродные нанотрубки (УНТ).

В качестве исходных компонентов порошковой системы использовали порошок меди ПМС 1 ГОСТ 4960–75 с размером частиц 45–63 мкм и УНТ, синтезированные методом пиролиза бензола. Минимальная концентрация УНТ составляла 0,07 мас.%. Процесс смешивания исходных компонентов композиционного материала проводили в разработанном устройстве для смешивания порошковых композиций (патент РБ № 6138). Материалы получали методом электроконтактного спекания порошковых композиций при давлении 400 МПа и силе тока 20 кА. Исследование структуры полученных материалов проводили с использованием трансмиссионной электронной микроскопии высокого разрешения на приборе «JEOL JEM-100СХ».

На основании проведенных исследований сформулирована гипотеза о том, что механизм повышения физико-механических характеристик порошкового композиционного материала медь – УНТ связан с упрочнением зон контактного взаимодействия частиц матрицы и заключается в следующем. При пропускании электрического тока через порошковую матрицу, содержащую УНТ, происходит проникновение жидкой фазы металла в сердцевину открытых нанотрубок под действием капиллярного эффекта и эффекта теплового удара. После кристаллизации металла в зонах контактного взаимодействия частиц матрицы образуются дополнительные связи Cu – УНТ – Cu, повышающие механическую прочность материала.

ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ВЗАИМНОГО ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ЗЕРЕН ЖЕЛЕЗА ПО СЛОЯМ АТОМОВ-СЕГРЕГАНТОВ НА ЗЕРНОГРАНИЧНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

В.И. Колесников, С.Б. Булгаревич, М.В. Бойко

Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону, Россия

Одна из причин разрушения поликристаллического материала связана с тем, что адсорбционные пленочные слои из легирующих и примесных элементов, формирующихся на границах зерен за счёт сегрегации и диффузии извне, ведут себя как третье тело (смазка) между соприкасающимися зёрнами. Это облегчает возможное скольжение зерен и разрушение материала. Нами была проведена оценка коэффициента трения скольжения между зёрнами поликристаллического железа со всевозможными гипотетическими слоями сегрегантов на их поверхностях. Данные приведены в таблице, которая демонстрирует периодическую зависимость коэффициента трения от порядкового номера элемента-сегреганта. Чем выше коэффициент трения, тем прочнее связь между зёрнами поликристаллического материала.

Порядк. номер	Название элемента	Коэф. трения	Порядк. номер	Название элемента	Коэф. трения	Порядк. номер	Название элемента	Коэф. трения
3	Литий	0,028	26	Железо	0,104	53	Йод	0,008
4	Бериллий	0,103	27	Кобальт	0,226	55	Цезий	0,005
5	Бор	0,216	28	Никель	0,228	56	Барий	0,015
6	Углерод	0,196	29	Медь	0,172	57	Лантан	0,043
7	Азот	0,011	30	Цинк	0,024	71	Лютеций	0,055
8	Кислород	0,011	31	Галлий	0,023	72	Гафний	0,102
9	Фтор	0,043	35	Бром	0,016	73	Тантал	0,150
11	Натрий	0,013	37	Рубидий	0,006	74	Вольфрам	0,189
12	Магний	0,019	38	Стронций	0,015	75	Рений	0,132
13	Алюминий	0,127	39	Иттрий	0,042	76	Осмий	0,117
15	Фосфор	0,082	40	Цирконий	0,100	77	Иридий	0,284

16	Сера	0,024	41	Ниобий	0,139	78	Платина	0,244
17	Хлор	0,026	42	Молибден	0,140	79	Золото	0,146
19	Калий	0,007	43	Технеций	0,113	80	Ртуть	0,009
20	Кальций	0,019	44	Рутений	0,106	81	Таллий	0,026
21	Скандий	0,060	45	Родий	0,257	82	Свинец	0,052
22	Титан	0,091	46	Палладий	0,173	88	Радий	0,012
23	Ванадий	0,117	47	Серебро	0,115	89	Актиний	0,046
24	Хром	0,100	48	Кадмий	0,016			
25	Марганец	0,066	49	Индий	0,028			

Авторы выражают благодарность РФФИ за поддержку проекта № 08-10-00025-а.

ФОСФОРОВОЛЬФРАМАТЫ ОДНОВАЛЕНТНЫХ МЕТАЛЛОВ — АНТИФРИКЦИОННЫЕ ПРИСАДКИ ДЛЯ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.И. Колесников¹, М.А. Савенкова¹, Ю.Ф. Мигаль², Д.Н. Солодовникова¹

¹Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону, Россия

²Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия

Как известно, присадки могут существенно улучшать антифрикционные свойства, смазочную способность, химическую и термическую устойчивость пластичных смазочных материалов (ПСМ). Перспективными в этом отношении являются олеофильные неорганические вещества полимерного строения, к которым относятся гетерополифосфаты.

Комплексом методов физико-химического анализа (термогравиметрическим, рентгенофазовым, ИК спектроскопическим) изучено взаимодействие в твердой фазе и на границе расплав — твердая фаза в системах $MePO_3-WO_3$ (Me — Li, Na, K, Rb, Cs, Ag). Для выделенных соединений $MePWO_6$ определены теплота плавления, показатель преломления и плотность. С использованием этих данных рассчитаны молярные объемы и рефракция, а также энтропия плавления.

С использованием пакета программ ADF, основанного на приближении DFT, определены структура фосфоровольфраматов и межатомные расстояния в них. Показано, что исходные вещества, полученные из расплава, состоят из циклических молекул различной симметрии (D_{3h} , C_{3v} и C_s). При взаимодействии с металлической поверхностью эти молекулы приобретают отрицательный электрический заряд и, взаимодействуя с кислородом, превращаются в линейные молекулы, которые затем одним концом прикрепляются к поверхности, создавая защитный слой.

Фосфоровольфраматы лития и натрия перспективны в качестве противоизносных, противозадирных и антикоррозионных присадок к ПСМ. Термостойкость соединений, лабильность структуры аниона при сохранности связей PO_P и PO_W, способность поглощать энергию из зоны трения позволяют длительно сохранять реологические свойства ПСМ на требуемом уровне. Антифрикционные свойства присадок $LiPWO_6$ и $NaPWO_6$ обусловлены образованием на поверхностях трибосопряжений модифицированных слоев вторичных структур с высокой несущей способностью, что подтверждается результатами триботехнических испытаний.

РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ПОВЕРХНОСТНОЙ МОДИФИКАЦИИ РЕЗИН С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕЗИНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ (РТИ)

М.М. Колобаева¹, И.В. Баранец¹, И.А. Карлина¹, В.Ю. Муль²,
З.А. Пересторонина¹, К.С. Путиев², С.К. Курлянд¹

¹ФГУП «НИИСК» им. академика С.В. Лебедева, Санкт-Петербург, Россия

²Балтийский Государственный Технический Университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

В последнее время активно развиваются работы по модификации уже существующих эластомерных материалов. Известно, что свойства полимерных изделий определяются главным образом поверхностным слоем толщиной от ~10 нм до нескольких микрометров. В связи с этим особый интерес представляет модификация поверхности эластомеров фторирующими реагентами, так как они в значительной степени удовлетворяют жестким условиям эксплуатации резинотехнических изделий.

В работе исследовалось влияние обработки поверхности резиновой пластины на основе СКН-18СМ фторсодержащими активными веществами на физико-химические свойства полимерного изделия.

Модификация резиновой пластины осуществлялась в процессе вулканизации, для этого используемый для обработки состав (2% раствор активного вещества в хладоне 114Б2) наносили на рабочую поверхность вулканизационной формы, что в процессе вулканизации приводило к переносу фторсодержащего вещества на поверхность вулканизуемой пластины. Морфологию поверхности исследовали с помощью приставки нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) к ИК-Фурье спектрометру Spectrum 100 фирмы Perkin Elmer и комплекса цифровой микроскопии фирмы Leica на базе исследовательского микроскопа DM-2500. Исследование упруго-прочностных свойств при растяжении проводилось на разрывной машине РМИ-60 с маятниковым силоизмерителем. С помощью ИК-спектроскопии и оптической микроскопии было обнаружено, что поверхность резиновой пластины, полученной в обработанной активным веществом форме, содержит слои капельного фторсодержащего покрытия, которые концентрированно располагаются вдоль дефектов поверхности пластины. Исследование упруго-прочностных свойств при растяжении показало, что вследствие обработки фторсодержащими активными веществами происходит увеличение удлинения при разрыве на 10%, и уменьшение напряжения при разрыве на 14%.

Представленные экспериментальные результаты демонстрируют определенную эффективность модификации поверхности полимеров фторсодержащими реагентами, что может быть использовано для усиления адгезии, снижения коэффициента трения, увеличение износостойкости, увеличения стойкости к атмосферной коррозии.

ВЛИЯНИЕ ВВЕДЕННЫХ В СМАЗКУ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ МДО-ПОКРЫТИЙ

В.И. Комарова, А.И. Комаров

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь

В настоящее время широкое распространение получили различные виды керамики в качестве материала триботехнического назначения. Керамические элементы трибосопряжений, как правило, обладают достаточно высокими износостойкостью и антифрикционными свойствами. Однако при эксплуатации материалов данного класса в условиях граничного трения и повышенных нагрузочно-скоростных режимов может наблюдаться интенсивный износ таких трибосопряжений. В то же время, существенное расширение диапазона допустимых нагрузок, а также снижение коэффициента трения и износа элементов

трибосопряжений может быть достигнуто путем модифицирования смазок и поверхностей трения различными формами наноуглерода.

В работе исследовано влияние добавок углеродных многостенных нанотрубок (УНТ) в масло на повышение износостойкости и антифрикционных свойств оксидокерамического МДО-покрытия состава $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 + \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ в условиях граничного трения.

Керамическое покрытие толщиной 100 мкм было сформировано на образце из сплава АК5М2 методом микродугового оксидирования. Триботехнические испытания выполняли по схеме возвратно-поступательного скольжения контртела из стали 65Г относительно неподвижного образца с керамическим покрытием со средней скоростью 0,1 м/с. Испытания проводили при давлениях 30, 40, 50 и 65 МПа. В качестве смазочного материала использовали индустриальное масло И-20А с добавками УНТ в количестве 0,1 мас. %.

Результаты исследований показали, что добавка 0,1% УНТ в масло И-20А приводит к существенному снижению (в 3,5—5,5 раза) коэффициента трения пары керамика ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 + \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) — сталь в исследованном диапазоне давлений 30—50 МПа. При этом наибольший эффект наблюдается в области высоких давлений. При давлении 50 МПа коэффициент трения на стадии установившегося изнашивания составляет 0,015—0,020, а при 30 МПа — 0,01—0,012. Кроме того, как следует из полученных данных, добавка УНТ в масло И-20А приводит к многократному снижению износа керамики во всем диапазоне контактных давлений.

Установлено, что на поверхности керамики в процессе трения формируется тонкая (~200 нм) пленка, состоящая, вероятно, из сшитых углеродными наночастицами радикалов и наноразмерных продуктов износа керамики и стали, прочно сцепленная с основой и служащая разделительным слоем между элементами пары трения.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СМАЗКИ НА ПРОЦЕССЫ ТРЕНИЯ ПРИ КОНТАКТНО-МЕХАНИЧЕСКОЙ УСТАЛОСТИ

В.В. Комиссаров, Е.С. Головина

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

В докладе представлены результаты экспериментальных исследований влияния и условий смазки на изменение характеристик трения и изнашивания в трибофатической системе. Данные испытания были проведены на машине для износоусталостных испытаний СИ-03М при частоте 3000 мин⁻¹, нормальной температуре и влажности окружающей среды. При испытаниях жидкий смазочный материал в зону контакта подавали капельным способом, а консистентную смазку наносили путем намазывания на ролик. В зависимости от направления изгибающей нагрузки трение реализовалось либо в зоне сжатия, либо в зоне растяжения. Степень проскальзывания в ходе испытаний составляла $\lambda = 3 \%$.

В работе, в частности, изучено влияние консистентной графитовой смазки и жидкого трансмиссионного масла Нафтан ТИ 5-2 на изменение силы (коэффициента) трения и износа в системе сталь 18 ХГТ (вал) / сталь 18ХГТ (ролик). Показано, что циклические напряжения (от изгиба), действующие в зоне контактного взаимодействия, могут, в зависимости от условий нагружения и смазки, повышать либо снижать (до $\pm 25\%$ и более) как коэффициент трения, так и износ.

Дан анализ закономерностей изменения силы (коэффициента) трения и износа в зависимости от величины и знака циклических напряжений, условий контакта, свойств смазочного материала. Обсуждается задача управления процессами трения и изнашивания путем возбуждения в узле трения циклических напряжений от внеконтактной нагрузки соответствующей величины и знака.

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ ПОДОШВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

К.Г. Коновалов

Белорусский Государственный Экономический Университет, Минск, Беларусь

В настоящее время наблюдается быстрый рост ассортимента подошвенных материалов на основе полимеров, в связи с этим является актуальным вопрос выбора адекватного метода оценки износостойкости.

В связи со сложностью молекулярного строения современных полимерных подошвенных материалов их износ под влиянием трения весьма специфичен и зависит от ряда факторов. Существующие методы оценки износостойкости подошвенных материалов базируются на приборах, предназначенных для испытания резин.

Наиболее распространен для оценки износостойкости подошвенных материалов метод опытных носок. Однако он дорог и недостаточно точен из-за трудности создания одинаковых условий носки. Поэтому часто при установлении устойчивости полимерных подошвенных материалов к истиранию применяют лабораторные методы, позволяющие получить данные, сопоставимые с реальными сроками носки.

Из лабораторных методов испытания подошвенных материалов наибольшее признание получил способ определения устойчивости к истиранию незакрепленным абразивом на приборе Позняка. Процесс изнашивания происходит в условиях поворотного сжатия, растяжения и изгиба за счет внедрения незакрепленных зерен абразива в условиях трения качения. Результаты испытаний в достаточной степени коррелируют с эксплуатационными испытаниями, однако метод является энерго- и материалоемким и требует значительных затрат времени на испытания и подготовку прибора.

Для оценки износостойкости полимерных подошвенных материалов по невозобновляемой поверхности применяют прибор типа Грассели. На основе данной кинематической схемы построен прибор МИ-2. Изнашивание на нем заключается в истирании образцов, прижатых к шлифовальному полотну. Основными недостатками данного метода являются отсутствие имитации процесса ходьбы человека, постоянное засаливание абразивного полотна вследствие расплавления образца при трении.

Не менее распространена группа методов для проведения испытаний с закрепленным абразивом по возобновляемой поверхности. Их сущность состоит в истирании образца, прижатого к абразивной поверхности вращающегося барабана, при этом образец перемещается параллельно оси барабана и вращается вокруг своей оси. Недостатком этого способа оценки является отсутствие имитации процесса ходьбы.

В заключении следует отметить, что все представленные выше методы оценки износостойкости разрабатывались для резин и дают весьма отдаленные результаты для полимерных подошвенных материалов: ПВХ, ПУ, ТЭП и др. В связи с этим является актуальным разработка метода и средств испытаний современных подошвенных материалов для низа обуви.

ВЛИЯНИЕ МЕТОДА ФОРМОВАНИЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ

И.Л. Копаев¹, А.П. Павленко², М.В. Буй²

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

В работе изучено влияние способа формования на некоторые механические свойства и износостойкость спеченного высокоглиноземистого керамического материала.

Износостойкость материалов оценена по ранее разработанной методике истирания керамических образцов прямоугольной формы размером 4×4×10 мм на алмазной шайбе. Анализ результатов позволил сделать выводы о влиянии некоторых факторов на механические свойства спеченных керамических изделий.

Плотность. Установлено, что наиболее значимо влияют на плотность керамики условия спекания — наибольшая плотность у образцов, полученных спеканием керамики в вакуумной печи, причем особенно заметно на образцах, отформованных методом прессования порошков. Отмечено, что плотность образцов, полученных методом горячего литья, практически не меняется от условий спекания — скорее всего, вакуум способствует улучшению спекания по границам зерен, что актуально для образцов, полученных прессованием. Отмечено слабое влияние давления прессования на плотность керамики.

Усадка. Наиболее значимо влияет метод формования на усадку изделий. В основном это обусловлено различным содержанием связки в отформованных изделиях. Однако в прессованных изделиях сказывается и плотность упаковки порошков при формовании в зависимости от приложенного давления: с повышением давления прессования усадка снижается.

Механическая прочность. Она наибольшая у образцов, формованных методом литья, причем при любых условиях спекания, при наименьшей плотности. По всей вероятности, это обусловлено более равномерным распределением частиц керамики по объему образца: отсутствуют границы между гранулами пресс-порошка, которые являются, по-видимому, концентраторами различных дефектов структуры, ослабляющих материал.

Износостойкость. Установлено, что:

- атмосфера печи оказывает наибольшее влияние на износостойкость спеченных керамических материалов — при спекании в вакууме износостойкость материалов выше независимо от способа формования;

- наиболее износостойкие материалы получают методом пластичного формования, хотя и сухим прессованием, и горячим литьем под давлением возможно формование изделий с достаточно высокой износостойкостью;

- давление прессования (в исследуемых интервалах) оказывает незначительное влияние на износостойкость полученных материалов;

- наиболее износостойкие материалы получены методом пластичного формования при температуре 20 °С, давлении 120...200 МПа, и последующим спеканием их в вакуумной печи в течение 2 ч при температуре 1550 °С.

ИЗНОСОСТОЙКАЯ ГЛАЗУРЬ ДЛЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ТРЕНИЯ

И.Л. Копаев¹, А.П. Павленко², М.В. Буй²

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

Нитеводители — одни из наиболее распространенных типов керамических изделий, применяемых в технике. Они широко используются в производстве волокон — натуральных, синтетических, углеродных, минеральных, проволоки из различных металлов, в ткацком производстве.

Наибольшее распространение в качестве материала нитеводителей получила алюмооксидная керамика благодаря ряду присущих ей уникальных свойств: высокой твердости и износостойкости, механической прочности и термостойкости.

Для определенных целей требуются нитеводители с низкой шероховатостью рабочей поверхности — R_a менее 0,1. Получить поверхность такого класса чистоты на высокоглиноземной керамике чрезвычайно трудоемко. Более простой путь — нанесение стекловидных износостойких покрытий, имеющих очень малую шероховатость.

Основными требованиями к глазурям были определены следующие:

- температура оплавления не выше 1100 °С;
- согласование по ТКЛР с материалом основы — алюмооксидной керамикой — коэффициент термического линейного расширения порядка — $70\text{—}90 \cdot 10^{-7} \text{ К}^{-1}$;
- глянцевая поверхность.

На основе поиска были определены два базовых состава, обладающие наиболее подходящими свойствами, которые и были взяты за основу. С целью повышения износостойкости глазури в их состав дополнительно были введены SrO, TiO₂, ZnO.

Изучены основные свойства глазури разработанных составов, их согласованности с материалом основы. Установлено, что данные глазури хорошо согласуются по механическим свойствам с алюмооксидной керамикой марок ВК 94-1 и «Oxal», имеют высокие значения твердости, микротвердости и механической прочности.

Произведена оценка износостойкости данных глазури. Установлено, что разработанные глазури по указанному параметру превосходят базовые составы примерно на 10—15%.

Определен состав суспензии глазури для нанесения на беспористую основу — спеченную алюмооксидную керамику. Определены оптимальные режимы основных технологических операций изготовления нитепроводителей с износостойкой поверхностью.

Произведены оценка шероховатости полученной поверхности — величина $R_a = 0,12\text{—}0,21$, т.е. поверхности глазурированных изделий отвечают предъявляемым к ним требованиям по шероховатости.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НОРМАЛЬНЫХ И ТАНГЕНЦИАЛЬНЫХ ФРИКЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ В КОЛОДОЧНО-КОЛЕСНЫХ ТОРМОЗАХ

А.Н. Коптовец, А.А. Бобылёв

Национальный горный университет, Днепропетровск, Украина

Анализ современных экспериментальных и теоретических исследований показал, что одним из основных факторов, влияющих на устойчивость процесса торможения в колесно-колодочных тормозах, является возникновение фрикционных автоколебаний вследствие наличия конструктивных связей между нормальными и тангенциальными колебаниями и деформирования шероховатостей контактирующих поверхностей.

В настоящей работе выполнено компьютерное моделирование взаимодействия нормальных и тангенциальных колебаний в колодочно-колесных тормозах. В качестве динамической модели рассмотрена система с двумя степенями свободы, состоящая из колодки, скользящей по вращающемуся колесу, и двух упругодемпфирующих элементов Фойхта, моделирующих направленные под углом к плоскости трения конструктивные связи тормозного механизма, наличие которых приводит к координатной взаимосвязи нормальных и тангенциальных колебаний колодки. Кривизна поверхностей колодки и колеса не учитывается. Считается, что колодка и колесо абсолютно жесткие, однако каждая контактирующая поверхность покрыта шероховатым слоем, состоящим из линейно-деформируемых микронеровностей одинаковой жесткости различной высоты. В процессе относительного движения происходит смятие микронеровностей. В первом приближении нормальная компонента локальных сил взаимодействия микронеровностей принимается пропорциональной величине их взаимного перекрытия. Трение между контактирующими поверхностями описывается законом Амонтона

Получена формулировка динамической задачи с трением в виде квазивариационного неравенства. Дискретизация вариационной задачи по времени производится на основе разностных схем. Для решения полученных на каждом шаге интегрирования квазивариаци-

ционных неравенств используется итерационный процесс, позволяющий свести решение задачи к решению последовательности вариационных неравенств с недифференцируемыми слагаемыми, обусловленными наличием сил трения. Построены эквивалентные этим вариационным неравенствам задачи минимизации, решение которых получено в явном виде.

В результате компьютерного моделирования установлено, что возможно возникновение фрикционных автоколебаний в тормозной системе, в которой не вводится искусственная разница между статическим и динамическим коэффициентами трения.

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КАВИТАЦИОННОЙ ЭРОЗИИ ПОЛИМЕРНЫХ И МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

В.В. Копытков¹, С.В. Сосновский²

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²ОАО «Гомельтранснефть Дружба», Гомель, Беларусь

Существующие в настоящее время физические модели кавитационного изнашивания не позволяют с достаточной достоверностью прогнозировать стойкость материалов и покрытий к гидроэрозионному воздействию потоков жидких сред при превышающих кавитационный порог скоростях. Практически все изготовители машин и конструктивных элементов, предназначенных для эксплуатации в подобных условиях, вынуждены при выборе материалов использовать результаты, полученные на основе чисто эмпирических подходов, лабораторных и стендовых испытаний. При этом из-за отсутствия стандартизированного испытательного оборудования исследовательские центры обычно используют установки собственной конструкции. Все это затрудняет корректное сравнение полученных данных.

В ИММС НАН Беларуси для выполнения работ по изучению эрозионного и кавитационного изнашивания материалов в интенсивных потоках воды и жидких углеводородов, в частности сырой нефти, разработана установка, позволяющая проводить исследования как металлических, так и полимерных материалов и покрытий. Установка устроена по принципу кавитационной мельницы и имеет следующие основные параметры: кавитатор цилиндрического типа диаметром 9 мм и высотой 8 мм; скорость жидкости в зоне кавитатора до 50 м/с; габариты испытуемых образцов — 20×10×8 мм.

Для определения соответствия возможностей установки поставленной задаче на ней были проведены сравнительные испытания материалов с заранее известными из литературных источников характеристиками: сталь Л25, алюминий АД, медь М0, полиуретан. Исследование зависимости потери массы образцов от времени и интенсивности воздействия потока жидкой среды показало, что данная установка с достаточной достоверностью позволяет оценивать кавитационно-эрозионную стойкость различных материалов.

Установка использована при выполнении работ по проекту Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, а также при создании защитных покрытий деталей центробежных насосов, применяемых в процессе транспортировки нефти и при добыче воды из глубинных скважин (заказчики соответственно — ОАО «Гомельтранснефть Дружба» и Научно-технический центр им. Короля Абдулазиза, Саудовская Аравия).

ВЛИЯНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

А.И. Коршунов¹, Е.А. Коршунов¹, А.Я. Григорьев²

¹Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Гомель, Беларусь

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

Объектом исследования являются плазменные покрытия, сформированные из многокомпонентного сплава системы Ni–Cr–B–Si. Покрытия наносили на установке плазменного напыления УПУ-3Д при соблюдении оптимальных технологических режимов. Лазерная обработка покрытий производилась с применением импульсного твердотельного лазера «Квант-16». Структура и фазовый состав покрытия изучались с помощью методов оптической и электронной микроскопии, металлографического и рентгеноструктурного анализов. Послойный химический анализ элементов покрытия проводился на цифровом растровом микроскопе «Stereoscan-120» с рентгеновским микроанализатором. Триботехнические характеристики покрытий изучались на машине торцевого трения при скольжении образцов пальчикового типа в режиме граничного трения. Микротвердость исследуемых покрытий измерялась на микротвердомере ПМТ-3.

Рентгеноструктурный анализ покрытий, обработанных лазерным излучением с высокой плотностью энергии и скоростях охлаждения в диапазоне $10^{-3} \div 10^{-4}$ К/с показал существенное изменение характеристик дифракционной картины: интенсивности, радиальной ширины отражений и их количества. Наблюдается диффузионное перераспределение элементов бора, кремния и углерода в зоне контакта покрытий и основы. Происходит межмолекулярное взаимодействие элементов покрытия и основы на локальных микроучастках активных центров, возникающих в местах дефектов кристаллической решетки.

Электронно-микроскопические исследования модифицированных плазменных покрытий показали, что изменяется не только объем карбидной фазы, но и структура границ раздела карбидная фаза-матрица. Это связано с тем, что лазерная обработка при высокой плотности излучения интенсифицирует диффузионную подвижность атомов и изменяет химический состав границы покрытия и основы.

Выявлена зависимость триботехнических характеристик от вида и величины энергетического воздействия при объемном оплавлении пламенем горелки и термообработке лазерным излучением. Установлено, что в диапазоне PV -фактора $0,65 \div 4,5$ МПа·м/с коэффициент трения и износ для всех обработанных лазерным излучением покрытий существенно уменьшался, а давление при котором начинается интенсивное разрушение поверхности увеличивается до 7,5 МПа. Установлено, что повышение износостойкости в $1,6 \div 2$ раза происходит не только вследствие закрепления дислокаций точечными дефектами и их комплексами, но и выделившимися вторичными карбидами и боридами хрома типа Cr_2C_3 , Cr_3C_4 , CrB , CrB_2 ультрамикроскопической структуры, равномерно распределенными в никелевой матрице покрытия.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

А.И. Коршунов¹, Е.А. Коршунов¹, В.А. Смуругов²

¹Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Гомель, Беларусь

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

Одним из эффективных путей повышения износостойкости деталей машин является нанесение методом плазменного распыления порошковых покрытий из сплавов Ni–Cr–B–Si.

В работе изучена возможность восстановления деталей машин и повышения износостойкости узлов трения путем плазменного напыления хромоникелевых покрытий на стальные поверхности и их модификаций твердосмазочными пленками (MoS_2 , графит), пластичными металлами и легкоплавкой эвтектикой.

Анализ результатов фрикционных испытаний покрытий системы Ni–Cr–B–Si в условиях сухого трения показал, что во всем диапазоне исследуемых нагрузок 0,1—10 МПа и скоростей скольжения 0,1—2 м/с интенсивность изнашивания покрытия в 2—3 раза меньше, чем закаленной стали 45 ($H_m = 4800$ МПа), и составляет $1,8\text{—}2,5 \cdot 10^{-9}$. Для пар трения с исходным покрытием характерны более длительные периоды приработки, стабилизации температуры и достижения равновесной шероховатости поверхностей трения, чем для модифицированных покрытий. Фрикционное взаимодействие трибосопряжений без модифицирующих пленок характеризуется большим коэффициентом трения, который в начальный период испытаний составляет 0,2. Для пар трения с покрытиями, модифицированными Ga–In, суммарный износ за период приработки оказался в 1,5—2 раза меньше, чем у пар трения с немодифицированными покрытиями. Максимальная нагрузочная способность наблюдалась для пар трения с пленками из эвтектики Ga–In и составила 5 МПа. Более высокие триботехнические характеристики покрытий, модифицированных Ga–In, обусловлены тем, что они позволяют сосредоточить деформации в тонком слое пластифицированной основы металла и обеспечить положительный градиент механических свойств на поверхности. Установлено, что характер и интенсивность абразивного изнашивания покрытий системы Ni–Cr–B–Si определяется количеством и распределением твердых боридов хрома и карбидоборидных соединений по глубине упрочненной зоны.

МЕХАНОХИМИЧЕСКИЙ СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ БИОПОЛИМЕРА И СЛОИСТОГО СИЛИКАТА

Н.Е. Кочкина, В.А. Падохин

Институт химии растворов РАН, Иваново, Россия

Крахмал — природный полисахарид, характеризующийся низкой стоимостью, биоразлагаемостью, технологичностью. Поэтому крахмал и его производные в настоящее время рассматриваются как полимерная основа в композиционных пластиках различного назначения. Для придания композитам на базе крахмала гидрофобности, высокой прочности и термостойкости обычно используют прием смешения биополимера с синтетическими ВМС. Однако это снижает экологическую безопасность целевого продукта и удорожает его.

Более перспективным путем получения высококачественных крахмальных биоразлагаемых пластмасс является добавление к биополимеру небольшого количества слоистого силиката — монтмориллонита (ММТ), эксфолиированного до монослоев толщиной ~ 1 нм.

Существует целый ряд работ, направленных на создание высокоэффективных способов получения нанокompозитов на основе крахмала и ММТ. Основной недостаток предлагаемых технологий заключается в значительных затратах времени и энергии на диспергирование ММТ и его смешение с биополимерной матрицей.

В настоящей работе процесс получения наноматериалов на основе нативного или катионного крахмала и ММТ интенсифицирован с помощью роторно-импульсного устройства комбинированного принципа действия (РПУ). РПУ является высокоэффективным диспергатором и теплогенератором, что обуславливает целесообразность его использования в качестве энергосберегающего реактора для получения нанокompозитов.

Показано, что кратковременная предварительная активация суспензии ММТ в РПУ позволяет снизить средний арифметический диаметр частиц минерала с 5.58 до 0.68 мкм.

Одновременно возрастает емкость катионного обмена силиката с 99 до 115 мг-экв/100гр ММТ, что, по-видимому, обусловлено увеличением числа дефектов на поверхности частиц минерала после обработки в РПУ.

Методом РФА установлено, что при скорости сдвига $45 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$ и общем времени обработки исходных реагентов в течение 1 мин 50 сек в РПУ формируются нанобиокомпози́ты на базе крахмала с интеркалированной, на основе катионного крахмала — с эксфолиированной структурой ММТ.

Пленки, сформованные из нанобиокомпози́тов, полученных в РПУ, являются более прочными и гидрофобными в сравнении с ненаполненными образцами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 09-08-01172 и № 09-08-97587-р_центр_а).

ПОЛИМЕРНЫЙ ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТ ДЛЯ ФИЛЬТРОВ ТОНКОЙ ОЧИСТКИ МОЛОКА

А.Г. Кравцов¹, С.В. Зотов¹, К.В. Овчинников¹, Н.Е. Савицкий², М.В. Барановский³

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²ООО «Полимер», Гомель, Беларусь

³РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству», Жодино, Беларусь

Фильтрация цельного молока в процессе доения — важнейшее средство обеспечения его качества. До сих пор нельзя считать решенной задачу по обязательному достижению цельным молоком 1-ой группы чистоты после операции фильтрации.

Предложен новый отечественный фильтр тонкой очистки молока, содержащий полимерный фильтроэлемент с адаптированными характеристиками волокнисто-пористой структуры. Фильтроэлемент получен методом аэродинамического формования волокон из расплава полипропилена и отличается тем, что предполагает постепенное, по мере формования, изменение всей совокупности параметров технологического процесса пневмоэкструзии — частоты вращения шнека экструдера в диапазоне 30—10 мин⁻¹, температуры распыляющего воздуха в диапазоне 60—140 °С, давления распыляющего воздуха в диапазоне 10—40 кПа. Установлено, что такая оптимизация технологического процесса позволяет получить градиент структурных характеристик фильтроэлемента, в котором по ходу протекания очищаемой жидкости диаметр волокон уменьшается от 100 до 10 мкм, а плотность их упаковки увеличивается от 0,1 до 0,5. Методом оптической микроскопии установлено, что в фильтроэлементе имеются области с некоторым (в диапазоне 0,1—0,5) преобладающим значением плотности упаковки, которые при фильтрации жидкостей выполняют функцию по захвату частиц загрязнений определенных размеров. Градиент плотности упаковки волокон в указанных пределах позволяет реализовывать в объеме одного фильтроэлемента последовательную очистку молока от крупных (при плотности упаковки волокон 0,1—0,2), средних (при плотности упаковки волокон 0,2—0,3), мелких (при плотности упаковки волокон 0,3—0,4) механических загрязнений, а также очистку от мезофильных анаэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (при плотности упаковки волокон 0,4—0,5).

В ходе испытаний фильтров с новым фильтроэлементом, проведенных на молочно-товарном комплексе с применением доильных установок типа «Елочка», установлено, что новый фильтроэлемент обеспечивает получение молока I группы по чистоте согласно СТБ 15.98-2006. Химический состав молока и величина его плотности изменений не претерпели. Картриджи нового фильтра очистки молока использовались многократно (4—6 раз) после промывки в горячей воде при температуре $65 \pm 5 \text{ °C}$.

ЭЛЕКТРЕТНЫЙ ЭФФЕКТ В ВОЛОКНАХ ИЗ КОМПАТИБИЛИЗИРОВАННЫХ СМЕСЕЙ ПОЛИМЕРОВ

А.Г. Кравцов, К.В. Овчинников, С.В. Зотов

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

Исследования в области компатибилизированных смесей полимеров представляют научный и практический интерес, поскольку на их базе могут быть развиты представления о путях совмещения компонентов, не обладающих взаимной растворимостью, а также научно обоснована технология материалов, имеющих коммерческую ценность. Цель работы — изучение способности компатибилизированных смесей полимеров к волокнуобразованию при аэродинамическом формовании из расплава и исследование параметров электретного заряда в полученных волокнах.

Волокна формовали из расплавов полиамида ПА6, функционализированного полипропилена фПП, компатибилизированных смесей ПА6/фПП. Методом электретно-термического анализа (ГОСТ 25209–82) изучали электретное состояние в волокнах.

Установлены технологические режимы аэродинамического формования, при которых расплавы смесевых композитов могут быть переработаны в волокна. Наибольшей регулярностью волокнисто-пористой структуры (диаметр волокон в диапазоне 10—20 мкм) характеризуются материалы с содержанием фПП до 30 масс. %. Превышение содержания фПП ведет к осложнению волокнуобразования за счет различия в текучести компонентов смеси при температурах > 300 °С. Получение волокнистых материалов с регулярной структурой предположительно возможно путем адаптации технологии аэродинамического формования за счет: 1) применения повторной переработки волокнисто-пористой массы; 2) пластифицирования расплава смесевых композитов.

Установлено, что в волокнах из компатибилизированных смесей формируется электретный заряд. Сделано предположение, что наличие в их составе полярных функциональных групп обуславливает реализацию дипольно-ориентационного механизма поляризации. Выявлены основные группы характерных пиков термостимулированных токов интенсивностью $(1..4) \cdot 10^{-12}$ А и сделаны предварительные выводы об их соответствии процессам релаксации электретного заряда. Токи в температурном диапазоне 150—170 °С отвечают разориентации дипольных фрагментов, входящих в состав макромолекул фПП, вблизи 180 °С и выше 200 °С — относящихся к ПА6. На спектрах смесевых волокон наблюдается вырождение пиков индивидуальных полимеров на фоне значительной по интенсивности группы пиков в диапазоне 160—180 °С. Это свидетельствует о формировании электрически активных структур при компатибилизации. Интенсивность токов и величина остаточного заряда электрета снижаются в ряду: (1) — волокна из смесевых композитов, (2) — волокна из индивидуальных компонентов смесей, (3) пленочные образцы из гранул смесевых композитов, (4) — пленочные образцы из гранул индивидуальных компонентов. Это подтверждает связь зарегистрированных эффектов с дипольно-ориентационным механизмом поляризации, интенсификация которой происходит благодаря повышению содержания электрически активных структур вследствие термоокислительной деструкции при аэродинамическом формовании волокон.

Таким образом, из расплава компатибилизированных смесей полимеров возможно получение электретных волокон без применения внешней электризации. Заряд, не связанный с инъекцией носителей, является объемным, что дает основания предполагать его стабильность во времени.

ОЦЕНКА ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ АСФАЛЬТОВЯЖУЩЕГО ПРИ АСИММЕТРИЧНОМ ЦИКЛЕ НАГРУЖЕНИЯ

С.Е. Кравченко¹, Е.М. Петроковец², В.Ф. Хиженок³

¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

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

³Гомельский государственный политехнический университет им. П.О. Сухого, Гомель, Беларусь

Асфальтобетонные дорожные покрытия испытывают комплексное воздействие транспортной нагрузки, осадки подстилающих слоев, температуры, влажности и других факторов, роль которых лишь частично отражена в существующих нормативных требованиях к асфальтобетону и его составляющим. Одной из причин погрешности оценки долговечности дорожных покрытий следует считать условность методов лабораторных испытаний указанных материалов, не учитывающих особенности его напряженно-деформируемого состояния (НДС).

Целью работы является получение уточненной расчетной оценки долговечности дорожного покрытия на основе анализа усталостной прочности асфальтовяжущего.

Учитывались факторы, роль которых при усталостном разрушении материалов изучена недостаточно. К ним относятся: — нелинейность деформирования асфальтовяжущего; — цикличность и асимметрия нагрузки в реальных условиях эксплуатации.

На основе разработанного нами метода оценки деградационных изменений асфальтобетона при циклическом сжатии, с привлечением результатов проведенных испытаний при знакопеременном нагружении, а также с учетом экспериментально полученной зависимости модуля упругости материала от напряжения, выполнен численный анализ усталостной прочности асфальтовяжущего методом конечных элементов на базе программных продуктов ANSYS и SolidWorks (Cosmos/Works). Это позволило определить зоны возникновения усталостных повреждений и оценить в указанных зонах число циклов до разрушения материала.

РОЛЬ ТРИБОЛОГИИ В РАЗВИТИИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ТРАНСМИССИЙ АВТОМОБИЛЕЙ

Л.Г. Красневский

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь

За последние десятилетия в конструкциях, производстве и применении трансмиссий произошли поистине революционные изменения. Наряду с многократным повышением ресурса, надежности, общего технического уровня традиционных ступенчатых коробок передач, на уровень мирового массового производства вышли автоматические гидромеханические трансмиссии (ГМТ), созданы и также доведены до серийного и массового производства бесступенчатые механические трансмиссии различных типов. ГМТ являются крупнейшим в мировом автомобилестроении потребителем фрикционных материалов. Ежегодно выпускается 10—15 миллионов ГМТ, и каждая из них имеет в среднем 5—6 многодисковых фрикционов. На ряде примеров современных конструкций и других автоматических трансмиссий показано, что в их развитии первостепенная роль принадлежит трибологии, обеспечившей создание ключевых фрикционных и антифрикционных узлов ГМТ — многодисковых фрикционов, сцеплений, подшипников качения и скольжения. С одной стороны, именно многодисковый фрикцион обеспечил возможность автоматизации трансмиссии, что сделало общедоступным безопасное управление автомобилем. С другой стороны, фрикцион как наиболее нагруженный и изнашиваемый узел лимитирует срок

службы и надежность ГМТ, а при неуправляемом включении создает наибольшие в эксплуатации динамические нагрузки на всю силовую установку.

Рассмотрены научно-технические задачи, решение которых обеспечило успешное преодоление этих противоречивых проблем. В их числе материалы и характеристики фрикционных пар, смазка и охлаждение фрикционов в замкнутом и разомкнутом состоянии, выбор и техническая реализация законов согласованного управления процессами буксования при замыкании и размыкании с минимизацией динамических нагрузок. Эффективным средством обеспечения работоспособности таких фрикционных устройств являются электронные системы автоматического управления, которые все шире применяются на мобильной технике и становятся ответственными за их жизнеобеспечение. Показано, что в конструкциях современных машин многодисковые фрикционы совместно с электронно — гидравлическими системами жизнеобеспечения становятся мехатронными объектами. Рассмотрены некоторые трибологические проблемы, возникающие в новых механических бесступенчатых передачах.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ НИТОК

С.Ю. Краснер, Б.С. Сункуев

Витебский государственный технологический университет, Витебск, Беларусь

Рассмотрен процесс резания ниток методом ножниц. Особенностью процесса является то, что разрезаемая нитка с некоторым натяжением охватывает лезвие подвижного ножа. Рассмотрена элементарная сила dN , действующая на площадку, ограниченную сечениями, отстающую на углы $d\psi$.

$$dN = \sigma \cdot r d\psi \cdot S,$$

где σ — напряжение на площадке, S — ширина площадки, r — радиус закругления лезвий ножа, $r d\psi$ — длина площадки.

Теория основана на гипотезе, что нитка деформируется как упруго-пластическое однородное тело. На основе зависимости силы нагружения, действующей на нож, от деформации нитки, полученной на созданной экспериментальной установке, разработана теоретическая модель резания швейных ниток в процессе их обрезки, позволившая получить алгоритм вычисления сил, влияющих на подвижный нож, методом численного интегрирования. Под действием силы, перпендикулярной направлению перемещения подвижного ножа, лезвия ножей смещаются, в результате в заключительной стадии резания лезвия не полностью разрезают нитку. Для предотвращения этого явления, необходимо создавать натяг между ножами.

Применение модели позволяет разработать оптимальную конструкцию ножей, обеспечивающих полное разрезание нитки.

ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ НИТОК

С.Ю. Краснер, Б.С. Сункуев

Витебский государственный технологический университет, Витебск, Беларусь

Целью исследований являлось определение влияния технологических параметров механизма на вероятность полной обрезки швейной нитки, определяемой как

$$y = m/N,$$

где m — число опытов, в которых происходит полная обрезка нитки, N — общее число опытов.

Во время эксперимента производилось измерение силы прижатия ножей. Для поиска оптимальных значений наиболее значимых параметров технологического процесса обрезки ниток, обеспечивающих наилучшие показатели качества, использовались математические методы планирования и анализа эксперимента. Для этого проведен полнофакторный эксперимент на три фактора. В качестве входных факторов были выбраны: x_1 — сила прижатия ножей друг к другу (0,4...0,8 Н), x_2 — скорость смыкания ножей (0,02...0,03 м/с), x_3 — сила натяжения швейной нитки (0,0...0,7 Н). В качестве выходного параметра — y — вероятность полной обрезки нитки. В результате получены уравнения регрессии и проведена оптимизация параметров процесса автоматической обрезки ниток с помощью метода математического планирования многофакторного эксперимента на работанной экспериментальной установке, что позволило определить: рекомендуемые диапазоны силы прижатия ножей; скорость смыкания ножей; силу натяжения нитки в механизме автоматической обрезки.

Результаты исследования рекомендованы к применению при проектировании механизма обрезки.

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕРМОУПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ИНДЕНТИРОВАНИЯ

А.П. Крень, В.А. Рудницкий

Институт прикладной физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Известно, что деформация резин и эластомеров включает две составляющие: энергетическую и силовую, измерение которых связано с обработкой достаточно большого объема экспериментальных данных. В этой связи в работе рассматриваются способы их расчета на основании параметров индентирования, что позволяет значительно уменьшить трудоемкость их определения. Принято считать, что механическая работа fdx , совершаемая в молекулярной системе, может привести либо к увеличению внутренней энергии dU либо к уменьшению энтропии dS : $fdx = dU - TdS$. Применительно к изотермическим условиям испытаний ($T = \text{const}$) данное выражение преобразуется к виду:

$$f = \left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)_T - T \left(\frac{\partial S}{\partial x} \right)_T, \quad (1)$$

из которого следует возможность определения значения энергетической составляющей $f_{\text{энерг}}$ опытным путем, для чего необходимо иметь зависимость общей силы f от температуры T при постоянной длине x . В работе показано, что соотношение между $f_{\text{энерг}}$ и $f_{\text{энтр}}$ во многом зависит от времени механического воздействия и величины деформации. Эффект повышения жесткости при индентировании с увеличением температуры начинает проявляться при деформациях более 50 %. В работе изложен алгоритм проведения эксперимента для получения численных значений $f_{\text{энерг}}$ и $f_{\text{энтр}}$ при вдавливании индентора. Соответствующий расчет выявил, что доля энергетической составляющей для исследованных резин на основе натуральных и синтетических каучуков при температуре 20 °С находится в пределах 0,15—0,32. Показано, что определение вклада $f_{\text{энерг}}$ важно при проектировании материалов, поскольку энтропийная часть уравнения (1) задает форму кривой растяжения при больших деформациях, а при малых деформациях ее будет задавать энергетическая часть. При проектировании, зная планируемые деформации изделия, путем изменения рецептуры следует оказывать влияние на наиболее значимую составляющую усилия.

ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ СОПОЛИМЕРОВ ЭТИЛЕНА И ВИНИЛАЦЕТАТА В ПРОЦЕССЕ РЕАКЦИОННОЙ ЭКСТРУЗИИ

Ю.М. Кривогуз

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

Основной целью работы является изучение особенностей свободнорадикальной прививки *транс*-этилен-1,2-дикарбоновая кислота (ТЭДК) к макромолекулам сополимера этилена и винилацетата (СЭВА) в процессе реакционной экструзии, установление важнейших параметров структуры и свойств полученных продуктов.

Объектами исследования служили СЭВА, отличающиеся содержанием винилацетатных групп и вязкостью расплава (производство ОАО «Нефтехимсэвилен», г. Казань). Использовали также ТЭДК квалификации «ч» и пероксидный инициатор 1,3-бис-(трет-бутилпероксиизопротил) бензол. Процесс прививки осуществляли в двухшнековом экструдере TSSK 35/40, шнеки которого снабжены специальными смесительными элементами ($D = 35$ мм; $L/D = 40$; количество зон нагрева — 10).

Установлено, что повышение содержания винилацетатных групп в структуре макромолекул СЭВА и рост вязкости сополимера способствуют более интенсивному протеканию реакции прививки. При концентрации инициатора до 0,1 мас.% наряду с прививкой ТЭДК протекают реакции деструкции макромолекул СЭВА. При концентрации в реакционной смеси инициатора 0,3 мас.% преобладают реакции сшивания.

Влияние функционализации СЭВА на его плавление и кристаллизацию имеет сложный характер и зависит от состава реакционной смеси. Температура плавления независимо от состава реакционной смеси и марки СЭВА при функционализации снижается, а зависимость температуры кристаллизации от состава реакционной системы имеет экстремальный характер.

Независимо от марки СЭВА с увеличением концентрации инициатора происходит увеличение значений верхнего предела текучести и прочности при растяжении, но при этом снижается деформационная способность функционализированных продуктов.

Показано, что изменение коэффициента разбухания расплава и его прочность определяются конкурирующим влиянием процессов деструкции и сшивания макромолекул сополимера, являющихся побочными при функционализации.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ и НАН Азербайджана (гранты №Т10АЗ-005 и №Т10АЗ-005)

ВЛИЯНИЕ ТВЕРДЫХ СМАЗОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СОВМЕСТИМОСТЬ ТРУЩИХСЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Н.К. Криони, Л.Ш. Шустер

Уфимский государственный технический университет, Уфа, Россия

Совместимость трущихся поверхностей оценивали как отношение прочности τ_{mn} адгезионных связей на срез, соответствующей насыщенному пластическому контакту трущихся тел, к предельным p_m нормальным напряжениям.

При определённых режимах эксплуатации подвижных сопряжений, например, при повышенных и высоких температурах исключается использование жидких и пластичных смазочных материалов. В этих условиях широко применяют твёрдые смазочные материалы, которые обычно наносят на рабочие поверхности деталей в виде покрытий.

Для определения τ_{mn} использовали описанный выше экспериментальный метод. При этом шаровой индентор (из инструментального сплава ВК6М), закреплённый в специальном диске, сжимали двумя плоскими образцами с нанесёнными на их рабочие поверхно-

сти твердые смазочные покрытия (ТСП) и вращали относительно собственной оси. При этом полагали, что усилия, необходимые для вращения индентора, обусловлены в основном средними касательными напряжениями τ_{mn} , возникающими на границе раздела ТСП — твёрдое тело. Образцы (подложки для ТСП) были изготовлены из разных материалов: конструкционная сталь 45, нержавеющая сталь аустенитного класса 1Х18Н10Т, жаропрочные сплавы на никелевой основе ХН55ВМКЮ и ХН60ВТ, высоколегированная сталь. Исследовали высокотемпературные ТСП: СТС-4, ВНИИНП-229, ВНИИНП-504А и ЭОНИТ-3. Толщина ТСП составляла 5...25 мкм. Как показали исследования, толщина ТСП не оказывает существенного влияния на величину τ_{mn} .

Сравнение значений τ_{mn} , полученных с применением и без применения ТСП, указывает на существенное (почти в 10 раз) снижение фрикционных сил при использовании ТСП. В результате этого значительно улучшается совместимость трущихся поверхностей. Кроме того, исследования показали, что применение таких ТСП, как ВНИИНП-504А и ЭОНИТ-3, позволяет повысить рабочую температуру трения до 600°C. Но при этом следует выбрать материал подложки таким, чтобы до температуры θ_2 в нём не происходили структурно-фазовые превращения, снижающие нагрузочную способность контактирующих деталей.

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ И ВЫБОРА ПРИМЕНЯЕМЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

О.В. Кропотин¹, Ю.К. Машков²

¹Омский государственный технический университет, Россия

²Сибирская автомобильно-дорожная академия, Россия

Совершенствование конструкций герметизирующих устройств (ГУ) имеет целью обеспечение требуемых надежности и ресурса ГУ, при этом, как правило, оптимизируются значения следующих параметров:

- 1) уровень контактного давления на уплотняемой поверхности;
- 2) эпюра распределения контактного давления и градиента контактного давления (при возвратно-поступательном движении) по уплотняемой поверхности;
- 3) параметры напряженно-деформированного состояния (НДС) материалов, применяемых в ГУ;
- 4) уровень перетечек рабочей жидкости по уплотняемой поверхности.

Оптимизация выбора полимерных композиционных материалов (ПКМ), применяемых в ГУ, обусловлена необходимостью выполнения противоречивых требований, предъявляемых к ним: непроницаемость и стойкость к воздействию разделяемых сред, малая склонность к адгезии и схватыванию, стойкость к воздействию высокого градиента температур, достаточная теплостойкость, высокая износостойкость, низкий и стабильный во времени коэффициент трения, оптимальное сочетание твердости и эластичности.

Задачу оптимизации конструкции ГУ и выбора ПКМ позволяют решить методы математического моделирования, адекватные расчетные методы и оптимизационные процедуры.

В качестве объектов исследования в данной работе выбраны несколько ГУ, применяемых в многоцелевых гусеничных и колесных машинах. В качестве расчетного метода выбран метод конечных элементов, реализуемый в программном комплексе ANSYS. С целью оптимизации распределения контактного давления по уплотняемой поверхности и НДС элементов ГУ, провели оптимизацию конструктивных параметров уплотняющего

элемента ГУ и применяемых материалов. Требования к значениям эксплуатационных характеристик применяемых ПКМ были выдвинуты по результатам моделирования НДС.

Применение разработанных конечно-элементных моделей ГУ позволило усовершенствовать конструкции и параметры их работы, определить группы рекомендуемых к применению материалов, и, таким образом, обеспечить требуемые надежность и ресурс ГУ.

ГЕЛЕОБРАЗОВАНИЕ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫХ ПОЛИАКРИЛАМИДОВ

Л.П. Круль¹, Е.В. Гринюк¹, Л.Б. Якимцова¹, Е.К. Фомина²,
Т.Г. Данилович², Л.Ю. Бражникова², А.П. Поликарпов³

¹Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

²Учреждение БГУ «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», Минск, Беларусь

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

Водные растворы функционализированных полиакриламидов, макромолекулы которых содержат карбоксилатные и сульфонатные группы, широко используются в различных областях промышленности, сельского хозяйства и медицины вследствие способности переходить в гелеобразное состояние при переходе от линейной конфигурации цепей к сетчатой. На эффективность гелеобразования могут влиять химический состав и молекулярно-массовые характеристики полиакриламидов, а также способ и условия формирования полимерной сетки.

Целью работы было определение роли добавок соединений d-элементов, вводимых в водные растворы функционализированных полиакриламидов, в формировании полимерных гелей.

Исходными полимерами были продукты гомополимеризации акриламида (АА), акрилата натрия (АН), 2-акриламид-2-метилпропансульфоната натрия (АМПСН) и сополимеры АА с АН и АА с АМПСН, синтезированные в лабораторных условиях, а также промышленно выпускаемые образцы карбоксилированных и сульфонируемых полиакриламидов. В качестве соединений d-элементов использовали сульфаты меди, цинка, марганца, кобальта, триацетат хрома, хелатный комплекс медь — N,N,N',N'-этилендиаминтетраацетат. Формирование гелей изучали, используя классификатор консистентности гелеобразующих композиций, применяемых в нефтедобыче, а также методы вискозиметрии.

Показано, что добавки соединений d-элементов интенсифицируют процессы гелеобразования в водных растворах функционализированных полиакриламидов. Изучена зависимость эффекта от характеристик полимера и условий формирования трехмерной полимерной сетки. Полученные результаты представляют интерес при разработке полимерных адгезионно активных композиций сельскохозяйственного назначения, содержащих добавки микроэлементов, а также полимеров для нефтедобычи.

**ТЕРМОСТАБИЛИЗИРОВАННЫЕ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ
ПОЛИЭТИЛЕНА С ДОБАВКАМИ ПОЛИДИСУЛЬФИДОВ
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РАДИАЦИОННО-МОДИФИЦИРОВАННЫХ
ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Л.П. Круль¹, В.П. Прокопович², Г.В. Бутовская², И.А. Климовцова², Е.А. Семененко²,
Ю.И. Матусевич², О.А. Веревка¹, Д.Л. Лисовский¹, Л.И. Сальников³

¹Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

²Учреждение БГУ «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», Минск, Беларусь

³Объединенный институт и энергетических и ядерных исследований – Сосны НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Одним из компонентов полимерных композиций, предназначенных для получения термо- и радиационностойких электроизоляционных материалов, являются термостабилизаторы. Обычно в качестве термостабилизирующих добавок используют органические соединения, способные ингибировать цепные процессы термоокислительной деструкции макромолекул. Однако такие соединения часто подавляют и процесс радиационного сшивания полимера, который обеспечивает получение изоляционных материалов с повышенной теплостойкостью.

Ранее было показано, что эффективными термостабилизирующими добавками для радиационно-сшитого полиэтилена являются продукты взаимодействия однохлористой серы с ароматическими аминами и фенолами.

Целью работы было определение влияния полисульфидов 3,4,5-триоксибензойной кислоты и бензол-1,4-диола на процессы радиационного сшивания полиэтилена (ПЭ) и термоокислительной деструкции радиационно-сшитого полиэтилена (РПЭ).

Концентрацию стабилизирующих добавок в композициях на основе ПЭ высокого давления варьировали от 0,05 до 0,5 мас.%. Радиационное сшивание пленок толщиной 200 мкм проводили γ -лучами ⁶⁰Со при комнатной температуре в воздушной среде (мощность дозы 2 Гр/с, поглощенная доза от 67 до 705 кГр). Об эффективности радиационного сшивания ПЭ судили по величине гель-фракции в кипящем п-ксилоле. Термоокислительную деструкцию РПЭ изучали методом совмещенного термического анализа (термоанализатор NETZSCH STA 449 в режиме ДСК/ТГ).

Установлено, что введение стабилизирующих добавок в ПЭ подавляет термоокисление полимера и обеспечивает формирование трехмерной структуры в пленках даже при облучении на воздухе, а также приводит к повышению температуры начала термоокислительной деструкции в РПЭ.

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕКСТИЛЬНЫЕ ИЗДЕЛИЯ СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ
СВОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ МЕТОДОМ
КРЕЙЗИНГА ПОЛИЭФИРНЫХ ВОЛОКОН**

А.Л. Крылов¹, Т.Н. Кудрявцева², В.А. Грищенкова², Л.С. Пинчук³, В.А. Гольдаде³

¹ОАО «Центральная компания Межгосударственной промышленно-финансовой группы «Формаш» (ОАО «ЦК МПФГ «Формаш»), Москва, Россия

²ОАО «Центральный научно-исследовательский институт комплексной автоматизации легкой промышленности» (ОАО «ЦНИИЛКА»), Москва, Россия

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

Одним из наиболее простых способов придания текстильным изделиям защитных свойств является использование в их составе полиэфирных волокон нового поколения, модифицированных целевыми добавками путем крейзинга, инициированного в процессе вытяжки волокон.

Задачей настоящего проекта является разработка технологии производства наномодифицированных по методу крейзинга полиэфирных волокон, а также технологии переработки их в инновационные текстильные изделия с защитными свойствами. Работа выполнена в рамках научно-технической программы Союзного государства «Современные технологии и оборудование для производства новых полимерных и композиционных материалов, химических волокон и нитей на 2008—2011 годы», шифр «Композит 10».

В рамках проекта разработаны технологии и выработаны экспериментальные партии модифицированных полиэфирных волокон со следующими специальными свойствами:

- *волокна пониженной горючести*: кислородный индекс 28,2 % по ГОСТ 21793–76;
- *волокна бактерицидные*: зона задержки роста бактерий до 4 мм (бактериостатический эффект) и до 40 мм (бактерицидный эффект);
- *волокна одорированные*: наличие запаха лаванды на воздухе в течение более 24 часов;
- *волокна репеллентные*: коэффициент отпугивающего действия (КОД) больше 70%;
- *антистатические волокна*: удельное электрическое сопротивление (по ГОСТ 22227–88) на 3—4 порядка ниже, чем у стандартных волокон.

С использованием модифицированных полиэфирных волокон разработаны технологии производства и изготовлены образцы инновационных текстильных материалов с защитными свойствами: пряжа, ткани, трикотажные полотна, нетканые материалы. Микробиологические исследования бактерицидных свойств текстильных материалов в Институте хирургии им. А.В. Вишневского показали, что все текстильные материалы с волокнами, содержащими антимикробное вещество триклозан, обладают высокой антисептической активностью. Зона задержки роста тестовых микроорганизмов *St. epidermidis* составила 8—30 мм. Образцы волокон, содержащие наночастицы серебра и меди, создают бактериостатический эффект, который не нарушает бактериальный баланс кожи, но купирует размножение болезнетворных бактерий. Полиэфирные волокна, содержащие нановключения серебра и меди, позволяют снизить уровень напряженности электростатического поля на поверхности текстильных материалов в 10 и более раз.

Текстильные материалы, в пряже которых сочетаются полиэфирные волокна, содержащие антипирен Firestop PFRA, и волокна, содержащие триклозан, имеют умеренный уровень огнезащиты (кислородный индекс КИ 27,0).

Нетканые материалы для медицинских масок краткосрочного использования на основе одорированных полиэфирных волокон с запахом лаванды сохраняют запах на воздухе более 24 ч.

По МУ 3.5.2.1759-03 проведена сравнительная оценка репеллентности текстильных материалов, в которые включены полиэфирные волокна, модифицированные перметрином. Показано, что в отношении крысиных блох *Xenopsylla cheopis* они характеризуются КОД 74,1—93,3%. На комаров материалы оказывают дезориентирующее действие, укусы не наблюдаются.

Заключение. Разработанные технологии подготовлены к промышленному внедрению. Поставлена задача создать в 2012 г. в России и Беларуси малотоннажное производство модифицированных волокон в объеме 3—4 тыс. тонн в год на действующих предприятиях по производству полиэфирных волокон. Срок окупаемости проекта 1,5 года.

ГАЗОНАПОЛНЕННЫЕ ПОЛИУРЕТАНОВЫЕ КОМПОЗИТЫ

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

НИИПП им. А.Н. Севченко БГУ, Минск, Беларусь

В настоящее время в мировой практике наиболее широкое распространение нашли пенополиуретаны, обладающие самыми лучшими теплоизоляционными и эксплуатацион-

ными характеристиками, широким температурным диапазоном эксплуатации, высокой физико-механической прочностью. Пенополиуретаны устойчивы к растворителям, пластификаторам, минеральным маслам, различным видам топлива, разбавленным растворам кислот и щелочей, алифатическим и ароматическим углеводородам, агрессивной промышленной атмосфере, не подвержены разложению и гниению, нетоксичны, имеют высокую адгезию практически ко всем материалам и не вызывают коррозию.

Такие свойства пенополиуретана обусловлены особенностями строения макромолекул и организацией газоструктурных элементов. Матрица пенополиуретана представляет собой сетчатый полимер пространственного строения с развитой системой физических и химических связей, а газоструктурные элементы материала представляют собой элементарный объем газовой и твердой фаз, который повторяется с определенной периодичностью и высокой степенью упорядоченности во всем пеноматериале, что делает преобладающим в нем содержание закрытых пор.

Авторами научно обосновано и экспериментально подтверждено, что создание новых физико-химических и технологических принципов может быть достигнуто при использовании не расплавов полимеров, а растворов мономеров и олигомеров или их смесей, способных превращаться в полимеры при атмосферном давлении и комнатных температурах.

Решение указанной проблемы оказалось возможным при применении в реагирующих системах полифункциональных соединений, обладающих высокой реакционной способностью, что позволяет в процессе реакции поликонденсации переводить жидкую вспененную композицию в вязкотекучее и затем отвержденное состояние с образованием полимеров пространственного строения при сохранении в объеме определенной концентрации газоструктурных элементов.

Принципы мономерно-олигомерной технологии, основанные на превращении реакционноспособных соединений в газонаполненные путем прямого перехода жидкости в конденсированное состояние, невозможно осуществить без эффективного смесительно-дозировочного и формообразующего оборудования.

В работе представлен ряд автоматизированных установок, которые используются для изготовления изделий из жестких и эластичных пенополиуретанов, в том числе теплоизоляторов, сорбентов нефтепродуктов, уплотнителей, автотракторных фильтров и т.д.

АНАЛИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПЭНД В УСЛОВИЯХ РЕЦИКЛИНГА

С.Г. Кудян, С.Л. Гавриленко

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

Вторичная переработка полимерных материалов сопровождается процессами разупрочнения, что делает актуальной оценку степени деградации материала, оптимизацию составов и прогнозирование механических характеристик получаемых изделий.

В докладе изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований деформационно-прочностных свойств полиэтилена низкого давления (ПЭНД) при рециклинге, включая квазистатические испытания образцов материала до и после рециклинга со скоростью деформирования, соответствующей реальному режиму эксплуатации изделий, выбор механической модели, определение параметров модели и установление степени деградации вторичного материала. Проводилась также динамическая контактная диагностика стандартных образцов и трубы из вторичного ПЭНД, получаемой методом экструзии.

Для описания напряженно-деформированного состояния образцов изучаемых полимерных материалов предложена упруговязкопластическая модель деформирования в условиях сжатия со скоростной чувствительностью и соответствующая методика, позволяющая количественно оценить степень деградации материала при рециклинге. Получен-

ные результаты испытаний и моделирования позволили установить закономерности снижения статической и усталостной прочности ПЭНД в зависимости от кратности переработки.

Таким образом, проведенный деформационно-прочностной анализ является основой для оценки эффективности рециклинга полимерных материалов и выработки рекомендаций по выбору составов материалов и режимов их переработки.

ПРИМЕНЕНИЕ 0-D МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ГЕМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Ю.Г. Кузьминский¹, М.В. Борисенко²

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

Значительные адаптационные и компенсаторные возможности органов и систем организма, включая сердечно-сосудистую систему, приводят к тому, что четко выявляемой патологии предшествует накопление скрытых отклонений от нормы в т. н. донологический период пограничного состояния между здоровьем и болезнью. Имеется ряд гемодинамических параметров — предвестников нозологического состояния и группа инструментальных средств для их определения, что в совокупности позволяет прогнозировать патологии сердечно-сосудистой системы. В этой связи весьма актуальна разработка программно-аппаратных средств быстрой, экономичной и неинвазивной диагностики, основанных на математическом моделировании биомеханических процессов в сердце и сосудах.

Целью настоящего исследования является получение расчетной оценки параметров гемодинамики работников транспортной отрасли, силовых структур, спортсменов и подобных профессий, подверженных значительным физическим и психоэмоциональным нагрузкам.

Выполненное исследование относится к 0-D моделированию гемодинамики, идея которого основана на классических работах по гидродинамике кровообращения. Необходимость определения множества выходных параметров модели по ограниченному числу входных параметров приводит к использованию теории линейного программирования и минимизации невязок; учету высокоскоростных изменений параметров, включая физическую нагрузку, кислотность, вязкость, уровень стресса, скорость пульсовой волны, деформация сосудов и систолический объем.

В связи с высокой вариабельностью гемодинамических параметров даже для одного человека, данные представляются в виде реляционных таблиц, где поля соответствуют различным признакам, а записи — либо разным объектам, либо последовательным во времени наблюдениям за одним и тем же объектом. В общем виде модель формулируется следующим образом:

$$M = \{X, U, S, Y, S'\},$$

где $\{X_i\}$ — вектор входной информации, включающий антропометрические данные (рост, вес, возраст, пол). Пространство векторов начальных условий моделирования $\{U_1\}$ — статистика значений нагрузки и соответствующих контролируемых параметров функционирования системы кровообращения (частота сердечных сокращений (ЧСС, мин^{-1}), систолическое артериальное давление (АДс, мм рт. ст.) и диастолическое артериальное давление (АДд, мм рт. ст.). $\{S_j\}$ — вектор рассматриваемых состояний системы. На выходе модели вектор $\{Y_k\}$ основных параметров состояния ССС человека для l реализации модели и $\{S'_m\}$ — множество оценок состояний.

При моделировании предполагается ламинарное течение крови, как вязкой жидкости, в эластичных сосудах. На основании баз нормативных показателей и архива результатов моделирования конкретного лица выполняется расчет текущих показателей гемодинамики, прогнозируются реакции и адаптационные возможности индивидуума при различных нагрузках. Далее планируется:

– применить принцип обучаемости (настройки) программы по индивидуальным параметрам гемодинамики обследуемого. С накоплением базы данных о состоянии артериальной системы индивидуума в различные временные промежутки и при различных нагрузках повышается достоверность определения типа гемодинамики и показателей индивидуальной физиологической нормы;

– повысить информативность диагностики за счет расширения списка тонометрических параметров, что позволит перейти от стандартных методов получения интервальных параметров (коэффициента интервальной тоничности, параметра variability сердечного цикла) к экспертным системам оценки вариации контролируемых параметров.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЕВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С КАРБИДОКРЕМНИЕВОЙ МАТРИЦЕЙ

В.И. Кулик^{1,2}, А.С. Нилов^{1,2}, Ю.В. Загашвили^{1,2},
А.А. Дмитриевич³, В.В. Савич³, Д.И. Сарака³

¹ООО «НПФ «Кераком», Санкт-Петербург, Россия

²БГТУ «ВОЕНМЕХ», Санкт-Петербург, Россия

³Институт порошковой металлургии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

В настоящее время вырос интерес промышленности к волокнистоармированным карбидокремневым керамикам. Композиты с SiC матрицей, армированные различными углеволокнистыми материалами, обладают наиболее высокими физико-механическими свойствами и перспективны для применения в гидротурбиностроении, энергетическом машиностроении и судостроении.

Цель данной работы исследование триботехнических свойств углеволокнистой карбидокремневой керамики.

Исследования триботехнических свойств композитов осуществляли на модифицированной машине трения СМТ-1 и инерционном стенде ИМ-58. Триботехнические характеристики (интенсивность изнашивания, коэффициент трения и его стабильность в зависимости от скорости и давления) определяли по схеме «плоскость–плоскость» на инерционном стенде ИМ-58 и по схеме «палец–плоскость» на машине трения СМТ-1.

Образцы карбидокремневой керамики получали методом силицирования карбонизированного углепластика. В качестве контртела исследовали фрикционные материалы на основе карбидокремневой керамики, полученные методами порошковой металлургии, которые применяются для работы в тормозных устройствах работающих без смазочного материала.

Определено, что в результате трения на поверхности композита формируется пленка трения из компонентов материала контртела, однородность и параметры которой во многом определяют эффективность фрикционной пары трения. Формирующий пленку материал в основном концентрируется на поверхности композита в области занимаемой карбидом кремния.

Результаты проведенных исследований показали перспективность применения углеволокнистых композитов с карбидокремневой матрицей в качестве фрикционных материалов для энергонагруженных тормозных систем и позволили обосновать выбор пар трения, обеспечивающих высокий и стабильный коэффициент трения при приемлемых значениях скорости износа элементов фрикционной пары.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СОВМЕЩЕННЫХ ФЕНОЛЬНО-КАУЧУКОВЫХ СВЯЗУЮЩИХ ФРИКЦИОННЫХ КОМПОЗИТОВ

А.В. Купреев

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

При разработке фрикционных композитов (ФК) первоочередной задачей является выбор матричного полимера, определяющего основные качественные показатели ФК. Основными критериями выбора компонент матрицы ФК являются термостойкость, термомеханическая прочность, а также технологические свойства. В фрикционном материаловедении для ФК в качестве матрицы широко применяются синтетические каучуки (СК) и феноло-формальдегидные смолы (ФФС). Материалы с каучуковым связующим применимы для легко и средне нагруженных фрикционных узлов, что связано с интенсификацией процессов изнашивания при повышенных температурах эксплуатации (более 300 °С). Композиты с ФФС сохраняют работоспособность при более высоких (до 550 °С) температурах, однако имеют более низкий коэффициент трения и склонны к образованию сетки микротрещин при многократном текмоциклировании.

В работе проведены исследования по разработке совмещенных фенольно-каучуковых связующих с использованием фенолоформальдегидной смолы резольного типа (ГОСТ 18694–80) и каучука синтетического бутадиен-нитрильного (БНКС) (ТУ 38.30313-2006) с различным содержанием акрилонитрильных звеньев, изучено влияние соотношения ФФС и БНКС в составе совмещенного связующего на фрикционно-износные и прочностные свойства ФК.

Установлено, что прочностные характеристики фрикционного композита зависят от содержания ФФС в составе, соотношения ФФС и БНКС, а также марки применяемого БНКС. Прочностные характеристики и твердость растут интенсивно до содержания смолы в смеси 30 мас. %. Отмечено, что применение БНКС с высоким (35—41%) содержанием акрилонитрильных звеньев позволяет повысить прочностные характеристики совмещенных смесей на 21—29% по сравнению со смесями с БНКС, имеющими малое количество (17—23%) акрилонитрильных звеньев. Установлено, что с увеличением содержания БНКС в смеси наблюдается рост коэффициента трения и линейной интенсивности изнашивания при снижении предела прочности при сжатии композитов. Отмечено, что применение серной вулканизации с различным соотношением массовых частей серы и БНКС (1:3÷8) обеспечивает возможность получения совмещенных смесей ФФС и БНКС с широким диапазоном прочностных и динамических механических характеристик. Установлено, что ФК с совмещенным фенольно-каучуковым связующим имеют более оптимальное сочетание фрикционно-износных и физико-механических свойств по сравнению с композитами, для которых в качестве матрицы использованы только ФФС или БНКС.

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ БИНАРНЫХ СМЕСЕЙ ДИЕНОВЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ

Н.И. Курбанова, Н.Я. Ищенко, А.М. Кулиев, Д.С. Гулиева

Институт полимерных материалов НАН Азербайджана, Сумгайыт, Азербайджан

Смеси полимеров являются реологически сложными объектами. Существующие теории вязкоупругости полимеров позволяют приближенно рассчитать модуль или вязкость двухфазных смесей взаимонерастворимых полимеров, если значения рассчитываемых параметров (модуль, вязкость) смешиваемых компонентов сильно различаются, как например, эластомера и конструкционного пластика. Для смесей двух эластомеров, модули которых различаются незначительно, расчет модуля нецелесообразен.

Обычно вязкоупругие свойства полимеров исследуются при статическом и динамическом нагружениях. Для двухфазных смесей полимеров исследование модуля упругости от состава смеси является способом оценки свойств смеси, но не ее структуры.

Целью представленной работы является исследование реологических свойств и структуры бинарных смесей диеновых эластомеров дивинилового (СКД) и изопренового (СКИ), модифицированных монохлоруксусной кислотой и наполненных техническим углеродом с применением динамического метода анализа. Динамический механический анализ осуществлялся на приборе Cabo Qualimeter Eplexor 500 N ($T = -120 \approx 120$ °С, частота 1 Гц) при скорости нагрева 1 град/мин.

Динамические исследования вулканизатов бинарных смесей эластомеров показали наличие двух температур стеклования (T_g): T_g (СКД) = -94 °С, T_g (СКИ) = -54 °С, соответствующих каждому отдельному полимеру. Это свидетельствует о двухфазной структуре смесей. На температурной зависимости модуля упругости исследуемых композиций проявляются две ступени, а на кривой механических потерь — два максимума.

Введение в состав композиции модификатора или наполнителя приводит к повышению значений модуля упругости и к снижению величины механических потерь. Максимальное улучшение модуля упругости от 11 до 100 МПа (при $T = -30$ °С) наблюдается при введении модифицирующего агента в состав наполненной техническим углеродом бинарной смеси эластомеров.

Показано, что введение модифицирующего агента в состав бинарной смеси эластомеров приводит к изменению структуры вулканизационных сеток, и тем самым, способствует направленному улучшению свойств вулканизатов на их основе путем создания комбинации прочных валентных и лабильных связей.

К ВОПРОСУ О ПРОТИВОЗАДИРНЫХ СВОЙСТВАХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОПОКРЫТИЙ-ОРИЕНТАНТОВ В РЕЖИМЕ ГРАНИЧНОЙ СМАЗКИ

В.А. Левченко¹, В.Н. Матвеев¹, И.А. Буяновский², З.В. Игнатъева², А.Н. Большаков²

¹Химический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²ИМАШ РАН, Москва, Россия

Известно, что ориентация молекул смазочной среды в граничном смазочном слое адсорбционного происхождения воспроизводит ориентацию поверхностного слоя твёрдого тела. Повышение уровня упорядоченности поверхностного слоя твёрдого тела повышает уровень упорядоченности молекул граничного слоя, а следовательно — трибологические характеристики смазываемого узла трения.

Авторами показано, что применение покрытий монокристаллического углерода (ПМУ) с высокоупорядоченной линейной структурой обеспечивает однородное гомеотропное расположение молекул в граничном слое и соответственно, прекрасные трибологические характеристики и высокую температурную стойкость. Дезориентация составляющих граничный слой молекул происходит лишь при превышении определённой критической температуры.

На основании анализа исследований разрушения граничных смазочных слоёв и заедания трибосопряжений, предлагается кинетическая модель заедания сопряжения стальных деталей с покрытиями-ориентантами (например, ПМУ) в режиме граничной смазки.

Адекватность предложенной модели заедания узлов трения с трущимися поверхностями деталей, покрытыми ПМУ, подтверждают результаты проведённых авторами сравнительных трибологических испытаний стальных деталей, покрытых ПМУ и аморфными покрытиями.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №№ 11-08-00519-а; 11-08-00958-а

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Л.А. Ленартович, Н.Р. Прокопчук, В.В. Яценко

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

Работа посвящена изучению взаимного влияния наполнителей и стабилизаторов на устойчивость полимерных композиционных материалов к длительному воздействию повышенной температуры. Объектами исследований являлись композиции на основе полиэтилена и полипропилена, содержащие наполнители: кальцит (Omyacarb), тальк (Finntalc), рубленое стекловолокно (ОАО «Полоцк-Стекловолокно»). В работе представлены результаты исследований по изучению влияния обработки поверхности наполнителей растворами стабилизирующих добавок на свойства полимерных композиционных материалов на основе ПЭ и ПП.

Установлено, что предварительная обработка наполнителей растворами стабилизаторов приводит к значительному увеличению устойчивости композиции к тепловому воздействию. Исследовано адсорбционное взаимодействие на границе раздела фаз наполнитель — раствор стабилизатора. Построены изотермы адсорбции исследуемых стабилизирующих добавок на различных наполнителях (тальк, кальцит, стекловолокно). Определены значения предельной адсорбции. Показано, что адсорбционная способность исследуемых стабилизирующих добавок различна и зависит от строения стабилизатора, наличия функциональных групп, структуры поверхности адсорбента и его химической природы. Установлена взаимосвязь между адсорбционной способностью стабилизирующих добавок и изменением деформационных свойств композиции в процессе теплового старения.

Обоснована необходимость выбора соотношения стабилизаторов и наполнителей в зависимости от природы используемого наполнителя и его концентрации. Показано, что среди исследованных стабилизаторов наибольшей адсорбирующей способностью обладает стабилизатор Irganox 1010. Предварительная обработка поверхности наполнителей раствором Irganox 1010 приводит к значительному повышению устойчивости композиций к длительному воздействию повышенных температур.

ДИСПЕРГИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ВОДНЫХ ЭМУЛЬСИЙ ОКСИЭТИЛИРОВАННЫХ РАПСОВОГО МАСЛА, ФОСФАТИДНОГО КОНЦЕНТРАТА И ВОДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЬ – ПАВ

П.Н. Логвиненко, С.В. Рябов, Б.Л. Литвин, Л.О. Карсим

Институт химии высокомолекулярных соединений НАН Украины, Киев, Украина

В настоящее время существует острая потребность в новых высокоэффективных ПАВ технологического назначения, обладающих практически 100%-ным биоразложением. Таким требованиям соответствуют, в основном, продукты, изготовленные из сырья растительного происхождения, например, продукт Рипокс-6 (Р-6), представляющий собой оксиэтилированное рапсовое масло (РМ), и оксиэтилированный фосфатидный концентрат (Кофокс).

Диспергирующее действие компонентов определяли по приросту съема металла ΔQ^K , т.е. по разнице между весовым съемом металла в растворе (Q^P) и воде (Q^B): $\Delta Q^K = Q^P - Q^B$. Согласно полученным результатам, концентрационные зависимости диспергирующих свойств водных эмульсий Рипокса и Кофокса заметно отличаются, особенно в области низких концентраций (0,2—0,3 мас.%), в которой диспергирующее действие $\Delta Q^{K\Phi}$ превышает значение ΔQ^{P-6} соответственно для Ст 45 в 4,2, для сплава Д16Т — в 1,9 и для бронзы БрАЖ 9 — в 1,6 раза. При повышении содержания ПАВ до 1,0 мас.% соотноше-

ние $\Delta Q^{КФ}/\Delta Q^{Р-6}$ немонотонно изменяется, однако во всей области содержания ПАВ диспергирующее действие водных эмульсий Кофокса заметно выше. Наблюдаемые для сплавов отличия в характере концентрационных зависимостей диспергирующих свойств водных эмульсий Рипокса и Кофокса объясняются протеканием встречных процессов пластификация \rightarrow охрупчивание, реализующихся в зоне микрорезания в соответствии с эффектом Ребиндера, глубина и скорость которых определяются в основном природой обрабатываемого сплава. Концентрационные зависимости диспергирующих свойств бинарных композиций ПЭГ-6000 – ПАВ и водных эмульсий Рипокса и Кофокса сильно отличаются, причем на них существенно влияет как природа обрабатываемого сплава и ПАВ, так и соотношение ингредиентов в композиции. Полученные результаты дают основания предполагать, что диспергирующие свойства водных бинарных композиций олигомер – ПАВ определяются протеканием в зоне микрорезания обрабатываемых сплавов двух процессов: образованием лабильных комплексов олигомер – ПАВ, ответственных за усиление, вплоть до синергизма, диспергирующего действия, и конкурирующей адсорбции компонентов, что проявляется в существенном ухудшении диспергирующих свойств композиции.

ОСЛАБЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ НЕСВЯЗАННОЙ ВОДОЙ ПРИ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДАХ

В.А. Ломач, А.В. Замараева, В.А. Банный

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

Вода является одним из эффективных природных поглотителей электромагнитного излучения СВЧ-диапазона. Это обусловило её применение в качестве радиопоглощающего компонента электромагнитных экранов. Цель работы — установить закономерности и определить физико-химические механизмы изменения коэффициента отражения радиоволн и ослабления энергии СВЧ-излучения водными экранами при замерзании-оттаивании воды.

В экспериментах использовали дистиллированную воду, водные растворы хлорида натрия и водопроводную воду. Ее заливали в ячейку (толщина слоя 30 мм), монтируемую в волновод измерителя коэффициента стоячей волны и ослабления панорамного Р2-61. Рефлектометрическим методом регистрировали коэффициент отражения R и ослабление S энергии СВЧ-излучения водным экраном ячейки в диапазоне частот 8,0—12,0 ГГц. Процедура измерения состояла в замораживании воды в ячейке, установке ячейки в волновод измерителя, и регистрации значений R и S в процессе таяния льда при комнатной температуре. Кинетические закономерности изменения температуры содержимого ячейки при таянии в ней льда разного состава регистрировали с помощью ртутного термометра. Изменения структуры поверхности отражения ледяного образца в процессе таяния наблюдали с помощью оптического микроскопа Olympus BX 41.

Анализ полученных кинетических зависимостей ослабления энергии СВЧ-излучения, прошедшего через ледяные образцы во время их таяния, приводит к следующим заключениям:

- во всех образцах величина S увеличивается в процессе таяния льда, т.е. водная фаза ожидаемо активнее поглощает энергию излучения, чем лед;
- за короткий промежуток времени (≤ 350 с), гораздо меньший, чем время полного таяния образца (~ 1500 с для дистиллированной воды), величина ослабления энергии всеми образцами достигает максимального, типичного для воды значения $S_{\max} \sim 28$ дБ;
- время достижения S_{\max} зависит от наличия в замороженной воде ионов, уменьшаясь в ряду: дистиллированная вода > водопроводная вода > 1 %-ный водный раствор NaCl.

Замораживание несвязанной воды обуславливает рост R и практически полную потерю электромагнитным экраном способности поглощать энергию СВЧ-излучения.

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МОТОРНО-ОСЕВЫХ ПОДШИПНИКОВ ЛОКОМОТИВОВ

Е.И. Лунева, М.А. Савенкова, Н.А. Мясникова

Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону, Россия.

От работоспособности моторно-осевых подшипников (МОП) зависит длительность эксплуатации, сроки и трудоёмкость ремонта локомотивов. Это особенно важно при непрерывно возрастающих объёмах грузоперевозок на железных дорогах России. Исследования по улучшению свойств, применяемых смазочных материалов (СМ), снижению износа несущего баббитового слоя обусловлены недолговечностью эксплуатации МОП.

Нами были проведены сравнительные трибологические испытания нескольких СМ на основе базового масла «Агринол» (ТУ У 23.2-30802090-027-2004) с различными присадками. Перечень СМ и значения массового износа баббитового вкладыша при использовании при трибосопряжении различных присадок к СМ приведён в таблице.

№ смазки	Присадка, масс %	Массовый износ, Δm , г
1	–	0,01358
2	NaPMoO ₆ , 3%	0,00970
3	NaPMoO ₆ , 5%	0,00430
4	LiPMoO ₆ , 1%	0,00730
5	LiPMoO ₆ , 3%	0,00423
6	A-22, 1%	0,00792
7	A-23, 1%	0,00806
8	Lubrizol, 1%	0,01026

Присадка А-22 — модифицированный бором диалкилдитиофосфат цинка, присадка А-23 — диалкилдитиофосфат цинка с содержанием основного вещества не менее 85 мас.%. Присадки LiPMoO₆ и NaPMoO₆ являются гетерополифосфатами, содержащими циклический анион.

Испытания тел пары трения Ст6СП – баббит Б-16 (ГОСТ 1320–74) выполнялись на машине трения СМТ-1 по схеме вал – частичный вкладыш под действием нагрузки 200 Н в течение 10800 с. Основной износ испытываемого сопряжения происходит в неустановившемся режиме трения (т.е. при пуске и остановке), поэтому испытания проводились в режиме непрерывного воспроизведения циклов, состоящих из пусков и остановок вращающегося образца. Время остановки испытываемого ролика составляло 10 секунд, а время вращения — 60 секунд.

При испытании МОП со смазочными композициями (СК), содержащими неорганические полимерные присадки LiPMoO₆ и NaPMoO₆, температура узла трения не повышалась, тогда как в опытах со всеми другими исследуемыми присадками поверхности трибосопряжений нагревались до 80—100 °С. Следовательно, только с неорганическими полимерными присадками замедляется термоокислительная деструкция масляной основы, снижается испаряемость, не происходит перерасхода смазки, реологические свойства СК длительно поддерживаются на нормативном уровне. Замедление окисления масляной основы позволяет уменьшить коэффициент трения, износ трущихся деталей и предохранить поверхности трибосопряжений от заедания.

Механизм действия антифрикционных присадок LiPMoO_6 и NaPMoO_6 объясняется способностью циклических анионов соединений в присутствии молекулярного кислорода, содержащегося в масле, обратимо превращаться в линейные полимерные структуры под действием больших нагрузок и скоростей. Сброс избыточной энергии на участках непосредственного контакта между микрошероховатостями трущихся тел обеспечивается энергоёмкими химическими связями анионов присадок, что приводит к постоянству температуры в процессе трения и снижению износа. Значительное (3-х кратное) снижение износа поверхности трения под влиянием LiPMoO_6 и NaPMoO_6 происходит за счёт обратимых переходов циклической анионной структуры присадок в линейную без нарушения стехиометрии, которое возможно лишь при значительной гибкости связей P–O–P, P–O–Mo. Выраженные диэлектрические свойства молекул LiPMoO_6 и NaPMoO_6 способствуют образованию устойчивой смазочной плёнки, длительно сохраняющейся в зоне трибоконтакта.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты № 10-08-00416, №10-08-90029

СТРУКТУРА ТРИБОПЛАЗМЫ СОПРЯЖЕНИЯ «ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕН–СТАЛЬ»

Д.Н. Любимов, К.Н. Долгополов, Н.К. Вершинин, А.Е. Иванов

ООО Инжиниринговый центр «ЛИК», Сургут, Россия

Влияние начальных этапов трения на формирование «итоговых» фрикционных параметров является одним из интереснейших и малоисследованных процессов современной трибологии. Механизм этого явления связан с образованием на начальной стадии фрикционного взаимодействия высокоактивных реакционноспособных частиц — основы будущей структуры «третьего тела», возникающих при переходе вещества поверхности трения в сверхвозбужденное состояние, названное трибоплазмой. Изучение трибоплазмы затрудняют два фактора: ее малое время жизни (порядка 10^{-7} с) и закрытость узла трения от аналитических средств.

Для исследования структурных составляющих трибоплазмы был сконструирован трибометр, реализующий трение по схеме «вал–вкладыш». Узел трения машины, помещенный в вакуумную камеру, оснащен плазменными ловушками, представляющими собой пазы на металлической поверхности контртела, снабженные регистрирующими электродами, вокруг которых создается магнитное поле с изменяющимся вектором напряженности. В экспериментах к металлическому контртелу может быть приложен электрический потенциал. Информация о плазменных состояниях отображается в виде частотных электромагнитных спектров.

Для сопряжения «ПТФЭ–сталь» состояния, соответствующие трибоплазме проявили себя в диапазонах $20 \div 100$ МГц и $1 \div 1,5$ ГГц. Полученная информация совпадает с данными, имеющимися в физике плазмы, и соотносится с электронно-ионным состоянием вещества. Дальнейшие исследования по воздействию на фрикционный контакт электрического поля показали, что в состав трибоплазмы наряду с электронами входят положительно и отрицательно заряженные ионы. Теоретически рассчитанная масса положительных ионов составляет 10^{14} электронов, что дает основание сделать предположение об их кластерно-радикальной природе. Была установлена взаимосвязь зарядовых состояний трибоплазмы с антифрикционными параметрами трибосопряжения, состоящая в уменьшении величины коэффициента трения при усилении вклада «кластерной» гармоник в общую картину распределения электромагнитных спектров и соответствующем уменьшении электронной составляющей трибоплазмы.

УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИМЕНЕНИЕМ ДОБАВОК ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ

Д.Н. Любимов¹, К.Н. Долгополов¹, А.Т. Козаков², А.В. Никольский²

¹ООО Инжиниринговый центр «ЛИК», Сургут, Россия

²НИИ физики Южного федерального университета, Ростов-на-Дону, Россия

Широкое распространение при создании полимерных и смазочных композиций получили минеральные наполнители. В ряде случаев введение минералов в масла и пластичные смазки позволяет существенно расширить пределы их эксплуатационной применимости по показателям несущей способности, противоизносных, противозадирных и герметизирующих свойств. Среди различных вариаций минералов в последнее время особое место занимает группа слоистого силиката серпентина, выделенная исследователями как наиболее перспективная для промышленного применения. Главным недостатком природных минералов, в особенности группы серпентина, является отсутствие месторождений, свободных от примесей, например, магнетита, гематита, хлорита, оливина и др., имеющих высокую твердость, прочность и оказывающих интенсивное абразивное воздействие на поверхности трения.

Цель работы состоит в изучении возможности замены серпентиновых минералов более доступным и «чистым» минеральным сырьем — глинистыми минералами группы каолина и путей его модифицирования. Проведены сравнительные триботехнические исследования добавок каолина (белая глина природная высокой степени очистки ТУ 9158-003-47308774-00) и серпентина (породы с преобладанием лизардита) в маслах, а также процессов химической модификации стальной поверхности трения методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Установлено, что для обеих групп минералов механизм плакирования поверхности подобен как по типу образуемой химической связи, осуществляемой между атомами железа поверхности и кислородом пленочной структуры, так и по строению формирующейся пленки, наблюдаемого в плоских пленочных структурах кислородосодержащих соединений кремния. По антифрикционным и противозадирным характеристикам каолин превосходит серпентин, что дополнительно подтверждается меньшими значениями объемной температуры смазочного материала и видимыми повреждениями поверхности трения, как в период приработки, так и на этапе установившегося изнашивания, но уступает ему по показателю противоизносных свойств. Ввиду того, что каолин является природным сорбентом с достаточно большой удельной емкостью, предлагается с целью повышения его противоизносных свойств производить обработку поверхность-активным веществом, обладающим смазочным действием, например, касторовым маслом, что существенно расширяет область применения каолина по всем трем перечисленным показателям качества материала.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ПОЛИПРОПИЛЕНА В ПРОИЗВОДСТВЕ ОРИЕНТИРОВАННОЙ ПОЛИПРОПИЛЕНОВОЙ НИТИ

А.Г. Любимов, А.Ф. Мануленко

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

Объем потребления полипропилена с каждым годом постоянно растет, являясь на сегодняшний день одним из самых востребованных полимеров. Одновременно с этим возрастает и количество технологических отходов. С целью решения вопросов их утилизации целесообразно использовать технологические отходы для выпуска основной продукции. Однако применение вторичного сырья приводит к снижению основных физико-механических показателей получаемых изделий. Поэтому поиск способов, обеспечивающих сохранение эксплуатационных свойств полимерного материала в процессе его многократной

переработки, является актуальной задачей. При составлении рецептур, содержащих в своем составе вторичный полимерный материал и модифицирующие добавки, необходимо сохранение не только основных физико-механических показателей на уровне первичного полимера, но и формирование более низкой себестоимости продукции по сравнению с аналогами на основе первичного полимера.

В процессе выполнения работы разработаны композиции с содержанием в них от 10 до 20 мас. % вторичного полипропилена. Композиции предназначены для производства плоской ориентированной полипропиленовой нити. Выбраны системы термостабилизаторов и определено их оптимальное содержание в композиции. Исследованы основные физико-механические характеристики полученных композиций, а также произведена оценка изменений физико-механических характеристик материала в процессе термостарения.

На основании полученных результатов лабораторных исследований выбраны композиции с высокими физико-механическими показателями и на их основе произведена промышленная апробация производства ориентированных полипропиленовых нитей. Полученные нити обладают удовлетворительными прочностными и деформационными свойствами. Применение разработанных композиций позволит снизить себестоимость продукции, а также будет способствовать значительному снижению количества технологических отходов и их рациональному использованию в промышленности.

К ВОПРОСУ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЗАКОНА ИЗНАШИВАНИЯ ВЯЗКОУПРУГИХ МАТЕРИАЛОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СТАНДАРТНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ИЗНОС

А.Н. Любичева, И.А. Солдатенков

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва, Россия

Испытания на износ по схеме палец (шарик) – диск широко используются для исследования триботехнических свойств материалов, причем их проведение стандартизировано. Измеренный в результате таких испытаний износ может использоваться для идентификации закона изнашивания, при этом важным аспектом такой задачи является корректное определение контактного давления. Неверные значения контактного давления могут существенно исказить получаемые результаты, особенно при нелинейном законе изнашивания.

Проводится математическое моделирование скользящего контакта вращающегося диска из испытуемого материала и сферического индентора. Нагрузка на индентор и скорость скольжения полагаются постоянными. Индентор считается неизнашиваемым. Деформационные свойства диска описываются моделью стандартного вязкоупругого основания. Рассматривается начальная стадия изнашивания диска, когда изменение его формы не оказывает заметного влияния на характер контактного взаимодействия. Записана система уравнений, позволяющая найти распределение контактного давления и форму области контакта индентора с диском. Уравнения учитывают остаточные деформации поверхности диска перед движущимся индентором, зависящие от скоростного режима и конструктивных особенностей испытательной установки.

Результаты расчетов свидетельствуют о возможности значительного влияния скорости скольжения индентора на величину скорости изнашивания диска, хотя в исходном законе изнашивания скорость скольжения не фигурирует. Подобное влияние обусловлено проявлением реологических свойств материала диска с ростом скорости скольжения, что приводит к существенному изменению распределения контактного давления. Данное обстоятельство важно учитывать при идентификации параметров закона изнашивания по результатам стандартных испытаний на износ по схеме шарик – диск.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (09-08-00901, 11-01-00650) и гранта Президента РФ (МК-815.2010.1).

ПОЛУЧЕНИЕ И ТЕСТИРОВАНИЕ *IN VITRO* РАФТООБРАЗУЮЩИХ И НЕЙТРАЛИЗУЮЩИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННОГО АНТАЦИДНОГО ПРЕПАРАТА

М.В. Макаренко¹, Д.И. Демид², П.Т. Петров², С.А. Усанов¹

¹Институт биоорганической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

²Институт фармакологии и биохимии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Антацидные лекарственные средства (АЛС) используются в лечении различных гастроэнтерологических заболеваний, прежде всего — кислотозависимых заболеваний. АЛС нейтрализуют соляную кислоту в полости желудка, уменьшают протеолитическую активность желудочного сока, как посредством адсорбции пепсина, так и за счет повышения рН среды и его инактивации. В последние годы возрастает частота проявлений и распространенность гастроэзофагеального рефлюкса (ГЭРБ) с доминирующими симптомами рефлюкса (изжога и регургитация), у взрослого населения развитых стран Европы и США она составляет до 40%, что указывает на актуальность и значимость проблемы терапии ГЭРБ.

Целью настоящей работы является получение и изучение свойств композиционного альгинатсодержащего антацидного препарата для лечения пептической язвы и ГЭРБ. Альгинаты являются натуральными полисахаридными полимерами. Фармакологическое действие обусловлено образованием в кислой среде гелевой антацидной взвеси, плавающей как плот (raft) на поверхности желудочного содержимого, которая при попадании в пищевод оказывает лечебный эффект, предохраняя слизистую оболочку пищевода от агрессивного желудочного содержимого. Прочность гелевому рафту придают поперечные связи альгината с катионами щелочных металлов. Исследовано влияние состава и соотношения антацидных (соли щелочных металлов) и антирефлюксных ингредиентов на кислотонейтрализующие и рафтообразующие свойства субстанции, длительность действия и другие свойства. Так, при одинаковом содержании альгината натрия в смеси (600 мг) различный состав антацидных ингредиентов приводил к рафтообразованию в пределах 6,1—8,2 г, объем плота составлял 10,5—11,8 см³. Эти данные указывают на значимость не только соотношения кислотонейтрализующих ингредиентов к альгинату, но и природы используемых антацидов и их соотношения. Тестирование *in vitro* усовершенствованным методом RIGO подтверждает эффективность композиционных образцов: быстрое действие — в пределах 3,4—5,1 (норма: рН₄ > 2,5) и кислотонейтрализующая активность в физиологически приемлемом диапазоне рН составляет 10,2—19,0 мэкв (норма: КНА ≥ 10 мэкв).

Полученные *in vitro* данные тестирования подтверждают соответствие требованиям современной фармакопеи к эффективности и безопасности АЛС (USP XXIII) и позволяют прогнозировать терапевтический эффект композиционного антацидного препарата *in vivo*.

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ КРИОГЕЛИ В КАЧЕСТВЕ МАТРИЦ ДЛЯ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

М.В. Макаренко, Д.В. Муха, А.А. Гилеп, С.А. Усанов

Институт биоорганической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Уникальная комбинация свойств гидрогелей (биосовместимость, проницаемость, трехмерная структура с ее равновесным влагопоглощением и способностью набухать в воде и биологических жидкостях) делают их перспективными материалами для медицины и биотехнологии. Целью данной работы было получение биоактивных композиционных криогелей на основе поливинилового спирта (ПВС) для медицинского применения и изучение их свойств.

Методом криотропного гелеобразования потенциально способных к желированию систем были получены макропористые гетерофазные криогели, в которых макромолекулы соединены в 3D сетку достаточно устойчивыми во времени нефлуктуационными связями. Изучение структуры проводили методом электронной микроскопии. Степень набухания q (%) и содержание гель-фракции σ (%) определяли гравиметрическим методом. Экспериментально показано влияние природы наполнителей (поливинилпирролидон (ПВП), полиэтиленгликоль (ПЭГ), маннит, полиэтиленглимин и др.) и условий криоструктурирования на структуру, морфологию, водостойкость, степень набухания и характер влагоотдачи композитов. Введение в эластомерную матрицу ПВС желатина, ПВП или ПЭГ увеличивает степень набухания композитов в 1,3—2,0 раза по сравнению с криогелем на основе 10% ПВС. Удерживаемый гидрофильной полимерной сеткой растворитель предотвращает коллапс системы и обеспечивает диффузию растворимых веществ.

С использованием полученных композиционных криогелей проведено модельное исследование сорбции и выделения биомолекул на примере сывороточного альбумина человека, фунгицидных медицинских препаратов — кетоконазола и бифоназола. Количественное определение концентрации десорбируемых с криогеля азол-содержащих химических соединений проводили спектрофотометрически с использованием в качестве аналитического реагента цитохрома P450 3A4 человека. Чувствительность метода составляет менее 0,5‰ кетоконазола, что в 170 раз меньше LD_{50} для крыс. Показано влияние состава криогеля и метода внесения биомолекул (в исходную гелевую матрицу — *in situ* или адсорбция из раствора — *ex situ*) на характер десорбции.

Результаты изучения адсорбции/десорбции биомолекул и минерализации криогелей в растворе искусственной плазмы крови человека подтверждают создание композитов с биофункциональной поверхностью, обладающей улучшенным интерфейсом с окружающими тканями и биологическими жидкостями и способных благодаря составу и гетеропо-ристой структуре выступать в качестве матриц с депо-эффектом для фармацевтически активных субстанций.

ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ СМЕСЕЙ ПОЛИПРОПИЛЕНА С ПОЛИЭТИЛЕНОМ И СОПОЛИМЕРАМИ ОЛЕФИНОВ

О.А. Макаренко¹, Р.З. Шахназарли², А.А. Азимзаде², А.М. Гулиев²

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²Институт полимерных материалов НАН Азербайджана, Сумгайыт, Азербайджан

Целью работы являлось исследование особенностей свободнорадикальной прививки полярных мономеров к смесям полипропилена с полиэтиленом и сополимерами олефинов, а также анализ структуры и свойств полученных продуктов.

Объектами исследования служили полипропилен (ПП), полиэтилен низкой плотности (ПЭНП), сополимеры этилена с высшими олефинами (СЭО). Свободнорадикальную прививку полярных мономеров к смесям ПП с ПЭНП и СЭО, инициируемую органическими пероксидами, осуществляли методом реакционной экструзии. Для этого использовали одношнековый экструзионный реактор, оснащенный динамическим смесителем, и двухшнековый экструдер TSSK 35/40 ($L/D = 40$). Содержание ПЭНП и СЭО в полимерных смесях варьировалась от 1 до 99 мас. %.

Установлено, что введение ПЭНП или СЭО в ПП приводит к повышению значений эффективности прививки полярного мономера. Для обоих типов смесей (ПП/ПЭНП и ПП/СЭО) характерно некоторое снижение вязкости (повышение показателя текучести расплава (ПТР) при прививке мономера по сравнению с исходными ПЭНП и СЭО. Пониженная вязкость расплава может быть одной из причин повышения выхода привитого продукта, исходя из кинетических соображений. Несколько уменьшенная по сравнению с

ПЭНП эффективность прививки мономера, характерная для СЭО, обуславливается, по-видимому, тем, что в случае применения СЭО большая часть свободных радикалов расходуется в реакциях межмолекулярного сшивания. Данное предположение подтверждается результатами реологических исследований.

Таким образом, смешение ПП с ПЭНП и СЭО, с практической точки зрения, представляется целесообразным в связи с возможностями повышения эффективности прививки полярных мономеров и направленного влияния на реологические свойства расплавов их смесей. Приведены результаты исследования структуры и физико-механических свойств функционализированных смесей ПП с ПЭНП и СЭО. Показана возможность применения подобных продуктов в качестве компатибилизаторов и модификаторов ударной вязкости при получении композиционных материалов технического назначения на основе конструкционных термопластов.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ и НАН Азербайджана (гранты №Т10А3-005 и №Т10АЗ-005).

ЭПОКСИДНАЯ ПОЛИМЕРНАЯ КОМПОЗИЦИЯ

Ф.М. Мамедалиева, Т.А. Асланов, Э.М. Кулиев

Институт полимерных материалов НАН Азербайджана, Сумгаит, Азербайджан

С целью повышения тепло- и термостойкости отвержденной эпоксидной смолы ЭД-20 использовали влияние модифицирующих добавок олиго-сульфимида.

Синтезированной электрохимическим методом олиго-сульфимид представляет собой аморфное вещество светло-коричневого цвета со средней молекулярной массой 2000, хорошо растворимый в диоксане, ацетоне а также апротонных растворителях.

Состав и структура данного олигомера установлены элементным анализом и с помощью ИК-спектроскопии. Наличие состав в олигомере сульфимидной группы позволяет использовать её в качестве отвердителя-модификатора для ЭД-20.

Процесс отверждения смолы изучали методом дифференциально-термического анализа, на дериватографе системы "Паулик-Паулик Эрдеи". Олиго-сульфимид хорошо совмещаются с эпоксидной смолой, Отверждение эпоксидной композиции протекает при высокой температуре. С целью снижения температуры отверждения в композицию, вводили промышленный ускоритель отверждения УП 606/2 [2,4,6-трис(диметиламинометил)фенол] в количестве 1 мас.ч. Установлено, что оптимальным составом эпоксидной композиции является: ЭД-20 — 100 мас.ч. + олиго-сульфимид — 20 мас.ч. + УП 606/2 — 1 мас.ч. При данном соотношении компонентов достигаются наивысшие тепло- и термостойкость, а также комплекс физико-механических свойств исследуемой композиции.

Как показали опыты, используемый ускоритель снижает температуру отверждения до ≈ 110 °С. Термическая стойкость разработанных эпоксидных композиций определялась энергией активации разложения. Для оценки термостойкости эпоксидных материалов были определены их термогравиметрические индексы (ТГИ).

Использованный олиго-сульфимид способствует повышению термических и физико-механических показателей эпоксидных композиций. Это связывается с тем, что введение олиго-сульфимида в состав эпоксидной композиции, приводит к образованию новой, более уплотненной сетчатой структуры.

Таким образом, синтезированный олиго-сульфимид может использоваться в качестве модификатора эпоксидных композиций, обладающих высокими термическими, теплофизическими и физико-механическими показателями. Разработанная эпоксидная композиция может применяться в качестве лакокрасочного покрытия.

СИНТЕЗ ОЛИГОДИГИДРОКСИФЕНИЛЕНОВ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИХ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ РЕЗИН

Б.А. Мамедов, Р.З. Шахназарли, Р.С. Рзаев, Х.Г. Назаралиев,
Н.Я. Ищенко, М.М. Мамедов, А.М. Гулиев

Институт полимерных материалов НАН Азербайджана, Сумгайыт, Азербайджан

Синтезированы олигомеры 1,3-бензолдиола (ОБД) и его бинарные соолигомеры с анилином, 2-метиланилином и *para*-фенилендиамином (СБДА). Полученные продукты использованы в качестве активной добавки при изготовлении электропроводящих резин. Молекулярно-массовые показатели синтезированных ОБД и СБДА по данным гель-проникающей хроматографии имеют значения: $\overline{M}_w = 700 \div 5600$ и $\overline{M}_n = 250 \div 1200$. Найдено, что ОБД и СБДА проявляют парамагнитные (концентрация ПМЦ = $3.1 \cdot 10^{17} \div 2.2 \cdot 10^{19}$ спин/см³) и полупроводниковые ($\sigma_0 = 10^{-8} \div 10^{-4}$ Ом⁻¹см⁻¹ при 298 К и $E = 1.24 \div 1.82$ эВ) свойства.

Резиновые смеси приготовлены по стандартной рецептуре на основе бутильного (БК), бутадиен-стирольного (СКС) и нитрильного (СКН) каучуков с применением олигомеров взамен сажи. Количество ОБД или СБДА варьировалось в пределах 5.0÷45.0 мас.ч. на 100 мас.ч. каучука. Установлено, что введение в состав резиновых смесей ОБД и СБДА взамен сажи приводит к увеличению значения σ_r , ϵ и к снижению модуля упругости резин. Так, для резин, изготовленных на основе СКН с использованием 20—25 мас.ч. ОБД, σ_r увеличивается до 24.1—26.3 МПа, ϵ достигает 420—480%, модуль упругости при растяжении на 300% снижается до 8.1—9.4 МПа. Наряду с этим, увеличивается теплостойкость и срок службы полученных резин, что видимо, связано со структурной особенностью полисопряженных олигомеров.

Показано, что совместное использование ОБД и СБДА с электропроводящей сажей позволяет получить резины с $\rho_v \sim 10^{-8} \div 10^{-6}$ Ом⁻¹см⁻¹. Причем, замена части сажи на ОБД и СБДА (от 10 до 30 мас.ч.), соответственно и концентрации ПМЦ, приводит к увеличению электропроводности резин. Усиливающее действие ОБД и СБДА в составе резиновых композиций, вероятно, обусловлено оптимальным сочетанием таких параметров, как малый размер частиц, низкая плотность и наличие функциональных групп в составе олигомерных добавок.

Установлена зависимость ρ_v от времени смешения (τ) компонентов вулканизата. Показано, что с повышением τ значения ρ_v уменьшаются. Эффект перкаляции достигается при содержании 23.5; 25.2 и 27.5 мас.ч. ОБД для резин, изготовленных из БК, СКС и СКН соответственно.

Работа выполнена при финансовой поддержке УНТЦ (проект № 5076).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОСТНЫХ СВОЙСТВ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Л.В. Маркова, В.М. Макаренко, А.П. Зозуля, М.С. Семенюк

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

Одним из важнейших показателей качества и работоспособности смазочного материала является вязкость. Правильный выбор масла и поддержание его свойств в процессе эксплуатации вызывает необходимость оперативного контроля вязкости.

Для оперативного контроля вязкости смазочных масел в ИММС НАН Беларуси разработан магнитоупругий вискозиметр.

Анализ данных капиллярного, магнитоупругого и твердотельного пьезоакустического вискозиметров для базовых синтетических и минеральных масел показал, что результаты измерений зависят от частоты, на которой выполняются измерения. Наиболее близкими к

значениям вязкости, измеренными капиллярным методом, являются результаты, полученные на разработанном вискозиметре, в диапазоне значений вязкости 17—500 сСт. Для вязкости выше 300 сСт твердотельный пьезоакустический датчик показывает завышенные данные, что может быть связано с высокой (5,3 МГц) рабочей частотой датчика, при которой слой масла на его чувствительной поверхности ведет себя как гель. Завышение показаний твердотельного акустического вискозиметра отмечено также и для искусственно состаренных образцов минерального масла.

Измерение вязкости масел с присадками из полиметилметакрилата показало, что с увеличением молекулярного веса присадки в синтетической базовой основе неньютоновское поведение масла начинает проявляться на более низких частотах измерения вязкости. При увеличении молекулярного веса присадки до $M_w=530537$ Да значения вязкости масла при частотах измерения 30 кГц и 5.3 МГц совпадают и близки к значениям вязкости базового масла без присадок.

Таким образом, для правильного подбора смазочного материала для конкретного узла трения с учетом прогнозирования его поведения при эксплуатации целесообразно проводить измерение вязкости при таких скоростях сдвига, которые близки к существующим в трибосопряжении. Актуальной является оценка вязкости неньютоновских моторных масел, эксплуатирующихся в широком диапазоне температур и скоростей сдвига. Для такого оперативного контроля перспективным является применение разработанного магнитоупругого и пьезоакустического вискозиметров.

МЕТОДЫ УСКОРЕННЫХ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОМПОЗИТОВ

С.М. Мартыненко, А.В. Купреев, В.Г. Кудрицкий

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

Одним из основных условий высокой эффективности эксплуатации машин и механизмов является надежность узлов трения. Ежегодные экономические потери от износа деталей машин и механизмов составляют до 2% общемирового валового продукта. В настоящее время, введение в эксплуатацию новых материалов триботехнического назначения невозможно без решения ряда задач, связанных с оценкой их работоспособности в составе узлов трения при эксплуатационных нагрузках. Существующие на сегодняшний день средства и методы испытаний материалов не нашли широкого применения на предприятиях и в производстве из-за высокой трудоемкости и длительности проведения испытаний, а также отсутствия методической базы для оценки триботехнических характеристик различных материалов. По этой причине, разработка методов ускоренных триботехнических испытаний для определения надежности и износостойкости полимерных материалов и композитов является актуальной прикладной задачей.

В настоящей работе проведен анализ существующих методов и методик проведения трибоиспытаний различных полимерных, композиционных материалов и покрытий. Установлены критерии выбора схемы и режима проведения испытаний в зависимости от функционального назначения материала. Отмечено, что для термопластичных полимерных материалов и композитов триботехнического назначения потеря функциональности происходит при достижении температуры размягчения образца и зависит, в основном, от нагрузки (P) и скорости скольжения (V). На основании трибоиспытаний полимерных композиций на основе полиамида 6 (ПА-6) с использованием метода определения предельных режимов трения по температуре размягчения и скорости интенсивности изнашивания (0,25 мкм/час) построена карта триботехнических свойств композиций устанавливающая предельные PV режимы их эксплуатации.

Разработана методика оценки фрикционной теплостойкости термореактивных полимерных материалов и композитов на их основе для легко (90—150 °С) и средне (150—300 °С) нагруженных пар трения, особенностью которой является пошаговое увеличение скорости и нагрузки в определенном диапазоне для конкретной пары трения, что позволяет оценить поведение материалов в условиях постепенно ужесточающегося режима работы, обуславливающего повышение температуры на фрикционном контакте. Данный методический подход, при проведении испытаний на фрикционную теплостойкость, позволяет более точно оценивать фрикционно-износные свойства материалов в зависимости от температуры.

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ СТРУКТУР ПРИ ТРЕНИИ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОЛИАМИДА

Е.А. Марченко, Ю.В. Коровкин, В.Н. Скворцов, Д.Г. Эфрос

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия

Стабильность работы трибосопряжений во многом зависит от стабильности структурного состояния поверхностных слоев, которое формируется в заданных условиях трения. Для полимерных материалов возможно проявление временной зависимости их структуры и свойств. Значительное ускорение формирования стабильной структуры может быть достигнуто испытаниями при больших контактных давлениях.

На одношариковом трибометре (шарик — сталь ШХ-15), по методике определения параметров фрикционной усталости, были проведены испытания образцов из модифицированного полиамида (с добавлением углеродного волокна и полученного с использованием специальной технологии). Для контактных давлений в интервале от 35 до 76 МПа (нагрузка на индентор 0,02—0,20 Н), в зависимости от длительности испытаний, выявлено периодическое изменение коэффициента трения, обусловленное периодическим изменением структурного состояния поверхностных слоев. Построены кривые, связывающие давление на контакте с числом циклов, необходимым для формирования стабильной структуры. Эта структура отличается по твердости от материала в исходном состоянии. Показано, что с увеличением давления на контакте происходит снижение коэффициента трения. После испытаний в течение одного часа (6000 оборотов) заметных следов износа не обнаружено. Полученные результаты могут быть использованы при отработке технологии получения полимерных материалов, включающей обработку давлением, которое может регулировать исходную структуру материала, способствуя снижению продолжительности периода приработки и величины коэффициента трения.

РАСЧЁТ РЕСУРСА ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОМЕТРИИ ТЕЛ ВСЛЕДСТВИЕ ИЗНАШИВАНИЯ

А.М. Мезрин

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Россия, Москва

Данная работа посвящена разработке метода расчёта износа пары трения вал-втулка, позволяющего определить ресурс (время работы) узла трения. Рассматривается задача о совместном износе упругого цилиндра и поверхности цилиндрического выреза в упругом пространстве (в плоской постановке). Сначала строится решение контактной задачи для тел согласованной формы с круговой границей. Для ее решения используется метод Мультиппа-Каландия. Решение контактной задачи позволяет рассчитать распределение давлений и область контакта тел. Далее используется уравнение износа, представляющее зависимость скорости износа от контактного давления и скорости скольжения поверхно-

стей. На основании рассчитанного распределения давлений и уравнения износа, параметры которого задаются из начальных данных, на каждом шаге по времени рассчитывается эпюра износа, новый профиль втулки и радиус изношенного вала. Характеристики измененной геометрии вала и втулки используются далее для решения контактной задачи и определения эволюции контактных давлений, радиуса вала и формы втулки. Для решения контактной задачи на каждом шаге рассчитывается эффективный радиус втулки. По полученному профилю втулки и вала вычисляется зазор на текущем шаге по времени. По достижении необходимого зазора этот цикл прерывается.

По разработанному алгоритму решения износоконтактной задачи составлена вычислительная программа на языке программирования Visual Fortran, позволившая рассчитать кинетику изменения контактных характеристик и ресурс работы подшипника скольжения при заданной величине допустимого зазора.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 09-08-00901-а, 10-08-90047 Bel-а)

ТРИГЛИЦЕРИДНЫЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ КОЛЛОИДЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭКОБЕЗОПАСНЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

И.С. Михаловский¹, В.А. Тарасевич², М.В. Самойлов¹

¹Белорусский государственный экономический университет, Минск, Беларусь

²Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Разработка научных принципов новых технологий получения материалов из биологических макромолекул представляет значительный интерес при создании промышленных продуктов нового поколения. Задачей данной работы является создание коллоидов из невысыхающих триглицеридов рицинолевой кислоты из растительного сырья с низкой скоростью деструкции дисперсной фазы, способных быть недорогой основой смазочных материалов.

Синтез коллоидов из триглицеридов осуществляли с использованием метода ультразвуковой обработки с помощью установки ИЛ100-6/1 «ИНЛАБ» (РФ).

Кинетику деструкции дисперсной фазы коллоидов исследовали по светорассеянию с помощью спектрального комплекса СМ2203 «Солар» (РБ), работающего в режиме спектрофотометра. В начальный момент времени на длине волны 580 нм (триглицериды не поглощают данное излучение) регистрировали изменение оптической плотности дисперсной среды. Не прекращая регистрацию, вводили коллоид. Затем вводили водный раствор катионного полиэлектролита полигексаметиленгуанидингидрохлорида (ПГМГ), являющегося эффективным дезинфектантом.

Ранее, в результате исследования структуры дисперсной фазы коллоидов из триглицеридов олеиновой кислоты методом атомно-силовой микроскопии показано, что триглицериды образуют матрицу глобулярных наноструктур. Показано, что снижение оптической плотности коллоида из триглицеридов рицинолевой кислоты может быть связано с изменением структурной организации липидной фазы. Константа скорости данного процесса имеет порядок 10^{-4} с^{-1} . Включение ПГМГ в состав триглицеридных структур приводит к существенному снижению скорости деструкции липидной фазы.

Можно заключить, что коллоид из триглицеридов рицинолевой кислоты является перспективной основой новых экобезопасных смазочных материалов.

АНИЗОТРОПИЯ ПРОЧНОСТИ И МИКРОПОЛЗУЧЕСТИ ТОНКИХ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК И ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН НА ИХ ОСНОВЕ

А.С. Михневич¹, В.М. Станкевич², П.Ю. Апель³, Н.В. Левкович³

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель

²Гомельский инженерный институт МЧС Республики Беларусь, Гомель, Беларусь

³Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

Для микро- и ультрафильтрации жидких сред все больше используют трековые мембраны (ТМ), изготавливаемые облучением тонких полимерных пленок пучками заряженных частиц. По сочетанию технологических, прочностных, химических, биологических и других характеристик в качестве основы ТМ применяют пленки из поликарбоната, полипропилена (ПП), полиэтилентерефталата (ПЭТФ) и поливинилиденфторида (ПВДФ). Свойства, в том числе деформационно-прочностные, пленок и ТМ на основе ПП и ПЭТФ достаточно полно исследованы. Выполнены исследования по моделированию одноосного растяжения ТМ на примере мембран, изготовленных из ПВДФ. При этом ориентационная анизотропия свойств исходных пленок для ТМ не учитывалась.

Цель настоящей работы — экспериментально исследовать прочность и микроползучесть пленок из ПП и ПЭТФ и ТМ на их основе с учетом анизотропии свойств пленок в направлениях двухосной ориентации при их изготовлении. Прочность при одноосном растяжении определяли методом гравитационного нагружения. Микроползучесть при растяжении фиксировали измерением фотодеформаций пленок при УФ-облучении.

В результате исследования ПП- и ПЭТФ-пленок и ТМ обнаружена значительная ориентационная анизотропия прочности и ползучести. Установлено, что усредненная по направлениям ориентации пленок прочность ПП- и ПЭТФ-мембран примерно одинакова, несмотря на значительные различия в прочности исходных пленок. Для повышения качества ТМ рекомендовано использовать пленки с меньшей степенью анизотропии физико-механических свойств. Предложен фотодеформационный метод диагностики анизотропии физико-механических свойств тонких полимерных пленок для ТМ.

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РАПСОВОГО МАСЛА НА ПРОТОВОИЗНОСНЫЕ СВОЙСТВА БАЗОВОГО МАСЛА

Р.Г. Мнацаканов, В.И. Лизанец, И.М. Козориз, О.В. Безверщенко

Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Формирования слоев СОП и их свойства в значительной мере определяются химическим составом смазочных материалов. Составной частью современных смазочных материалов на основе минеральных масел является углеводородные кислоты — парафинового и нафтенового ряда.

Целью проведенных исследований было исследование механизма влияния концентрации рапсового масла в базовой основе И-20А на формирование слоев СОП, а также установление закономерностей износа пар трения. Испытания проводились на установке СМЦ-2. В качестве смазочного материала использовались базовое минеральное масло И-20А и его смеси минерального масла И-20А с добавками рапсового масла в концентрации 0,1 и 2%.

Установлено, что с увеличением концентрации рапсового масла растет линейный износ контактных поверхностей — при 2% рапсового масла суммарный износ повысился на 87% в сравнении с данным параметром при смазке товарным маслом И-20А, а при добавлении 0,1% рапсового масла суммарный износ уменьшился на 16%. После наработки износ отстающей поверхности при 0,1 и 2% объемного содержания рапсового масла составил соответственно 0,561; 1,758 мкм, при этом микротвердость поверхностных слоев ме-

талла в случае 2 снизилась на 2235 МПа, а в случае 1 — увеличилась на 320,69 МПа. Для опережающего образца установлено обратную связь между сносом и микротвердостью поверхностных слоев металла. Однако, при смазке минеральным маслом И-20А с 0,1% рапсового масла линейный износ опережающей поверхности в два раза больше, чем отстающей поскольку укрепление отстающей поверхности произошло более интенсивно ($H_{200} = 9270$ МПа — отстающая, $H_{200} = 8408,2$ МПа — опережающая). Увеличение износа обусловлено повышенным стиранием менее упрочненного поверхностного слоя опережающего образца.

Увеличение времени разупрочнения поверхностных слоев контактирующих тел, свидетельствует о проявлении эффекта Ребиндера — адсорбционного пластифицирования поверхности трения активными компонентами рапсового масла.

О механизме действия присадок рапсового масла на слои СОП можно судить по тому, что низкомолекулярные углеводородные кислоты растворяют слои таких пленок.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОТВЕРДОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ МЕТАЛЛА НА КИНЕТИКУ ИЗНОСА КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Р.Г. Мнацаканов, О.А. Микосянчик, Ю.А. Турица, В.В. Волосовский

Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Современные машины, конструкции и устройства работают в условиях влияния разных динамических нагрузок той или другой интенсивности. Под действием динамических нагрузок существенно изменяются свойства контакта трения, скорость протекания реологических процессов, взаимное внедрение поверхностей, площадь контакта и другие характеристики, которые определяют силу трения и износостойкость узлов трения.

Целью данных исследований являлось установление закономерностей изменения микротвердости поверхностных слоев металла на кинетику износа контактных поверхностей (сталь 40Х). Для реализации отмеченных заданий экспериментальных исследований нами применялось товарное масло Honda Ultra DPSF и отработанное масло отмеченной партии изготовления, срок эксплуатации которой составил 30 тыс. км. Исследования проводились на установке СМЦ-2, в режиме пуск (4,5 с) — остановка (3 с). Циклы следовали один за другим, без перерыва, всего циклов в эксперименте $N = 1750$, что соответствует 4 часам непрерывной работы установки.

В проведенных исследованиях при оценке кинетики триботехнических свойств контакта при смазке стали 40Х товарным и эксплуатационным маслами Honda Ultra DPSF нами выявлены общие тенденции износа: во-первых, общий износ стали 40Х при использовании в качестве смазочного материала отработанного масла в 1,47 раз превышает износ контактных поверхностей при смазке их товарным маслом, во-вторых, линейный износ отстающего образца в 3 и 1,72 раза превышает износ опережающей поверхности при их смазке отработанным и товарным маслом соответственно; в-третьих, при обработке результатов износа поверхностей в средний период наработки, что соответствует 850 циклам, установлено, что при смазке стали товарным маслом износ опережающей и отстающей поверхностей идентичный ($\Delta 0,08$ мкм), в то же время при смазке образцов отработанным маслом износ отстающего образца в 2,06 раз превышает износ опережающей поверхности.

СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ МЕТОДИК ВЫБОРА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ ТРУБ

В.В. Можаровский, С.А. Марьин, Н.А. Марьина

Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины, Гомель, Беларусь

В последнее время в строительстве и при ремонте трубопроводных систем во всем мире в целях повышения надежности и долговечности изношенные стальные трубы, как правило, меняют на полимерные. Наиболее распространенными полимерными материалами, из которых изготавливаются трубы, являются термопласты и эластомеры, реактопласты и стеклопластики, а также композиты, армированными волокнами. Каждый из этих материалов имеет свои специфические свойства, знание которых необходимо для квалифицированного выбора того или иного материала для определенного трубопровода. Оптимальным является экономически оправданное решение: «подходящий материал в нужном месте».

Рассмотрено создание программного продукта, позволяющего подбирать оптимальные физико-механические характеристики труб из композиционных материалов и формировать справочный банк данных композиционных материалов труб, условий эксплуатации, расчетных и экспериментальных характеристик, а также построение автоматизированных методик поиска материалов.

Разработана модель построения схемы поиска данных (на основе программного продукта) и создания базы данных (БД) средствами Microsoft SQL 2007. Модель и алгоритм реализации включает инициализацию системы; задание исходных параметров; геометрические и эксплуатационные параметры: диаметр трубы (внутренний, наружный); рабочая среда эксплуатации и температурный режим; номинальное рабочее давление; коэффициент запаса прочности; отбор материалов из БД по среде эксплуатации и по температурному режиму; список подходящих материалов; расчет на прочность с учетом коэффициента запаса прочности; запись результатов расчета в БД Calculate; добавление подобранных материалов; перечень оптимальных физико-механических характеристик трубы. Реализация проводится на базе программного продукта Borland Delphi 8.x с использованием БД MS SQL 2007 и ранее полученных программных средств.

ВЯЗКОУПРУГИЕ СВОЙСТВА РЕЗИН ПРИ КВАЗИСТАТИЧЕСКОМ РАСТЯЖЕНИИ

В.В. Мозгалёв, Ж.С. Шашок, А.В. Касперович

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

Проведенные ранее многочисленные исследования резин на растяжение показали нелинейную зависимость упругих параметров от величины деформации.

Целью настоящей работы является установление возможных причин изменения статического модуля упругости резин в процессе нагружения и обоснование полученных результатов.

Для различных марок резин на аппаратуре Tensometr 2020 (Instron) при скоростях от 10 до 500 мм/мин при температуре 20 °С, получены диаграммы «напряжение–деформация». На основании проведенных квазистатических испытаний резин на растяжение в работе исследовано влияние скорости и величины деформации на вязкоупругие свойства эластомеров, в частности, модуль упругости. Как и предполагалось, полученные зависимости показали, что чем выше скорость деформации, тем более высокое значение имеет

напряжение при растяжении при условии постоянства температуры. Данная закономерность проявляется в большей или меньшей степени в зависимости от марки резины.

На основании проведенных экспериментов в работе проведен анализ и предложено обоснование влияния типа каучука, типа и количества наполнителей, пластификаторов и т.д. на вязкоупругие свойства резин при квазистатическом растяжении. Показано наличие достаточно сложного механизма изменения модуля упругости, включающего влияние как вязких свойств испытываемых резин, так и структурных изменений в резинах при деформировании. Более достоверное описание механизма изменения упругих свойств резин может быть сделано после проведения дальнейших экспериментальных исследований.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВОЙСТВ РЕЗИНОВЫХ КОМПАУНДОВ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ

А.В. Морозов, М.Н. Добычин

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН (ИПМех РАН), Москва, Россия

В докладе приводятся результаты экспериментального исследования трения скольжения резиновых компаундов с различными свойствами по шероховатой дорожной поверхности. Приведен анализ влияния объемной температуры, давления и скорости скольжения на коэффициент трения скольжения для сухих и влажных условий трения.

В эксперименте использовались три пары резиновых компаундов, материалы которых отличаются друг от друга следующими свойствами: первая пара материалов отличается высоким и низким значением температуры стеклования; компаунды второй пары различаются нелинейными свойствами деформации; третья пара материалов имеет различные значения жесткости. В качестве модели дорожной поверхности использовался образец, поверхность которого представляла набор камней с заданными размерами и шероховатостью на их поверхности.

Экспериментальное исследование выполнено на трибометре UMT-2 (CETR, USA) по схеме скольжения торцевых поверхностей кольца и диска. Условия испытаний варьировались в диапазонах: контактное давление от 0,1 до 0,4 МПа, скорость скольжения от 1 до 200 мм/с, объемная температура от -25 до 100 °С и от 5 до 85 °С для сухих и влажных условий трения, соответственно. В качестве смазки использовался раствор 20% мыла в 80% дистиллированной воды. Путь трения составлял 37 мм (четверть оборота). Использование, в процессе испытания, малого пути трения и небольшой скорости скольжения позволяет избежать влияния фрикционного разогрева образцов в контакте материалов. Экспериментальные результаты, полученные на разных скоростях скольжения и при разных температурах для фиксированных материалов фрикционного сопряжения, условий смазывания и контактных давлений представлены в виде обобщенных кривых, представляющих собой зависимость коэффициента трения от параметра VT_α , где T_α — температурный коэффициент сдвига, V — скорость скольжения. Обобщенные кривые, полученные для различных значений контактного давления, были объединены в единую зависимость коэффициента трения от контактного давления, температуры и скорости скольжения для фиксированных материалов фрикционного сопряжения и условий смазывания, которая называется «карта трения».

Для оценки влияния свойств резины на коэффициент трения скольжения построены обобщенные кривые для постоянного давления равного 0,4 МПа и объемной температуры равной 22 °С. Анализ результатов показывает, что значения температуры стеклования и жесткости резиновых компаундов существенно влияют на величину и положение максимума коэффициента трения скольжения. Эффект нелинейности свойств деформации не значителен.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 09-08-00901-а.

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ С ДОБАВКОЙ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

В.Е. Мурадян¹, Л.А. Тихомиров², Е.А. Соколов², Т.Ю. Костина²

¹Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка, Россия

²Филиал Института энергетических проблем химической физики РАН, Черноголовка, Россия

Для улучшения антифрикционных свойств эпоксидных композитов используют различные наполнители — графит, порошки SiO₂ и Al₂O₃ и др.

Цель настоящей работы — сравнительное исследование трибологических свойств эпоксидных композиций с добавкой различных углеродных наноматериалов (НМ).

Применялись следующие добавки в концентрации 0,3 мас.% к исходной смоле DER-330: терморасширенный графит (ТРГ); оксид графита, модифицированный октадециламином (ОГО); фуллерены (Ф); фуллереновая чернь (ФЧ); одностенные нанотрубки диаметром 1,4 нм (ОНТ-Д) и многостенные нанотрубки диаметром 15—25 нм (МНТ-Д) с поверхностными карбоксильными группами; многостенные нанотрубки с диаметрами 10—20 нм (МНТ-20), 20—40 нм (МНТ-40) и 100—200 нм (МНТ-200); малослойный графен (МГ). ОНТ-Д и МНТ-Д получены электродуговым методом, а МНТ-20, МНТ-40 и МНТ-200 получены каталитическим пиролизом углеводородов.

Измерения коэффициента трения (КТ) проводили на торцовой машине трения без смазывания. Использовался трехшариковый индентор с диаметром стальных шариков 8 мм. Давление на образец — 30 МПа, линейная скорость перемещения образца — 0,126 м/с. Микротвердость поверхности образцов измеряли по методу Шора на приборе 2033ТИР.

Для приготовления образцов в DER-330 добавляли НМ и обрабатывали ультразвуком для равномерного распределения наполнителя. Отверждение проводили поэтапной выдержкой при температурах 50, 100 и 120 °С по 2 часа. Образцы для измерений (по 4 шт каждого наименования) изготавливали в виде дисков диаметром 36 мм.

Измерения показали, что микротвердость исследованных образцов примерно одинакова и составляет 98—99 единиц. КТ для образцов составляет: DER-330 — 0,11; ТРГ — 0,13; ОГО — 0,14—0,15; Ф — 0,10—0,11; ФЧ — 0,11—0,12; ОНТ-Д — 0,11—0,14; МНТ-Д — 0,14; МНТ-20 — 0,12—0,14; МНТ-40 — 0,11—0,15; МНТ-200 — 0,13—0,16; МГ — 0,10. Через 15 мин трения КТ мало изменился только у DER-330 (0,11—0,14) и с добавками МГ — 0,11; ФЧ — 0,13—0,18, Ф — 0,18—0,26. У остальных образцов наблюдалась сильная нестабильность КТ и его рост выше 0,4. Существенное улучшение стабильности и снижение КТ достигается только у композитов с добавкой МГ. Это, по-видимому, объясняется лучшей смачиваемостью малослойных графенов по сравнению с другими углеродными НМ.

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОЛИБРОМСОДЕРЖАЩИХ НЕНАСЫЩЕННЫХ ПОЛИЭФИРОВ ТРЕХЛУЧЕВЫМИ ТРИГЛИЦИДИЛОВЫМИ ОЛИГОЭФИРАМИ

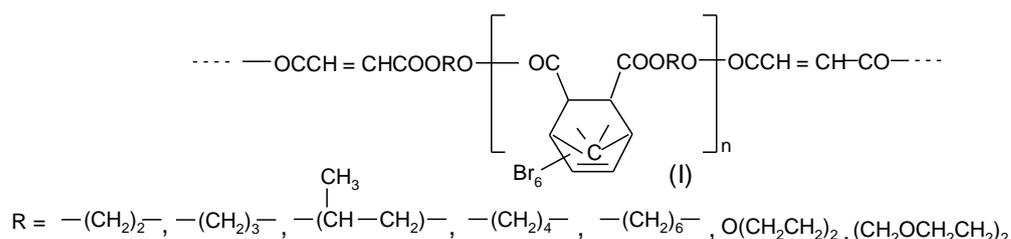
А.М. Мустафаев¹, Г.Х. Велиева², И.А. Гусейнов¹, С.С. Керимова¹

¹Институт Полимерных Материалов НАНА, Сумгаит, Азербайджан

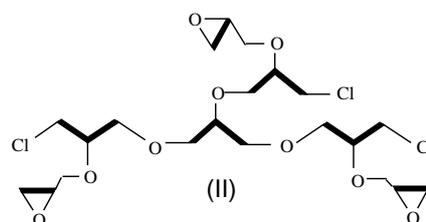
²Бакинский Государственный Университет, Баку, Азербайджан

Ненасыщенные полиэфирные смолы, благодаря присущему им комплексу ценных свойств, находят широкое применение в различных областях техники. Однако, адгезия и механическая прочность ненасыщенных полиэфиров, по сравнению с эпоксидными смо-

лами, в отвержденном состоянии более низкие. В связи с этим большой интерес представляет получение композиций, сочетающих в себе наиболее ценные свойства ненасыщенных полиэфирных и эпоксидных смол. Такими композициями являются смеси, состоящие из ненасыщенной полиэфирной смолы, эпоксидной смолы, малеинового ангидрида и стирола, которые в процессе отверждения химически связываются между собой в трехмерный сополимер. Для получения высокоэффективных огнестойких эпоксиполиэфирных композиций использовали полибромсодержащие ненасыщенные полиэфирные смолы, которые были нами синтезированы поликонденсацией ангидрида 1,4,5,6,7,7-гексабромбицикло[2.2.1]гепт-5-ен-2,3-дикарбоновой кислоты с полиметиленовыми гликолями или гликолями, содержащими этиленоксидные группы, и малеинового ангидрида (I)



и трехлучевые полиэфирные олигомеры с тремя концевыми эпоксидными циклами, полученные стадийной поликонденсацией 3-хлор-1,2-эпоксипропана с пропантриолом (II). Кроме того, использовали стирол, малеиновый ангидрид, а также инициатор и ускоритель. Показано, что полученные полимерные композиции являются трудногорючими, обладают высокими показателями физико-механических свойств. Одной из особенностей полученных эпоксиполиэфирных композиций является, то, что при горении они не образуют горящих капель, являющихся вторичными источниками воспламенения. Кроме того, при горении они обугливаются на поверхности, причем образующийся слой угля, по-видимому, действует как барьер, препятствующий переносу тепла от пламени и замедляющий выделение летучих газов при пиролизе.



ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНИЗИРОВАННЫХ СОПОЛИМЕРОВ ЭТИЛЕНА С ВИНИАЦЕТАТОМ

В.Д. Мышак, Е.Н. Сырык, В.П. Бойко, Е.В. Лебедев

Институт химии высокомолекулярных соединений НАН Украины, Киев, Украина

Возрастающие объемы потребления полимерных материалов способствуют образованию все большего числа полимерных отходов. Утилизация отходов путем сжигания и захоронения нерациональна и экологически неприемлема. Одним из путей решения этой проблемы является производство композиционных материалов на основе вторичного сырья. Цель работы — получение композиционных материалов на основе функционализированных сополимеров этилена с винилацетатом (ЭВА) и резиновой крошки (РК), исследование физико-механических характеристик созданных композиций.

В данной работе мы использовали сополимер этилена с винилацетатом марок СЭВА 11306, эватан 28150 и эватан 4055 с различным содержанием ацетатных групп. Функционализацию термопластов проводили реакцией аминолиза. Наличие $-\text{OH}$ групп определяли

с помощью ИК-спектроскопии, а количественно — методом ацетилирования по стандартной методике.

На основе функционализированных и не функционализированных сополимеров этилена с винилацетатом были созданы композиционные материалы, как наполнитель использовали резиновую крошку. Исследование физико-механических характеристик полимерных композитов показали, что наличие функциональных гидроксильных групп в сополимерах способствует улучшению их прочностных характеристик — разрывного напряжения при растяжении (σ_p) на 15% и относительного удлинения (ϵ) на 20%. Их рост может быть связан с образованием химических связей между гидроксильными группами полимера и функциональными группами, находящимися на поверхности резиновой крошки.

В дальнейшем функционализированные сополимеры этилена с винилацетатом будут использованы для создания компатибилизаторов и их применения при получении термоэластопластов.

ПРОФИЛЬНЫЕ ИЗДЕЛИЯ ИЗ СТЕКЛОАРМИРОВАННОГО ВТОРИЧНОГО ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

А.Л. Наркевич¹, В.В. Портной²

¹Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

²ООО «МонолитПласт», Минск, Беларусь

В связи с возрастающими объемами производства и применения полиэтилентерефталата (ПЭТФ) для изготовления тары, упаковки, других изделий возрастают и объемы отходов, требующих утилизации. С учетом высокой прочности и стойкости ПЭТФ к внешним воздействиям представляет интерес создание на основе вторичного ПЭТФ конструкционных материалов и изделий, в том числе армированных волокнами, для массового применения в строительстве, транспортных средствах, электроэнергетике, в сельскохозяйственном производстве, в коммунальном хозяйстве и в бытовых целях. Однако переработка вторичного ПЭТФ в конкурентоспособные изделия конструкционного назначения, в особенности армированные высокопрочными волокнами, сопряжена с определенными трудностями ввиду специфики технологических свойств этого полимера.

Цель работы — освоение промышленного производства конкурентоспособных стеклоармированных профильных изделий из вторичного ПЭТФ методом пултрузии.

Используя результаты исследований реологии и кинетики кристаллизации вторичного ПЭТФ, полученного из различных по происхождению промышленных и бытовых отходов, в том числе некондиционных и модифицированных различными функциональными добавками, отработаны технологические режимы пултрузионной пропитки расплавом ПЭТФ стекловолокна с линейной плотностью 2400 и 4800 текс и последующего формообразования в непрерывном («on-line») процессе профильных изделий. Показано, что отходы ПЭТФ, в том числе некондиционные, модифицированные соответствующим образом, могут быть использованы для получения методом пултрузии конкурентоспособных стеклоармированных профильных изделий различного назначения.

На экспериментальной установке в БГТУ и на промышленной установке в ООО «МонолитПласт» получены опытные партии профилей различного сечения — плоского, в том числе ленты, круглого и кольцевого с диаметром до 16 мм; рифленых в виде арматурных стержней, Г- и Ш-образные профили.

Исследования выполнены в рамках задания 1.29 ГППИ «Полимерные материалы и технологии». Проект освоения производства профильных изделий из стеклоармированного вторичного ПЭТФ, представленный ООО «МонолитПласт», признан победителем республиканского конкурса инновационных проектов 2010 г.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОРИСТЫХ ФТОРПОЛИМЕРОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ КЕТОПРОФЕНОМ И НАНОЧАСТИЦАМИ МЕТАЛЛОВ

Л.Н. Никитин¹, А.Ю. Васильков¹, В.А. Столяр¹, Ю.Е. Вопилов¹,
Ю.Н. Бубнов¹, Л.А. Калинин², С.К. Рахманов²

¹Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, Москва, Россия

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

Разработан метод получения композиционных материалов медицинского назначения на основе волокнисто-пористого политетрафторэтилена (ПТФЭ), модифицированного кетопрофеном в среде сверхкритического диоксида углерода (СК-СО₂) и наночастицами Au, Ag, Cu и Fe, синтезированными методом металлопарового синтеза (МПС). Модифицированием СК-СО₂ волокон ПТФЭ сформирована нанопористая поверхность полимера, в которую с помощью МПС были введены наночастицы Au, Ag, Cu и Fe. Для получения частиц металлов в качестве реагентов использованы органозоли Au, Ag и Cu с триэтиламинном и изопропанолом, а для Fe — термически лабильный бисареновый комплекс бис(толуол)железо. В зависимости от природы металла и органического реагента получены композиционные материалы с содержанием металла до 0.4 мас.% и размером частиц от 3 до 28 нм.

В полученные металлсодержащие фторполимеры в среде СК-СО₂ введен противовоспалительный и обезболивающий препарат кетопрофен, который был выбран в качестве модельного соединения при создании материалов для дозированной доставки лекарственных веществ. Анализ металлов на поверхности материалов по данным РФЭС показал наличие Au и Ag в металлической форме, для Cu и Fe — наличие смеси окисленной и металлической форм. По данным мессбауэровской спектроскопии в материале Fe⁵⁷/ПТФЭ регистрируется около 30% Fe⁰ и 70% Fe³⁺ с размером частиц 7—9 нм. Установлено, что введение наночастиц металлов в систему кетопрофен-ПТФЭ не приводит к деструкции лекарственного препарата, что делает нанокompозит перспективным для использования в качестве абтюраторов, прокладок и других материалов медицинского назначения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 10-03-90030, 11-03-00298), БРФФИ (проекты T08P-116, T08P-126) и Российской академии наук (грант в рамках комплексной программы ОХНМ РАН «Создание новых металлических, керамических, стекло, полимерных и композиционных материалов»).

НОВЫЕ НАНОКОМПОЗИЦИОННЫЕ ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

А.В. Николайчик, М.А. Лойко, И.В. Николайчик

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

Настоящая работа посвящена проблеме расширения ассортимента лакокрасочных материалов (ЛКМ) за счет модификации лаковых и пигментированных систем на основе поликонденсационных пленкообразующих веществ углеродными наноматериалами.

Разработаны новые лакокрасочные материалы, содержащие углеродные нанотрубки отечественного производства с улучшенными технологическими характеристиками и позволяющие получать покрытия с повышенными адгезионными, физико-механическими, защитными и термическими свойствами. Введение сверхмалых количеств углеродных нанотрубок марки «Суспензия» (0,01—0,3% мас.) в поликонденсационные ЛКМ позволяет получать лакокрасочные покрытия повышенной работоспособности. Установлено влияние количественного содержания и способа наномодификации на свойства лакокрасочных материалов и покрытий; подобран наилучший способ введения углеродных наноматериалов

териалов в данные лакокрасочные составы и определены оптимальные концентрации нанодобавки, в зависимости от состава и конкретного практического применения.

Использование наноструктурированных лакокрасочных материалов позволит снизить продолжительность и энергоемкость процессов окраски за счет сокращения времени сушки и повысить качество лакокрасочных покрытий. Незначительное удорожание лакокрасочных материалов (примерно 0,25—0,5\$ на 1 кг) компенсируется увеличением важнейших эксплуатационных характеристик покрытий.

Предложен механизм влияния углеродных нанотрубок на структуру и свойства поликонденсационных лакокрасочных материалов и покрытий на их основе. Установлено, что углеродные наночастицы оказывают существенное влияние на надмолекулярную структуру лакокрасочного покрытия. Являясь сильным структурообразователем, углеродные нанотрубки ориентируют полимерные макромолекулы, образуют дополнительные физические узлы эффективной сетки, способствуют разрушению глобулярных агрегатов и упорядочиванию надмолекулярных образований. Образование оптимальной структуры покрытия с участием углеродных наночастиц обеспечивает улучшение комплекса технологических и технических характеристик поликонденсационного лакокрасочного материала и покрытия.

КВАНТОВОХИМИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА, СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ 1-ФЕНИЛТЕТРАЗОЛ-5-ТИОЛОМ

М.Н. Ничик¹, С.В. Войтехович¹, В.Э. Матулис¹,
Р.А. Желдакова², А.И. Лесникович¹, О.А. Ивашкевич¹

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

²Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Недавно нами показана возможность использования легкодоступных и не требующих особых условий в обращении тиолов гетероциклического ряда, а именно 1-замещенных тетразол-5-тиолов, в качестве стабилизирующих лигандов в синтезе наночастиц металлов, в частности, серебра. В связи с наличием нескольких донорных центров в структуре вышеуказанных соединений существует ряд способов связывания их с поверхностью наночастиц. С целью выявления основных центров координации на примере 1-фенилтетразол-5-тиола нами выполнены квантовохимические расчеты молекулярных электростатических потенциалов (МЭСП) соответствующего тиолатного аниона и полных энергий его комплексов с ионом Ag^+ и кластером Ag_3^+ с использованием метода B3LYP/6-31G(d). В результате показано, что наиболее предпочтительной является мостиковая координация лиганда, при которой его атомы S и N(4) связаны с различными атомами серебра кластерного иона серебра. По-видимому, эта координация реализуется при связывании исследуемого стабилизатора с поверхностными атомами наночастиц серебра.

Проведенные исследования антибактериального действия сферических наночастиц серебра, стабилизированных 1-фенилтетразол-5-тиолом (средний размер 3,9 нм), на некоторые грамположительные и грамотрицательные бактерии показали, что рост бактерий *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus saprophyticus*, *Bacillus subtilis* прекращается при концентрации серебра 15 мкг/мл, для *Sarcina lutea* и *Mycobacterium smegmatis* концентрация серебра, препятствующая росту бактерий, составила 51 мкг/мл. Наибольшей устойчивостью отличаются штаммы *Serratia marcescens* и *Pseudomonas aeruginosa*, однако при концентрации серебра 77 мкг/мл отмечено прекращение роста бактерий во всех образцах. Токсическое действие 1-фенилтетразол-5-тиола на исследуемые организмы в отсутствие частиц серебра в контрольном образце не выявлено. Полученные результаты находятся в соответствии с литературными данными для сферических частиц

серебра с немодифицированной поверхностью с размерами менее 10 нм. При исследовании наночастиц серебра стабилизированных наряду с 1-фенилтетразол-5-тиолом катализатором межфазного переноса Aliquat 336 обнаружено снижение антибактериальных свойств наночастиц по отношению к отдельным штаммам бактерий, что может быть связано со спецификой солиганда.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект X11M-038).

СВОЙСТВА МАСЕЛ С ПРИСАДКАМИ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ ПРИ СВЕРЛЕНИИ

В.В. Новиков¹, В.Н. Латышев¹, М.С. Маршалов¹, Е.Е. Нуждина¹, М.А. Колбашов²

¹Ивановский государственный университет, Иваново, Россия

²Институт государственной противопожарной службы МЧС России, Иваново

В настоящей работе приведены данные наших исследований по изучению свойств масел с присадками холестероловых эфиров бензойной кислоты с различными заместителями при обработке металлов резанием. В качестве СОТС использовано индустриальное масло И-20А и масла СП-4 и ГСВ-1 с присадками Х-16 и Х-25. Ранее было установлено положительное влияние данных присадок на показатели трения и изнашивания различных пар трения.

Исследование эффективности присадок при резании проводилось на трибометрическом стенде на базе токарно-винторезного станка ТВ-6 при сверлении и точении. Установлено положительное влияние химически-активных присадок ЖКСХ на процесс сверления материалов. При скорости резания 17.8 м/мин (0.3 м/с) для СОТС с присадкой Х-25 стойкость сверл возрастает на 15%, работа резания снижается на 7%, шероховатость снижается на 9% по отношению к базовым СОТС.

При использовании базового масла СП-4 коэффициенты продольного укорочения стружки уменьшается на 4...5% по отношению к резанию без СОТС. Введение присадок приводит к снижению коэффициента укорочения на 14...15% (Х-16) и 23...24% (Х-25) по сравнению с резанием без СОТС. Эти данные свидетельствуют о том, что при резании в СОТС с присадками ЖКСХ процесс стружкоотделения происходит в более благоприятных условиях, чем без их участия. Таким образом, указанные присадки могут быть рекомендованы в качестве модификаторов свойств стандартных масел для металлообработки, позволяющих повысить качество обрабатываемых изделий.

О МЕХАНИЗМЕ СМАЗОЧНОГО ДЕЙСТВИЯ СОЕДИНЕНИЙ ХОЛЕСТЕРИЛА С ХИМИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ ЛАТЕРАЛЬНЫМИ ЗАМЕСТИТЕЛЯМИ

В.В. Новиков¹, В.Н. Латышев¹, С.А. Сырбу¹, М.А. Колбашов²

¹Ивановский государственный университет, Иваново, Россия

²Ивановский институт государственной противопожарной службы МЧС России, Иваново, Россия

Работа посвящена исследованию и обсуждению возможных механизмов трибоактивности присадок жидкокристаллических соединений холестерина (ЖКСХ) с химически активными латеральными заместителями. Ранее было установлено, что масла с присадками хлорсодержащих ЖКСХ Х-25 и Х-26 обладают более сильным смазочным действием при граничном трении. Способность образовывать смазочные пленки подтверждена склерометрическими исследованиями.

Обобщая результаты проведенных экспериментов, можно сделать однозначный вывод о химическом механизме действия присадок. Химическая активность выбранных приса-

док обусловлена следующим. При трибодеструкции ЖКСХ, содержащих хлор, может происходить образование свободных радикалов. Обладая высокой химической активностью свободные радикалы образуют прочные ковалентные связи с железом и другими металлами по обменному механизму. Логично предположить, что соединения, образованные свободнорадикальными фрагментами эфиров хорлестерила и металлом, создают на поверхности металла защитную мономолекулярную пленку. Имобилизация свободнорадикальных органических фрагментов на поверхности металла способствует увеличению механической стойкости образующейся защитной пленки.

Вероятная химическая активность присадок создает опасность образования токсичных продуктов, в частности, свободного хлора. Для определения возможности образования свободного хлора при трибодеструкции масел с хлорсодержащими присадками были проведены эксперименты на качественное выявление хлорид-ионов путем экстракции их из отработанного масла дистиллированной водой на пробу нитрата серебра (I) и на наличие паров свободного хлора при нагреве масла до температуры вспышки. Обе пробы дали отрицательный результат, что свидетельствует об отсутствии выделения хлора при деструкции масел. Это позволяет сделать вывод о том, что хлор остается связанным в поверхностных реакциях образования смазочных пленок.

ВЛИЯНИЕ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА МИНЕРАЛЬНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕР-ПЕСЧАНЫХ КОМПОЗИТОВ

К.С. Носов¹, Е.М. Лапшина¹, А.В. Чуб², В.С. Маршалов²

¹Институт механики металлополимерных систем им В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²КУП «Экопластсервис», Гомель, Беларусь

В настоящее время в области технологий строительного производства перспективным направлением является разработка полимер-песчаных композитов (ППК), применяемых для производства тротуарной плитки, бордюрного камня, а также кровельных материалов различного эксплуатационного назначения.

Вследствие широкого спектра номенклатурной принадлежности данных материалов возникает потребность в получении изделий с заранее заданными физико-механическими свойствами, которые в свою очередь зависят от множества рецептурно-технологических параметров, одним из которых является дисперсность применяемых наполнителей.

Целью работы явилось исследование влияния фракционного состава минерального наполнителя на механические свойства полимер-песчаных композитов.

В качестве наполнителя использовали строительный (ГОСТ 8736–93) и формовочный (ОАО «Гомельский литейный завод «Центролит»») песок с размером частиц 125, 315 и 500 мкм. В качестве полимерного связующего применяли первичные крупнотоннажные полиолефины в частности ПЭВД (ГОСТ 16337–77), ПЭНД (ГОСТ 16338–85) и ПП (ГОСТ 26996–86).

Композиты получали путем гомогенизации исходных компонентов в смесителе лопастного типа при температуре плавления используемых полимеров. Образцы получали холодным прессованием полученных формовочных масс с приложением нагрузки 16 тонн/см². Механические свойства на сжатие определяли согласно ГОСТ 10180–90.

В результате проведенных исследований установлены зависимости механических свойств ППК от фракционного состава наполнителя. Определены рациональные параметры технологического процесса получения ППК. Оптимизирована рецептура ППК по фракционному и гранулометрическому составу наполнителя. Проведена апробация оптимизированных рецептур и выбранных технологических параметров переработки в опытно-промышленных условиях.

НАНОДИСПЕРСНЫЕ ПРИСАДКИ К СМАЗОЧНЫМ МАТЕРИАЛАМ

Е.В. Овчинников¹, В.И. Кравченко¹, А.В. Митинов², И.И. Майстров²

¹УМЦ «Промагромаш» ОАО «Белкард», Гродно, Беларусь

²Институт нефти и химии, Минск, Беларусь

Исследованы теплофизические и триботехнические характеристики смазочных нанокпозиционных материалов, модифицированных наночастицами модификаторами на основе металлов, углерода и металлополимеров. Нанодисперсные металлы и металлополимеры получали термолизом металлосодержащих соединений в безокислительной среде. В качестве углеродного модификатора использовали коллоидный графит марки С-1 и продукт детонационного синтеза, включающий аллотропические модификации углерода — алмазоподобную, графитоподобную, сажеподобную.

Методом ИК-спектроскопии и дифференциально-термического анализа установлено, что нанодисперсные добавки изменяют кинетику термоокислительных и деструкционных процессов в нефтяных маслах. Отмечено, что в металлополимерных модификаторах на основе полиолефинов и полиамидов нанодисперсные частицы металла в результате хемосорбционного взаимодействия изменяют молекулярную подвижность матрицы и структурную упорядоченность макромолекулы. Нанодисперсные частицы углерода вследствие активного состояния наружного слоя оказывают загущающий эффект, обуславливающий стабилизацию реологических характеристик смазочных композиций при повышении температуры эксплуатации.

В процессе фрикционного взаимодействия в смазочных композициях наблюдается обратимое фазовое превращение “металл–металлосодержащее соединение” оказывающее существенное влияние на триботехнические процессы в зоне контакта. Пластичные смазки с нанодисперсными металлическим или металлополимерным модификатором обеспечивают существенное расширение эксплуатационного диапазона эксплуатации узлов трения и нагрузки заедания по сравнению с базовыми смазками типа ЦИАТИМ-20Т, Солидол УС.

Смазочные композиции, содержащие нанодисперсный углеродный модификатор, наряду с противоизносным действием, обладают стабильными реологическими характеристиками и могут быть использованы в качестве амортизирующих сред.

СТРУКТУРИРОВАНИЕ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Е.В. Овчинников¹, В.И. Кравченко¹, А.В. Митинов², И.И. Майстров²

¹УМЦ «Промагромаш» ОАО «Белкард», Гродно, Беларусь

²Институт нефти и химии, Минск, Беларусь

Для уменьшения износа смазочных электрических контактов и улучшения условий токопрохождения применяют смазочные материалы различного состава. Известны смазки для электрических контактов на основе полиэфиров, смазки, содержащие электропроводные наполнители — порошки металлов, оксидов металлов, графита. Вводимые наполнители и модификаторы обеспечивают изменение кинетики окислительно-восстановительных процессов в зоне трения и формируют проводящие структуры, обеспечивающие перенос заряда в скользящем контакте, предотвращают дугообразование между поверхностями трения. Собственная структура основы смазочных композиций не оказывает существенного влияния на процессы фрикционного взаимодействия и токопрохождения в контактной паре. Между тем известно, что при наложении на слой диэлектрика электрических полей с напряженностью порядка $4 \cdot 10^7$ В/м наблюдается, так называемый “электро-реологический эффект”, обуславливающий структурирование смазочного слоя вплоть до

образования квазикристаллических структур. Следует ожидать, что ориентация молекул смазочной основы скажется на механизме переноса заряда в скользящем контакте. Исследованы модельные системы “исходный диэлектрик – модификатор” на основе высокоочищенного трансформаторного масла марки Т-1500. В качестве дисперсного наполнителя использовали коллоидный графит марки С-1, некоторые эксперименты проведены с использованием в качестве модификатора этилового спирта. Содержание модификатора составляло 1 мас.%, дисперсного — 0,1 мас.%. Напряженность поля $E_{кр}$ изменяли в диапазоне 0—140 кВ/см. Установлено, что вязкость системы существенно зависит от напряженности электрического поля, состава модификатора и величины межэлектродного расстояния. Для обеих исследованных систем наблюдается существенное увеличение вязкости при наложении электрического поля, наиболее характерно проявляющимся при напряженности поля 10–40 кВ/см. Установлено существование некоторого значения напряженности $E_{кр}$, при котором вязкость системы минимальна. Разработана феноменологическая модель процесса формирования приэлектродных слоев, учитывающая в системе “электрод–диэлектрик” и наличие зарядовых кластеров, изменяющих механизм переноса заряда и оказывающих влияние на реологические характеристики. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости учета электрореологического эффекта при разработке специальных смазочных составов для электрических контактов.

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ СМЕСИ ПОРОШКОВ МЕТАЛЛА И ФУЛЛЕРИТА

И.Н. Овчинникова, Е.И. Дроздова, О.П. Черногорова

Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия

Сверхупругие твердые материалы, характеризующиеся высоким отношением твердости к модулю упругости, являются перспективными для создания износостойких и антифрикционных деталей. Объемные частицы углеродной сверхупругой твердой фазы (СТФ) получены из фуллеренов под давлением при высокотемпературной обработке, превышающей температурный порог стабильности фуллереновой молекулы. Образцы композиционных материалов (КМ), армированных частицами СТФ, получены из смеси порошков Со+10 мас.% фуллеритов в 600-т прессе в стандартных камерах для получения сверхтвердых материалов. Частицы СТФ, согласно данным рамановской спектроскопии и рентгеновской дифракции, имеют разупорядоченную графитоподобную структуру. По данным измерительного индентирования с записью кривых нагружения и разгружения частицы СТФ имеют твердость до 35 ГПа, модуль упругости до 190 ГПа, и их упругое восстановление при индентировании составляет около 90%. Трибологические испытания образцов проводили на установке Universal Tester UMT-3МО (СЕТР) по схеме палец–диск со скоростью 30 мм/с по диску из высокоуглеродистой стали (62 HRC) 2 часа под номинальной нагрузкой 5 кг в условиях сухого трения на воздухе. Абразивную износостойкость оценивали по потере веса после испытаний по методу Хрущева. Сравнение результатов испытаний КМ и эталонного Со образца, не содержащего частиц СТФ, показали, что армирование частицами сверхупругого твердого углерода повышает износостойкость материала в десятки раз, при этом коэффициент трения снижается от 0,41 до 0,16—0,21.

АНАЛИЗ ЯВЛЕНИЯ «STICK-SLIP» В ТРИБОМЕТРИИ

О.Н. Озерский

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва, Россия

Довольно часто при трибологических испытаниях фрикционных пар ограничиваются определением их фрикционных и противоизносных свойств. Вместе с тем надежность и долговечность работы узлов трения не может быть обеспечена без учета динамики взаимодействия компонентов пар трения и, в частности, от известного явления «stick-slip». В связи с этим представляется трибологический комплекс испытаний дополнить исследованием склонности рассматриваемых пар трения скольжения к возникновению этого явления.

Темой доклада являются результаты работы, проведенной в этом направлении. В качестве объекта исследования взята установка, воспроизводящая работу трибометра, действующего по схеме диск–шарик. Проведенный теоретический анализ работы этой схемы позволил выявить структуру кинематики взаимодействия компонентов пар трения, её параметры, а также факторы, определяющие характер этого явления.

По данной схеме изготовлен и испытан экспериментальный стенд, проведены предварительные испытания. В качестве пар трения использованы стальной шарик и диски из различных материалов. Для измерения вибрации упругого элемента стенда использован пьезоэлектрический датчик, работающий в комплексе с усилительной, АЦП-системой и выходом на компьютер. Полученные теоретические результаты достаточно полно отражают все стороны этого явления, а результаты экспериментального исследования на предлагаемом стенде позволяют оценивать результаты проведенного теоретического анализа.

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ ГИДРОКСИАПАТИТ — ПОЛИМЕР НА ОСНОВЕ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВИ.Г. Олешук¹, И.Л. Поболь¹, В.К. Крутько², О.Н. Мусская²¹Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск, Беларусь²Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Для ускорения приживаемости металлических имплантатов на них наносят кальций-фосфатные покрытия, главным образом гидроксиапатит (ГА). ГА, полученный при температурах, не превышающих 40—60 °С, обладает большей биоактивностью по сравнению с аналогами, полученными высокотемпературными методами. Интерес представляют композиционные материалы и покрытия на основе ГА в сочетании с полимерными связующими.

Разработан метод нанесения композиционных покрытий ГА — полимер (поливиниловый спирт (ПВС)) на титановые сплавы. ГА получали взаимодействием водных растворов CaCl_2 и $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ при отношении $\text{Ca/P} = 1,67$ и pH 10–11. На пластинах из ВТ1-0 и сплава ВТ6 с подслоем из ПВС формировали многослойные покрытия, состоящие из смеси 5—15% водных растворов ПВС с 5—20 мас.% ГА в форме порошка либо с 10 мас.% ГА в форме геля. Толщина композиционных покрытий составила 20—40 мкм.

Исследованы структура и трибологические свойства покрытий ГА — ПВС. Структуру покрытий изучали на растровом электронном микроскопе SEM 515 с микроанализатором Genesis 2000 и атомном силовом микроскопе Multimode (Veeco, США). РЭМ-исследование образцов показало, что покрытия высокого качества получали при использовании композиционной смеси — 10% раствора ПВС с добавлением 10 мас.% порошка ГА, а также 5% раствора поливинилового спирта и 5% гидроксиапатита в виде геля (объемное соотношение 1:3). Однородность структуры покрытия с ГА в виде геля большая, чем по-

крытия с ГА в виде порошка. Соотношение Са/Р для таких покрытий равно 1,67, что соответствует чистому гидроксипатиту.

Трибологические испытания покрытий ГА — ПВС на подложках из титана проводили на микротрибометре RPT-02. Покрытия имеют более низкий коэффициент трения по сравнению с титановой подложкой (0,54). В случае покрытия с ГА в виде порошка (4 слоя) коэффициент трения составил 0,38—0,39, а покрытия с ГА в виде геля (20 слоев) — в течение времени тестирования снижался с 0,43 до 0,34. Разрушения многослойных покрытий, содержащих ГА как в виде порошка, так и в виде геля, на подложках в ходе испытаний не произошло.

Таким образом, снижение коэффициента трения титановых сплавов с композиционными покрытиями ГА — ПВС делает эти материалы перспективными для применения в качестве ортопедических имплантатов.

ПОРИСТЫЕ СТЕНОВЫЕ И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

В.В. Опекунов

Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Гродно, Беларусь

В странах СНГ сложилась ситуация, при которой большинство объектов гражданского назначения не могут быть отнесены к энергоэффективным, т.к. имеют удельное потребление тепловой энергии (УПТЭ) на уровне 100÷200 кВт·ч/м². В Республике Беларусь поставлена задача обеспечить к 2020 году УПТЭ < 40 кВт·ч/м². В РБ с 2010 г. установлены новые значения нормативного сопротивления теплопередаче (R_n) ограждающих конструкций. Для жилых и общественных зданий приняты следующие значения: наружные стены — $R_n = 3,2 \text{ м}^2\text{К/Вт}$, покрытия, чердачные перекрытия — $R_n = 6,0 \text{ м}^2\text{К/Вт}$, заполнения световых проемов — $R_n = 1,0 \text{ м}^2\text{К/Вт}$.

Наиболее конкурентоспособными являются конструкции на основе изделий из пористых бетонов с ячеистой и зернистой макроструктурами. Технические решения в жилищном строительстве, сводятся к применению качественных сборных изделий из различных ячеистых бетонов — разновидности пористых бетонов (ПБ). Изготовление ПБ с улучшенными физико-техническими свойствами возможно при осуществлении технологических процессов, включающих химические и/или силовые воздействия на сырьевые материалы и/или формовочные смеси, приводящие к получению дисперсных систем с необходимой химической активностью. Активация сырьевых компонентов способствует формированию улучшенной структуры ПБ. В странах СНГ изделия из ПБ производят в основном в виде неармированных мелкогазобетонных блоков из газобетона (газосиликата) автоклавного твердения (ГАТ). При изготовлении изделий из ГАТ применяют известь или известково-песчаное вяжущее, известково-цементное вяжущее, плотный кремнезёмистый микрозаполнитель. Физико-химическую активацию осуществляют, преимущественно, путем сухого или мокрого помола сырья в шаровых мельницах с металлическими мелющими телами.

Низкими темпами развивается производство долговечных ПБ на основе вспученного перлитового песка или щебня. Если стеновые изделия из ПБ производятся массово, то промышленное производство материалов с применением долговечного неорганического сырья в СНГ не развито. Не производятся массово и изделия с $\rho \leq 300 \text{ кг/м}^3$. Заслуживают внимания изделия из армированного пенобетона. В ограниченных объемах производятся в СНГ изделия из перлитобетонов (ЦПБ) с $\rho \leq 300 \text{ кг/м}^3$. Основная причина недостаточного уровня физико-технических свойств ЦПБ — отсутствие рациональных схем подготовки сырьевых компонентов и формовочных смесей, не позволяющих массово изготавливать

качественные сборные перлитцементные изделия с $\rho \leq 300$ кг/м³. Практика применения изделий из ячеистых бетонов и ЦПБ с $\rho < 500$ кг/м³ показывает, что, наряду с устройством однослойных наружных стен толщиной до 600 мм из ГАТ, приемлемый вариант для малоэтажного бескаркасного энергоэффективного строительства — устройство несущих двухслойных стен с $R_T \geq 3,2$ м²К/Вт без воздушной прослойки с использованием изделий из теплоэффективных ($\rho = 500$ —600 кг/м³) ПБ с различными принципами структурообразования.

ФТОРПОЛИМЕРНЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ ДЛЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ТЕХНИКИ СЕВЕРА

А.А. Охлопкова, А.Г. Парникова

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия
Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия

Увеличение числа отказов в зимний период является характерным явлением практически для всех систем машин и механизмов — электрооборудования, гидроприводов, несущих конструкций и т.д. Одними из наиболее подверженных частым низкотемпературным отказам являются узлы трения — уплотнения и подшипники. В связи с этим возникает проблема улучшения свойств используемых материалов. Эффективным методом повышения эксплуатационных характеристик полимерных композиционных материалов (ПКМ) является использование наномодификаторов.

В качестве полимерной матрицы был использован политетрафторэтилен (ПТФЭ), в качестве наполнителя — нанопорошок Al_2O_3 : α - и γ -фаза (размер кристаллитов 9—11 нм), полученный термическим окислением соледержащих продуктов при 800—1200 °С.

Было изучено влияние структуры нанокomпозитов на основе ПТФЭ и нанопорошков волокнистых оксидов алюминия и магния на триботехнические и деформационно-прочностные свойства материалов. Показано значительное улучшение эксплуатационных характеристик нанокomпозитов. Установлены основные закономерности структурообразования в ПКМ. Показана зависимость надмолекулярной структуры композита от концентрации и фазового состава нанонаполнителя. Исследованы релаксационные свойства нанокomпозитов с помощью спектров времени релаксации и изменениями в релаксирующих напряжениях, описываемых уравнением Кольрауша. Для ПКМ в области отрицательных температур выявлено существенное, по сравнению с немодифицированным ПТФЭ, снижение уровня остаточных напряжений. Это свидетельствует о том, что наномодифицирование полимеров снижает роль вязкоупругих свойств материала, что существенно ослабляет проявление хладотекучести полимера. Это приводит к повышению работоспособности и долговечности деталей узлов трения из разработанных полимерных нанокomпозитов при их эксплуатации, в том числе при низких температурах.

Показана перспективность модифицирования ПТФЭ наноразмерными оксидами алюминия и магния с целью получения материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками для работы в экстремальных условиях Севера.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 09-03-98502-р_восток_a, № 09-03-98504-р_восток_a)

ПОЛУЧЕНИЕ ОКСИДНЫХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ

А.В. Павленок, Е.Н. Подденежный, Е.И. Гришкова

Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Гомель, Беларусь

На сегодняшний день одним из приоритетных направлений в области синтеза наноструктурированных порошков люминофоров является метод гомогенного осаждения, совмещенный с обработкой в СВЧ поле. Интерес к данной экспериментальной методике заключается в возможности синтеза высокотемпературных ультрадисперсных соединений, таких как $Y_2O_3:Tb$, $Y_2O_3:Ce$, $Y_2O_3:Eu$ и др., которые являются эффективными люминофорами, а также могут использоваться в качестве компонента для получения иттрий-алюминиевого граната, легированного редкоземельными элементами.

В НИЛ ТКН была разработана экспериментальная методика синтеза оксидных соединений в специальном контейнере при помощи воздействия микроволновой энергии. В качестве примера был синтезирован $Y_2O_3:Ce$.

Методика химического осаждения в СВЧ-поле заключается в следующем: приготовленный раствор мочевины и хлористых солей в дистиллированной воде помещается в камеру СВЧ-печи, после включения магнетрона происходит воздействие СВЧ-энергии на раствор, и жидкость начинает выкипать, пары конденсируются на верхней крышке контейнера и возвращаются в реакционную зону, таким образом масса раствора по мере протекания эксперимента меняется не существенно. Установлено, что продолжительность обработки в СВЧ-поле должна быть не менее двух часов. По окончанию процесса осаждения формируется прекурсор, который выпадает на дно контейнера в виде белого осадка, далее подвергается промывке, сушке и термической обработке в муфельной печи при температуре 1000—1200 °С. В результате формируется порошок оксида иттрия с размерами частиц от 50 до 120 нм (по данным ПЭМ), а результаты изучения дифрактограмм (ДРОН-7) свидетельствуют о достаточно хорошо сформированной кристаллической фазе Y_2O_3 кубической сингонии.

КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ КРЕМНЕЗЕМА, СОДЕРЖАЩИЕ ХОЛИНЭСТЕРАЗУ

В.В. Паентко¹, А.К. Матковский¹, Ю.В. Матрунчик²,
Г.Р. Юрченко¹, Е.В. Воробьева², Ю.Л. Зуб¹

¹Институт химии поверхности им. А.А. Чуйко НАН Украины, Киев, Украина

²Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Иммобилизованные биопрепараты нашли широкое применение в аналитической химии, медицине, сельском хозяйстве, биотехнологии и других областях благодаря высокой специфичности, повышенной стабильности и простоте использования. Методы иммобилизации предусматривают как химическую сшивку ферментов с поверхностью носителей, так и их инкапсулирование в пористое пространство матриц. Дополнительным способом сохранения активности ферментативных препаратов является создание вокруг них оболочек из природных полимерных материалов, которые формируют микроокружение, близкое к условиям *in vivo*. Однако природные и многие синтетические полимеры, пригодные для использования в качестве таких защитных оболочек, обладают низкой бактерицидной устойчивостью.

Целью настоящего исследования было создание высокоэффективного препарата, у которого холинэстераза жабр *Carassius carassius* в микроокружении, близком к условиям *in vivo*, встраивалась в неорганическую матрицу кремнезема, обеспечивающая дополнительную бактерицидную защиту и механическую прочность композита.

Для решения поставленной задачи была разработана методика синтеза композиционного материала с использованием силиката натрия с применением золь-гель метода при значении $pH = 6$ синтеза и отсутствия органических растворителей, что обеспечивало наиболее эффективное функционирование биопрепарата. В качестве защитных оболочек использовали природные и синтетические полимеры (желатин, поливиниловый спирт и полимерный комплекс на основе поливинилового спирта и полиакриловой кислоты). В результате проведенной работы были получены композиты, обладающие холинэстеразной активностью. Их активность зависела от природы полимера и степени полимеризации.

Таким образом, предложен эффективный способ сохранения активности ферментативного препарата — иммобилизации холинэстеразы гомогената жабр *Carassius carassius* в матрицу кремнезема в различных полимерных оболочках.

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ТРИБОАКТИВНЫХ НАНОЧАСТИЦ MoS_3

О.П. Паренаго, Г.Н. Кузьмина, Д.В. Терехин

Институт нефтехимического синтеза РАН, Москва, Россия

Предложены способы синтеза наночастиц трисульфида молибдена, растворимых в смазочных маслах и проявляющих активность в качестве антифрикционных и противоизносных присадок к маслам. Взаимодействием тиомолибдата аммония с тетраалкиламмоний галогенидами, включающими алкильные группы различной природы, синтезированы бис(тетраалкиламмоний)-тетратиомолибдаты, являющиеся предшественниками образования наночастиц трисульфида молибдена. Методами УФ- и ИК-спектроскопии, а также термогравиметрии изучены свойства полученных молибденовых соединений. Термолизом бис(тетраалкиламмоний)-тетратиомолибдатов получены наночастицы трисульфида молибдена и методом малоуглового рентгеновского рассеяния определены их размеры и распределение по размерам. С использованием трибометров различных типов показана антифрикционная и противоизносная активность как тетраалкиламмонийных производных тиомолибдатов, так и наночастиц трисульфида молибдена.

МОДИФИЦИРОВАНИЕ СВОЙСТВ АНТИФРИКЦИОННЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДА 6

В.А. Пашинская¹, Н.В. Грудина²

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А.Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

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

Для получения антифрикционных материалов и покрытий широко используется полиамид-6 (ПА-6), модифицированный добавками компонентов органической и неорганической природы. Введение в состав полиамида-6 низкоплавких компонентов, в частности полиэтилена, позволяет реализовать в процессе трения эффект самосмазывания. К недостаткам покрытий на основе полиамида-6 относят: значительное поглощение влаги, достигающее 14% для исходного полимера, и низкую устойчивость адгезионных связей с металлическим основанием, особенно при эксплуатации во влажных средах. Улучшить свойства покрытий удастся путем введения в состав композиций дополнительных полимерных компонентов.

В настоящей работе представлены результаты оценки прочностных свойств ПА-6, ПЭНД и их смесей с другими компонентами: низкоплавкой полиэфирной смолой марки ПЭФ-668, эпоксидным компаундом ПЭП-534, поливиниловым спиртом (ПВС) в порошкообразном виде, коллоидно-графитовым препаратом С-1, фосфогипсом марки А, техническим углеродом (сажа марки ДГ-100), стабилизатором — неозон А.

Образцы для оценки свойств композиционных материалов представляли собой пленки толщиной от 0,4 до 0,6 мм, полученные термообработкой контролируемого трафаретом слоя порошка на поверхности алюминиевой фольги при $T = 240 \div 250$ °С в течение 20 мин. с последующим охлаждением на воздухе. Определяли прочность пленок при растяжении σ_p и относительное удлинение при разрыве ϵ_p по ГОСТ 11262 на образцах в виде лопаток (2×16 мм), вырубленных из сформированных пленок после отслаивания фольгового субстрата.

Анализ полученных данных показывает, что пленки, полученные из порошка ПА-6, характеризуются низкими значениями прочности и деформационной способности. Рациональное сочетание добавок различной природы позволяет получать из композиционных составов на основе дисперсного ПА-6 прочные пленки с максимальным уровнем деформационной способности. Добавка к дисперсному полиамиду порошков ПЭНД и ПВС приводит к ухудшению прочностных свойств формируемых пленок, но к некоторому улучшению их эластичности для системы ПА-6 – ПВС. Улучшение прочностных свойств формируемых пленок происходит при модифицировании исходного полиамида добавками порошков низкоплавкого полиэфира и эпоксидного компаунда. Композиционные составы, содержащие тонкодисперсный наполнитель, например фосфогипс, позволяют получать пленки, характеризующиеся повышенными значениями прочности и деформационной способности.

Таким образом, добавление к порошку ПА-6 других более низкоплавких полимерных порошков может приводить к интенсификации термоокисления матричного материала при формировании композита, что сказывается на его физико-механических свойствах. Модифицирование порошка ПА-6 веществами, блокирующими окисление компонентов смеси, приводит к увеличению прочности и деформационной способности формируемых пленок. Вероятным механизмом такого модифицирующего действия является связывание (адсорбция) дисперсными добавками низкомолекулярных веществ, присутствующих в полимере и являющихся инициаторами термоокислительных процессов. Взаимодействие компонентов друг с другом и окружающей средой можно регулировать путем использования модифицирующих добавок. Показано, что в процессах получения композиционных материалов и покрытий из смесей полимеров происходит взаимодействие компонентов, приводящее к изменению свойств исходных составляющих.

ВЛИЯНИЕ КОМПАТИБИЛИЗАТОРА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМЕСИ ПОЛИОЛЕФИН – ПОЛЯРНЫЙ КАУЧУК

З.А. Пересторонина, А.К. Булкина, Г.П. Петрова, И.В. Баранец,
М.М. Колобаева, Г.М. Хвостик, С.К. Курлянд

ФГУП «НИИСК» им. академика С.В. Лебедева, Санкт-Петербург, Россия

Одним из путей создания термоэластопластов (ТЭП) на основе термодинамически несовместимых полимерных пар является использование компатибилизатора, имеющего в цепи участки, совместимые с обоими компонентами [1]. В настоящей работе была рассмотрена система бутадиен-нитрильного каучука СКН-18 и полипропилена. В качестве компатибилизаторов были использованы хлорсульфополиэтилен (ХСПЭ), эпихлоргидриновый каучук (ЭПХГ), дивинил-стирольный термоэластопласт (ДСТ) содержащие как полярные группы (хлор-, сульфо-, стирол-), так и неполярные участки хорошо совместимые с полиолефинами [2]. Исследование морфологии полученных смесей было проведено на оптическом микроскопе Jeol-6A. Их физико-механические свойства были оценены по прочности и относительном удлинении при разрыве, определенным на разрывной машине

типа Поляни при скорости растяжения 100 мм/мин для кольцевых образцов со средним диаметром 16 мм, вырубленных из пластин толщиной 0,4 мм, спрессованных при 180 °С.

Для определения оптимального соотношения полипропилена и каучука были получены смеси с содержанием каучука (СКН-18) 30, 40, 50, 60 и 70%. Согласно данным микроскопических исследований наиболее однородной морфологией обладают образцы, содержащие 60% каучука и 40% полипропилена. При этом их прочность при разрыве составила 4,8 МПа, а относительное удлинение 30%, что не уступает характеристикам других полученных смесей.

Замещение части бутадиен-нитрильного каучука на ХСПЭ приводит к улучшению механических свойств смесей с содержанием компатибилизатора в диапазоне 3—20 вес.%. Прочность увеличивается на 1,7—4,2 МПа, а относительное удлинение на 27—45%. Введение 8% ЭПХГ оказывается наиболее эффективным, и приводит к увеличению прочности в 3 раза и относительного удлинения почти в 2 раза. При введении в бинарную смесь 12—20% ДСТ-30 наблюдается стабильный рост прочности и относительного удлинения.

Таким образом, в работе показано, что использование ХСПЭ, ЭПХГ, ДСТ в качестве компатибилизаторов для смеси полипропилен — СКН-18 существенно улучшает ее физико-механические свойства.

1. Полимерные смеси. Под ред. Д. Пола и С. Ньюмена. Т. 2. – М., Изд. «Мир», 1981. – 456 с.
2. Полимерные смеси. Т. II. Под ред. Д.Р. Пола и К.Б. Бакнелла. СПб.: Научные основы и технологии, 2009. – 606 с.

ВЫДУВНЫЕ И ЭКСТРУЗИОННЫЕ ПОЛИАМИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

С.С. Песецкий¹, С.А. Леонов²

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²ОАО «АВТОВАЗ», Тольятти, Россия

Алифатические полиамиды (ПА), в частности, полиамид 6 (ПА6) ввиду сравнительно низкой вязкости и прочности расплава практически не пригодны для переработки методами непрерывной экструзии и экструзии с раздувом. В то же время, в конструкциях современных легковых автомобилей используется ряд ответственных изделий, для изготовления которых потенциально пригодны композиционные материалы, получаемые при введении в их состав ПА6. Это, прежде всего изделия, для которых определяющим фактором является высокая стойкость по отношению к нефтепродуктам (низкая бензопроницаемость): топливные баки и сепараторы паров бензина, топливопроводы, наливные трубы. Подобные изделия могут быть получены только по экструзионным и экструзионно-выдувным технологиям.

В работе показано, что на базе ПА6 (при его совмещении с функционализированными полимерами и сополимерами олефинов) могут быть получены смесевые композиционные материалы с высокими вязкостью и прочностью расплава [показатель текучести расплава 0,1—1,0 г/10 мин при $T = 250$ °С и $P = 21,6$ Н (для чистого ПА 6 $\approx 7,6$ г/10 мин) прочность расплава 8—16 кПа (для чистого ПА6 $\approx 1,3$ кПа)], пригодные для переработки по трубным технологиям, а также методом экструзии с раздувом. Материалы характеризуются низкой бензопроницаемостью (сорбция бензина при 23 °С в течение 600 час не превышает 0,02 мас.%), а также комплексом высоких показателей механических свойств (верхний предел текучести ≥ 40 МПа, прочность при растяжении ≥ 55 МПа, относительное удлинение при разрыве $\geq 200\%$). По уровню значений ударной вязкости по Шарпи материалы

относятся к разряду сверхударопрочных (на образцах с острым надрезом ударная вязкость по Шарпи ≥ 60 кДж/м² при 23 °С и ≥ 25 кДж/м² при –40 °С).

Практическая апробация материала, произведенная при производстве методом экструзии с раздувом сепараторов паров бензина автомобилями «ВАЗ» подтвердила его удовлетворительную формуюемость (изготовлено более 50 тыс. шт. сепараторов), а также соответствие эксплуатационных свойств техническим требованиям на данное изделие. Приводятся данные о технологии, структуре и свойствам экструзионно-выдувных ПА композитов.

ВЫДЕЛЕНИЕ СВОБОДНОГО ФЕНОЛА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ КОМПОЗИТОВ НА ФЕНОЛЬНЫХ СМОЛАХ

П.Д. Петрашенко, С.Ф. Мельников, Н.В. Якимович

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

Исследовали выделение свободного фенола при изготовлении композитов на фенольных смолах (ФС).

Объектом исследований являлись жидкие фенольные смолы марок ЛБС-1 и ЛБС-9, а также твердые порошкообразные новолачного (СФП-011А) и резольного (СФ-342А) типа, содержащие различное количество свободного фенола. В качестве наполнителя использовали древесные частицы, в том числе в виде муки, стекловолокно и хлопчатобумажную ткань. После смешения наполнителя с ФС, композиты слоем толщиной 2—3 мм помещали на обогреваемую плиту, расположенную под вытяжной воронкой с отводной трубкой к поглотителям. Плита нагревалась со скоростью ~ 10 °С/мин. Выделяющиеся при нагреве образцов летучие продукты пропускали через поглотители, заполненные 0,8% раствором соды. Поглотительные растворы анализировали на фенол. Также учитывался фенол, осевший на внутреннюю поверхность вытяжной воронки и отводной трубки.

Проведенные эксперименты показали, что выделение фенола при изготовлении композитов в основном коррелирует с его исходным содержанием в ФС. При этом основная масса фенола выделяется из ФС на стадии отверждения, при температурах 80—170 °С.

На основании экспериментальных данных предложена формула расчета выбросов свободного фенола в зависимости от вида наполнителя, его фракционного состава и содержания в композите смолы.

Выводы. При производстве композитов на основе ФС основная масса фенола выделяется на стадии горячего прессования. Его максимально возможный выброс может достигать 5,5 % от начального содержания свободного фенола в ФС. Предложена формула для расчета максимально возможных выбросов фенола при прессовании стандартных композитов.

АЛМАЗОПОДОБНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА РЕЗИНОВЫХ УПЛОТНЕНИЯХ

С.В. Петров

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

Одним из технических решений, позволяющим повысить работоспособность резиновых уплотнений, является модифицирование поверхности резинотехнических изделий различными методами, в частности нанесением алмазоподобных покрытий (АПП). Покрытия наносились на образцы на основе бутадиен-нитрильного каучука с помощью источника плазмы импульсного катодно-дугового разряда с центральным электродом из графита по следующим режимам: количество импульсов $N = 7500$; время нанесения $t = 25$ мин; частота 5 Гц; давление $P = 0,059$ Па.

Исходные и модифицированные образцы испытывались без смазочного материала по схеме торцевого трения на машине трения 2070 СМТ-1 со специальным приспособлением. Режимы испытаний: скорость $v = 0,25$ м/с; давление $P = 0,03$ МПа, время $t_{\text{исп}} = 90$ мин. Результаты испытаний показали, что нанесение АПП приводит к значительному уменьшению коэффициента трения (в 12 раз), интенсивности изнашивания резинового образца (в 17 раз), интенсивности изнашивания контртела (в 16,5 раз), температуры в зоне трения (в 2,7 раз). При этом у модифицированных резин коэффициент трения долгое время остается постоянным, сохраняет свое предельно низкое значение. Изучение дорожек трения на резиновых образцах показало, что нанесение на поверхность резинового образца АПП изменяет механизм изнашивания с усталостного у исходных на адгезионный у модифицированных.

Механизм снижения коэффициента трения у модифицированных резин при трении без смазки может быть объяснен частичной графитизацией монокристаллического углерода. Этот процесс связан с тем, что азот присутствует на поверхности углеродного покрытия, главным образом, в виде групп типа С–N–ОН, что может способствовать трибопревращениям sp¹-связей, характерных для линейно-цепочечного углерода, в sp²-связи, характерные для графита. Указанные превращения могут вызывать снижение трения за счет характерного для графита эффекта самосмазывания. После периода приработки, на стадии стационарного трения, коэффициент трения $f = 0,3$ и интенсивность изнашивания РТИ оставались стабильно низкими. Это можно объяснить регулярным микропревращением алмазоподобного углерода в графитоподобный, о чем свидетельствует незначительная установившаяся температура в зоне трения 30 °С.

Таким образом, использование алмазоподобных покрытий на резиновых уплотнениях может значительно повысить их работоспособность и снизить потери при трении.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПТФЭ

П.Н. Петрова, Т.А. Исакова

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова

В данной работе для создания полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) использована активация дисперсных компонентов за счет воздействия физических полей, основанная на ультразвуковом и кавитационно-гидродинамическом воздействии в среде поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Исследованы механические и триботехнические свойства композитов на основе смесей полимеров в зависимости от концентрации компонентов и времени воздействия ультразвуковыми колебаниями (УЗК). Показано, что наложение УЗК на порошковую композицию на основе ПТФЭ обеспечивает комплексное повышение эксплуатационных характеристик (предела прочности при растяжении — на 30%, относительного удлинения при разрыве — на 80%, модуля упругости — на 20%). При этом зарегистрировано снижение скорости изнашивания на 25%. Установлено оптимальное время воздействия УЗ-волн на порошковую смесь, соответствующее 20 мин. Активированная подобным образом полимерная смесь на основе ПТФЭ и Ф-4 НТД-2 может использоваться как матрица для получения ПКМ с улучшенным комплексом свойств.

Для повышения износостойкости в активированную подобным образом смесевую композицию добавлены цеолиты. Для снижения процессов агломерации наполнителей в объеме полимера и повышения эффективности их модифицирующего действия разработаны прекурсоры на основе активированных цеолитов посредством кавитационно-гидродинамического воздействия в среде ПАВ при наложении ультразвуковых колебаний.

Использование цеолитов для получения прекурсоров обусловлено их каркасно-пористой структурой, благодаря чему они являются объемными носителями ПАВ. Установлено, что под воздействием ударной волны в водном растворе ПАВ происходит уменьшение предварительно активированных частиц цеолитов в 2—2,5 раза и повышение доли частиц с размером меньше 4 мкм. Использование таких прекурсоров-модификаторов способствует повышению уровня адгезионного взаимодействия на границе раздела фаз полимер-наполнитель и созданию прочных и износостойких композитов.

Таким образом, показана эффективность использования высокочастотных колебаний в качестве активационных технологий совмещения компонентов ПКМ, приводящая к улучшению деформационно-прочностных и трибологических свойств.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 09-03-98502-р_восток_a)

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩЕГО ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ МОТОРНЫХ МАСЕЛ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПТФЭ И КОМПОЗИТОВ НА ЕГО ОСНОВЕ

П.Н. Петрова, А.А. Охлопкова, А.Л. Федоров

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Амосова, Якутск, Россия

В данной работе представлены результаты триботехнических испытаний полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ), подвергнутых пропитке моторными маслами различной природы. В качестве модификаторов использованы моторные масла марки М-8В (SAE 20), Motul 5W30 (SAE 30) и Ravenol 5W40 (SAE 40), различающихся по природе и вязкости. По эффективности модифицирующего влияния на ПТФЭ, определенной по критерию повышения износостойкости ПКМ, эти масла можно расположить в следующий ряд: Ravenol 5W40 — Motul 5W30 — М-8В. Установлено, что более эффективными модификаторами ПТФЭ являются моторное масло марки Motul 5W30 на основе сложных эфиров и минеральное масло М-8В. Основной причиной повышения износостойкости ПКМ является то, что компоненты термообработанного моторного масла играют роль структурно-активных наполнителей в полимерной матрице, в результате чего происходит трансформация надмолекулярной структуры полимера в сферолитную. Второй причиной повышения износостойкости является изменение характера и интенсивности адгезионного взаимодействия ПКМ с поверхностью контртела благодаря наличию в объеме и на поверхности композита полярных кислородсодержащих соединений, содержащихся в исходном масле или образующихся в результате его окисления в процессе переработки ПКМ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 09-03-98502-р_восток_a)

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМОДЕФОРМАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ АУКСЕТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Е.М. Петроковец¹, В.Н. Беломестных², Э.Г. Соболева²

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого, Гомель, Беларусь

²Юргинский технологический институт Национального исследовательского Томского политехнического университета, Юрга, Россия

Исследование механических свойств ауксетичных материалов, имеющих отрицательный коэффициент Пуассона ν , актуально в связи с перспективами их использования в технических приложениях. Как известно, ряд монокристаллов имеют указанную упругую

аномалию в определенных направлениях, что может привести к локальным напряжениям при нагреве в условиях эксплуатации.

В работе определялись температурные изменения коэффициентов Пуассона в монокристаллах LiF и NaClO₃ в интервале температур от 0 К (экстраполяция от 4,2 К) до температуры плавления T_{пл} = 1143 К (экстраполяция до 1023 К). Установлено, что значения коэффициентов Пуассона — $\nu_{\langle 110, \bar{1}\bar{1}0 \rangle}$, $\nu_{\langle 111 \rangle}$, ν кристаллов LiF при повышении температуры отрицательны при температурах 260 К, 800 К и 1065 К, т.е. кристалл LiF в состоянии предплавления становится аксиальным ауксетиком. В области низких температур (260 К) отрицательное значение коэффициента Пуассона монокристалла NaClO₃ II соответствует направлению $\langle 100 \rangle$ и одной из двух поперечных деформаций, перпендикулярных направлению продольной деформации $\langle 110 \rangle$.

С использованием осесимметричной конечно-элементной-модели анализировали влияние коэффициента Пуассона на термонапряженное состояние упругодеформируемого диска, адгезионно связанного с недеформируемой подложкой. Проведенные расчеты показали, что использование компонента соединения из материала с $\nu = -1$, при прочих равных условиях, позволяет не менее, чем на 40% снизить максимальные эквивалентные напряжения при более равномерном распределении в объеме, а также более чем на порядок уменьшить термические перемещения.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕФТЕШЛАМА ПРИ РАЗРАБОТКЕ БИТУМНО-ПОЛИМЕРНЫХ ЗАЩИТНЫХ СОСТАВОВ

Г.Г. Печерский, В.П. Дубодел, И.И. Злотников

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

Разработка новых строительных материалов на основе техногенных отходов представляет значительный интерес для современной строительной индустрии.

Целью данной работы является разработка защитных битумно-полимерных составов для защиты от атмосферных воздействий и гидроизоляции металлических, бетонных и других оснований.

Основой разрабатываемых битумно-полимерных композиций является битум нефтяной строительный и нефтешлам, вводимый в битум в количестве до 40 мас.%. Нефтешлам — отход, который образуется в процессе дренирования и пропарки нефтепроводов, а также емкостей и резервуаров для хранения и транспортирования нефти. В разрабатываемых материалах использовали нефтешлам Мозырского нефтеперерабатывающего завода, имеющий состав, мас.‰: оксиды металлов (в основном железа) 5—10, вода 15—20, нефтепродукт — остальное. С точки зрения физической химии нефтешлам является агрегативно-устойчивой водно-нефтяной эмульсией с дисперсной минеральной фазой, образованной частицами оксидов металлов плотностью 870—920 кг/м³.

При введении в битумы нефтяная составляющая нефтешлама играет роль пластификатора, увеличивая деформативность и эластичность битумно-полимерных композиций, а окислы металлов являются наполнителем, повышающим механическую прочность и теплостойкость композиции. Вода, содержащаяся в нефтешламе, выпаривается в процессе изготовления. В качестве полимерного модификатора получаемых защитных композиций использовали бутилкаучук. Вязкость регулировали введением небольших количеств алифатических или ароматических растворителей.

Защитные покрытия, получаемые на поверхности бетонных изделий, имеют следующие свойства:

- глубина проникновения в бетонное основание — 3—5 мм;
- адгезионная прочность — 0,4—0,6 МПа;

– время высыхания при 120 °С — 3 часа.

Применение нефтешлама позволяет значительно снизить стоимость получаемых защитных битумно-полимерных композиций при сохранении их свойств и частично решить проблему утилизации нефтешлама.

СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ АНТИКОРРОЗИОННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Г.Г. Печерский¹, И.В. Приходько², А.С. Неверов²

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

Развитие техники требует применения новых полимерных композиционных материалов с заданным сочетанием свойств, что легко достигается созданием наполненных полимерных (композиционных) материалов, компоненты которых при совместной работе способны создавать синергический эффект. Улучшение свойств материалов при наполнении сопровождается также выигрышем во многих случаях в экономической эффективности — снижением стоимости материалов, повышением антикоррозионных свойств и т.д.

Для защитных покрытий наиболее широко применяют полиэтилен низкого давления. Результаты исследований данной работы получены в ходе экспериментов на образцах в виде пленок различной толщины. Полимерные пленки формировали путем прессования при давлении 5 МПа и температуре 150±5 °С. С целью повышения гомогенности образцов, продолжительность формования была на 5 минут больше времени, необходимого для полного спекания композиции.

Покрытия на основе полиэтилена обладают стойкостью к воде и агрессивным средам при температурах до 60 °С, что позволяет эффективно использовать их как антикоррозионное покрытие. В качестве пластификатора использовали минеральное масло. При эксплуатации композиционного материала происходит самопроизвольное отделение жидкой фазы, и масло попадает на поверхность металла, где, выполняя функцию барьера, обеспечивает защиту от коррозии. Интенсивность этого процесса возрастает при содержании пластификатора в образцах в количествах, превышающих 30%. В качестве методики, позволяющей косвенно оценить синерзис (отделение жидкой фазы), использовали определение усадки образца в процессе эксплуатации. Результаты экспериментов показали, что процессы, обуславливающие экссудацию жидкости, начинаются не сразу после формирования образцов. Индукционный период составляет от нескольких единиц до десятков минут и практически завершается в течение нескольких суток. Полученные результаты по усадке образцов практически соответствуют результатам экссудации, так как в основе этих явлений лежат одни и те же процессы, протекающие в объеме пластифицированного материала.

С целью снижения себестоимости изделий было предложено для создания композиционного материала в качестве пластификатора использовать отработанную железнодорожную смазку буксол, в состав которой входит минеральное масло и дополнительно введен ингибитор коррозии.

ПОРОШКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ С АНИЗОТРОПНОЙ ПОРОВОЙ СТРУКТУРОЙ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ОПОР ПНЕВМО- И ГИДРОПОДШИПНИКОВ

Л.П. Пилиневич¹, М.В. Тумилович²

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

²Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Совершенствование существующих и разработка новых конструкций подшипников для всех областей техники способствует техническому прогрессу, и во многих случаях лишь они позволяют решающим образом повысить эксплуатационную надежность оборудования, машин и агрегатов.

Наиболее важным преимуществом газовых подшипников является использование малой вязкости газов по сравнению с жидкостями. Малая вязкость газов позволяет реализовать высокие скорости вращения при незначительных потерях на трение, а, следовательно, и малом повышении температуры смазки и опор. Следствием малых потерь на трение является возможность получения малого износа и большой долговечности таких опор, повышение экономичности и точности машин и приборов при их применении.

В работе проведены теоретические и экспериментальные исследования процесса получения опор для пневмо- и гидроподшипников.

Экспериментальные исследования по определению конструкции пористого материала для пневмоподшипников показали, что наиболее перспективным является пористый композиционный материал, состоящий из двух слоев. Один слой с анизотропной пористостью должен быть изготовлен из порошка коррозионно-стойкой стали марки X18H15, а другой слой — из пористого фторопласта.

Замена подшипников качения у нагнетателя на газодинамические с опорами из пористых порошковых материалов с анизотропной поровой структурой позволил увеличить его КПД с 38 до 68 %. Помимо существенного улучшения экономичности, удалось значительно повысить надежность его работы. Находясь в тяжелых условиях эксплуатации, нагнетатель с подшипниками с опорами из пористого композиционного материала безупречно проработал свыше 5000 ч и имел до 1000 пусков, при этом износ подшипников еще не достиг предела, ограничивающего их работоспособность.

КОНСТРУИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ РАСЧЁТ ЦЕПНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДЛЯ НЕПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВАЛОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

О.И. Пилипенко

Государственный технологический университет, Чернигов, Украина

Для обеспечения передачи крутящего момента между непараллельными валами необходимо, чтобы цепь обладала, как минимум, двумя степенями свободы элементов гибкости, а элементы зацепления цепи и звёздочки должны обладать тремя степенями свободы. Это даёт возможность цепи свободно входить в зацепление со звёздочкой под произвольным углом к средней плоскости её зубчатого венца и передавать движение без нарушения нормального контакта между элементами зацепления.

Конструкция пространственной цепной передачи состоит из пространственной цепи и соответствующих звёздочек. Пространственная цепь состоит из монолитных звеньев, рабочие поверхности которых выполнены в виде сфер, соединённых между собой крестовинами. Конструкция пространственного звена выполнена в виде монолитной детали, состоящей из двух полусфер, соединённых между собой цилиндрической перемычкой. Соединение крестовиной позволяет цепи изгибаться в любом направлении. Перемычка препятствует поперечному скольжению звеньев цепи по звёздочке. Угол поворота звеньев цепи

ограничен и равен 22° , его можно изменять. Зацепление между цепью и звёздочкой происходит по сферическим поверхностям. Расстояние между центрами сферических поверхностей звена равно шагу цепи. Звёздочка представляет собой диск, на цилиндрической поверхности которого выполнены впадины, состоящие из части вогнутой сферической поверхности и выпуклой части тора. Для упрощения конструкции литейной пресс-формы звёздочка состоит из двух одинаковых половин относительно средней плоскости зубчатого венца, соединённых между собой защёлками или болтами.

Критерием качества или целевой функцией является объём, занимаемый цепной передачей предложенной конструкции. Ширина звездочки и её диаметр при равных числах зубьев прямо пропорциональны ширине и шагу цепи, т.е. занимаемый цепной передачей объём, при прочих равных параметрах, определяется размерами поперечного сечения цепи. Вводятся параметрические и функциональные ограничения двух видов: ограничения на размерные параметры, вызванные необходимостью придания цепи заданной прочности, и ограничения, определяемые относительным расположением элементов звена цепи.

Поиск оптимальных параметров проводится в два этапа. На первом этапе ведётся поиск базовой точки путём пошаговой прогонки параметров оптимизации, на втором – находится минимум целевой функции методом прямого поиска, используя для этого модифицированный метод Хука-Дживса. В результате реализации программы оптимизации получены значения независимых размерных параметров, по которым из соответствующих зависимостей определяются остальные размеры звена цепи и звёздочки.

Представленная конструкция пространственной цепи для передачи крутящего момента между непараллельными валами из полимерных композитов показывает, что идеология её конструирования отличается тем, что вместо нескольких металлических деталей, из которых состоят обычно стандартные приводные цепи, полимерная цепь может быть изготовлена с помощью одного монолитного звена из полимерного композита, представляющего собой интегрированную деталь, отливаемую на термопластавтомате за одну технологическую операцию.

ИОННО-ПЛАЗМЕННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДА: СИНТЕЗ, СТРУКТУРА, МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Д.Г. Пилипцов, А.В. Рогачёв, Н.Н. Федосенко, А.С. Руденков

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь

Целью данной работы являлось изучение влияния природы и концентрации легирующих элементов, введенных в углеродное алмазоподобное покрытие, технологических особенностей формирования таких слоев на механические (микротвердость, коэффициент трения, износостойкость, величину внутренних напряжений) свойства и структуру углеродных покрытий. В качестве легирующих элементов были выбраны титан, медь, азот. Концентрация металлов в покрытиях изменялась от 2 до 50%, азота до 10%. Покрытия формировали одновременным нанесением углерода из источника плазмы импульсного катодно-дугового разряда с составным катодом из графита и металла при различном значении давления азота в камере.

Установлено, что композиционные углеродные покрытия существенно изменяют свои механические свойства в зависимости от концентрации и природы легирующих элементов. Легированные титаном покрытия обладают значительно более низким значением внутренних напряжений, чем легированные медью, что может быть связано с образованием в процессе осаждения карбида титана и установленным ранее ингибирующим влиянием титана на процессы образования графитоподобных структур. Медь же в покрытии присутствует в виде дисперсных включений, которые формируются в процессе осаждения и не оказывают заметного влияния на возникающие в слое напряжения сжатия. При этом

углеродные покрытия, легированные медью, обладают более низкой твердостью по сравнению покрытиями легированными титаном. Для бинарнотитанированных углеродных покрытий (титаном и медью, титаном и азотом, медью и азотом) наблюдается сильная зависимость механических свойств от соотношения концентраций легирующих компонентов.

Установлен характер влияния азота на механические свойства и структуру однокомпонентных и титансодержащих углеродных покрытий. Показано, что при увеличении содержания азота снижаются микротвердость однокомпонентных покрытий и значение внутренних механических напряжений. Коэффициент трения таких слоев имеет низкие значения. Азот- и титансодержащие покрытия характеризуются более высокой твердостью, имеют более однородную структуру. Установленные изменения свойств объясняются образованием при азотировании легированных титаном слоев карбонитридных и нитридных фаз внедрения.

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ГЕТЕРОЦЕПНЫХ ПОЛИМЕРОВ МИНЕРАЛАМИ АРМЕНИИ

А.К. Погосян, А.Н. Карапетян, К.В. Оганесян

Государственный инженерный университет, Ереван, Армения

Исследование закономерностей модифицирования полимеров с различными наполнителями и разработка на этой основе методов управления структурой и свойствами полимеров представляют большой научный интерес для целенаправленного создания новых композиционных самосмазывающихся полимерных материалов (КСПМ) для металлополимерных и полимер-полимерных трибосопряжений, а также повышения эксплуатационных свойств современной триботехнической системы. Для получения КСПМ на основе гетероцепных полимеров в качестве наполнителей использовались армянские минеральные наполнители, такие как травертин, мрамор, бентонит и туф различных месторождений, предварительно термообработанные, и органические смазочные материалы (ОСМ): фторсодержащие олигомеры (фторалканы), стеариновая кислота и волгонат (алкансульфонат натрия). Рассмотрены два способа введения минералов и смазочных материалов в наполненную систему: путем одновременного смешения необходимых компонентов в смесителе и двухстадийным способом, предусматривающим предварительную модификацию армянских минералов с ОСМ и потом введения в наполненную систему.

Изучением влияния смазочных материалов на формирование структуры и свойств гетероцепных полимеров в условиях переработки установлено, что ОСМ являются стабилизаторами низкомолекулярных частей гетероцепных полимеров за счет перевода их в нерастворимое состояние, приводящее к повышению термостойкости материалов за счет образования сшитой структуры полимеров. Показано, что при одностадийном смешении компонентов смазочные материалы выступают, в основном, в роли сшивающегося агента и модификатора трения гетероцепных полимеров, повышая термостабильность образцов по сравнению с исходными. Установлено, что введение в наполненную систему компонентов двухстадийным способом с использованием предварительно модифицированных армянских минеральных наполнителей оказывает комплексное влияние на структуру и свойства гетероцепных полимеров, повышая их износостойкость и термоокислительную стабильность, снижая при этом величину коэффициента трения в широком интервале температур, а также улучшая прочностные характеристики. Улучшение трибологических свойств гетероцепных полимеров, повышение износостойкости и снижение коэффициента трения образцов обусловлено и особым характером структуры модифицированных минеральных наполнителей, где смазочные материалы распределяются монослоями по поверхности минерала в виде привитого слоя.

ПРИМЕНЕНИЕ БЕЗАСБЕСТОВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ БАСТЕНИТ В ПАРАХ ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ

А.К. Погосян, Н.Г. Меликсетян

Государственный Инженерный Университет, Ереван, Армения

Эксплуатационные испытания муфт сцепления коробки передач автомобильных кранов свидетельствуют, что причиной снижения работоспособности пар сухого трения является недопустимо высокий уровень температур на контактных поверхностях. Одним из перспективных решений снижения теплонагруженности пар трения считается применение муфт сцепления с принудительным охлаждением потоком жидкости. В конструкциях таких муфт ведущими фирмами используются различные керамические и органические фрикционные материалы.

Для муфт сцепления жидкостного трения коробки перемены передач автомобильных кранов, действующими нормативными документами, регламентированы следующие эксплуатационные параметры: коэффициент трения 0,05—0,1, износостойкость материала $2,2 \cdot 10^{-5}$ г/Дж, расход охлаждающего масла – до $1,0 \cdot 10^{-4}$ м³/с.

В работе приведены результаты сравнительных испытаний керамических материалов марки М-140 и безасбестового фрикционного материала Бастенит, разработанного на основе минералов имеющих сырьевую базу в Армении. Эксперименты проводились на установке И-47-К-54 при давлении 1,0 МПа. Пара трения работала в условиях принудительного охлаждения маслом М10Б2 при расходе $0,4 \cdot 10^{-4}$ м³/с. Поверхностная температура в экспериментах не превышала 240 °С.

Анализ результатов испытаний показывает, что безасбестовый материал Бастенит обладает более высокими и стабильными триботехническими характеристиками в сравнении с металлокерамикой. Коэффициент трения находится в пределах 0,09—0,13, износостойкость составляет $0,07 \cdot 10^{-5}$ г/Дж и максимальная поверхностная температура не превышает 220 °С. Таким образом, использование безасбестовых фрикционных материалов в маслоохлаждаемых узлах трения является перспективным направлением совершенствования машин.

СТАТИЧЕСКАЯ СИЛОВАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПЛЕНОК ЛЕНГМЮРА-БЛОДЖЕТТ

И.В. Погочкая¹, С.А. Чижик², Т.А. Кузнецова³

¹Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

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

³Институт порошковой металлургии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Покрытия нанометровой толщины представляют собой структурные элементы современных микроэлектромеханических систем и являются объектом исследования метода атомно-силовой микроскопии (АСМ). Статическая силовая спектроскопия АСМ позволяет проводить исследования таких покрытий в контактном режиме, при котором параметром обратной связи является изгиб консоли зонда.

Целью работы является определение упругих свойств однослойной, поливинилпиридин (ПВП), и двухслойной, полиметилметакрилат с нанесенным на него поливинилпиридином («ПММА+ПВП»), полимерных пленок нанометровой толщины (10—13 нм), сформированных на поверхности кремния методом Ленгмюр-Блоджетт. В предположении упругого характера контакта острия зонда и покрытия установлены значения локального модуля упругости: 3,95—4,72 ГПа и 5,54—6,35 ГПа для ПВП в диапазоне глубин внедрения 2—7 нм; 2,29—3,02 ГПа, 3,55—4,11 ГПа для двухслойного покрытия «ПММА+ПВП»,

в диапазоне 2—10 нм. Разброс значений зависит от локализации проводимых измерений вследствие неоднородности структуры образцов. Значения локального модуля упругости, рассчитанные по модели Герца, выше значений, рассчитанных при помощи теории контактного деформирования слоистых систем, в 1,2—2,5 раза. Таким образом, влияние толщины покрытия и, соответственно, влияние подложки являются определяющими при оценке упругих характеристик тонких слоев методом АСМ. Выдвинуто предположение о влиянии сверхтонкой прослойки ПММА на свойства двухслойного покрытия «ПММА+ПВП» вследствие ее экранирования силовых полей кремния, оказывающих структурирующее воздействие на нанесенный полимерный слой. Таким образом, «ПММА+ПВП» обладает более низким модулем упругости по сравнению с пленкой ПВП той же толщины.

ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ФТОРИРОВАННЫМ УГЛЕРОДОМ

В.Д. Полоник, Н.Р. Прокопчук, Ж.С. Шашок

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

Применение модификаторов является одним из способов регулирования свойств полимерных композиционных материалов. Особое место занимают ультрадисперсные материалы с многоуровневым модифицирующим действием. Процессы фторирования с применением различных технологических приемов оказывают особую эффективность на эластомеры и композиции на их основе.

Целью данной работы было определение влияния фторированного углерода на прочностные свойства эластомерных композиций. Объектом исследования являлась наполненная эластомерная композиция на основе синтетического бутадиен-нитрильного каучука БНКС-18АМ с эффективной вулканизирующей системой. Наполнителем являлась комбинация марок техуглерода П-803 и Т-900 в дозировках 71 мас.ч. и 50 мас.ч. на 100 мас.ч. каучука соответственно. Модифицирующая добавка вводилась в дозировках 0,1 и 0,2 мас.ч.

В результате исследований было установлено, что введение фторированного углерода приводит к увеличению условной прочности при растяжении эластомерных композиций, не оказывая значительного влияния на относительное удлинение при разрыве.

Проведенные исследования по определению теплостойкости показали, что использование исследуемой добавки приводит к незначительному увеличению теплостойкости.

Таким образом, в результате исследований было установлено, что применение фторированного углерода в составе эластомерной композиции позволяет получать вулканизаты с более прочной и термостойкой структурой.

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ РЕЗИН УГЛЕРОДНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

А.Н. Попов, В.П. Казаченко, А.М. Дворак

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

В настоящее время основным технологическим приемом повышения функциональных свойств резин, применяемых в запорной аппаратуре, является их объемная модификация. Однако из-за комплексного действия наполнителя на физико-химические характеристики резин не всегда удается, например, повысить износостойкость РТИ и сохранить при этом хорошие эластичность, механическую прочность, стойкость к действию агрессивных сред.

Целью данной работы является исследование структуры, физико-механических и триботехнических свойств резин с покрытиями на основе углерода.

Для получения алмазоподобных покрытий триботехнического назначения, использовалась серийная вакуумная установка вакуумного напыления УРМ3.279.070. Триботехнические испытания полученных покрытий проводили на микротрибометре, по схеме палец – плоскость и на машине СМТ-1. Были исследованы образцы как с алмазоподобными, так и с легированными углеродными покрытиями.

Установлено, что нанесение покрытий на основе углерода на РТИ снижает коэффициент трения до 0,2 и величину износа. Показано, что зависимость коэффициента трения от толщины покрытия имеет экстремальный характер. Наилучшие триботехнические параметры показало углеродное покрытие, нанесенное в среде азота. Изучены поверхности трения и установлено, что произошло изменение механизма изнашивания РТИ. Происходит переход от изнашивания по механизму образования “скаток” у исходных резин к усталостному изнашиванию у модифицированных, что позволяет значительно снизить потери при трении.

Стендовые испытания автомобильных амортизаторов показали, что при наличии давления от 0,80 до 0,82 МПа и окружной скорости 1,43 м/с наработка модифицированных манжет 1.2-105×138-3 с использованием смазки ЦИАТИМ-221 составила от 500 до 600 часов (600 часов соответствует пробегу 35 000 км), что превышает приблизительно в пять раз максимальную долговечность манжет на основе известных смесей. Так для немодифицированных исходных манжет из резины 7-В-14 на основе БНКС и ГБНКС из резины РС-26ч УО "БГТУ" наработка составила от 2 до 14 ч. При испытаниях опытных манжет из смеси РС-26ч на основе БНКС и ГБНКС разработанных УО "БГТУ" наработка составила: из БНКС -102 ч, комбинированных — 41 ч.

РАЗРАБОТКА ТРУДНОГОРЮЧИХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ, ВКЛЮЧАЮЩИХ НОВЫЕ ФОСФОР-, КРЕМНИЙ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

В.П. Прокопович, И.А. Климовцова, И.А. Башмаков

НИИ физико-химических проблем Белгосуниверситета, Минск, Беларусь

В настоящее время возрастают требования к полимерным материалам с пониженной горючестью. Эти требования относятся не только к уровню огнеретардантности, но и к другим характеристикам, в частности к экологическому аспекту использования замедлителей горения. В качестве экологически безопасных антипиренов, не содержащих галогены и сурьму, в настоящее время используют азот-фосфорсодержащие добавки, а также различные кремнийорганические соединения как мономерного, так и полимерного типа.

Целью настоящей работы является разработка методов получения новых фосфор-, кремний-органических соединений и мелкодисперсных оксидов металлов — перспективных антипиренов для синтетических полимеров различных классов.

Синтезированные фосфорорганические соединения являются продуктами конденсации новолака с триэтилфосфатом, диметилметилфосфонатом, а также толуилендиизоцианата с пента-эритритолтрифосфатом. Получен ряд кремний органических соединений на основе метилтрихлор-силана, фенола, гидрохинона и резорцина. Структура новых синтезированных фосфор-, кремний-органических соединений подтверждена данными элементного анализа и ИК-спектроскопии. Следует отметить, что синтезированные фосфор-, кремнийорганические соединения являются высокомолекулярными, что обеспечивает хорошую совместимость с полиамидом и полиэтилентерефталатом. Таким образом, разработаны методы получения новых высокомолекулярных фосфор-кремнийсодержащих соединений — перспективных антипиренов для полимеров. Отработана технология получения

мелкодисперсных оксидов меди и железа с целью их применения в качестве синергистов для усиления огнегасящего эффекта фосфор-, кремнийорганических антипиренов.

Проведены испытания по определению гоюечести полиамидных и полиэтилентерефталатных композиций, включающих новые соединения. Горючесть полиэтилентерефталатных и полиамидных композиций оценивали по международному тесту UL 94.

В ходе исследований разработаны оптимальные составы трудногорючих полиэтилентерефталатных и полиамидных композиций (класс горючести V1-V0), включающие новые фосфор-, кремнийорганические соединения и мелкодисперсные оксиды железа и меди.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ НА ОСНОВЕ СТИРОЛА

В.П. Прокопович¹, И.А. Климовцова¹, В.Г. Соколов¹, И.И. Уголев², О.М. Аншаков²

¹НИИ физико-химических проблем Белгосуниверситета, Минск, Беларусь

²Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Данные исследования направлены на разработку отечественных полимерных композиционных сцинтилляторов — преобразователей энергии фотонов и заряженных частиц в оптический сигнал для использования в дозиметрии, радиометрии и спектрометрии ионизирующих излучений. Существующие методы изготовления пластмассовых сцинтилляторов (экструзия и литье под давлением) обеспечивают высокую технологичность и массовость производства. Тем не менее, при использовании данных способов получения сцинтилляторов не всегда удается получать полистирольные композиции с заданными свойствами, так как температуры разложения люминесцентных добавок ниже температуры переработки полимера. Поэтому возникает необходимость в разработке технологии получения композиционных полистирольных сцинтилляторов методом полимеризации непредельных органических соединений в присутствии люминесцентных добавок и металлоорганических соединений (тетраэтилсвинец, тетрафенилсвинец и др.) при сравнительно невысоких температурах.

Цель работы — разработка методов и технологических режимов полимеризации стирола в присутствии люминесцентных добавок, металлоорганических соединений и сульфида цинка, получение полимерных сцинтилляторов для регистрации ионизирующего излучения, разработка методик испытаний и проведение испытаний композиционных полистирольных сцинтилляторов. В результате проведенной работы отработаны режимы полимеризации стирола различными способами: термическая полимеризация стирола с поэтапным повышением температуры до 150 °С с последующим медленным охлаждением полимера для снятия внутренних напряжений; каталитическая полимеризация стирола в присутствии азоизобутиронитрила при температуре не выше 80 °С. Разработан метод получения композиционных полистирольных сцинтилляторов, включающих люминесцентные добавки (п-терфенил, РОРОР), металлоорганические соединения (тетраэтилсвинец, тетрафенилсвинец) с содержанием свинца в полимерной композиции 0,5—1,15% и антиоксидант (0,01—0,03%) для предотвращения термоокислительной деструкции полистирольной композиции на стадии полимеризации стирола и в условиях эксплуатации сцинтилляторов. Разработаны методы нанесения сульфида цинка (люминофор ФС-4) на полистирольную подложку с целью получения сцинтилляторов для регистрации α -излучений.

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНОГО КАУЧУКА

И.Н. Пугачева, С.С. Никулин, О.Н. Филимонова, М.В. Енютина

Воронежская государственная технологическая академия, Воронеж, Россия

Многочисленные отходы нефтехимических производств содержат большое число разнообразных реакционных соединений и могут служить ценным исходным сырьем как для органического, так и нефтехимического синтезов. Одновременно с этим повышенный интерес проявляется к применению в композиционных составах различного назначения в качестве наполнителей волокон разного происхождения. Перспективным направлением в этом плане можно считать то, которое позволит подойти комплексно к решению вопроса о совместном использовании низкомолекулярных сополимеров, изготовленных на основе побочных продуктов нефтехимии, и отходов волокнистых материалов для получения полимерных композитов, обладающих комплексом новых свойств.

Для эксперимента использованы масло ПН-6 и содержащие стирол низкомолекулярные сополимеры (СНС) на основе кубового остатка ректификации толуола (КОРТ) производства полибутадиена. СНС на основе КОРТ в одном случае подвергали высокотемпературной обработке гидропероксидом пинана (ГП), а в другом — осуществляли модификацию малеиновым ангидридом (МА). В качестве волокнистого наполнителя использовали хлопковое, вязкое и капроновое волокно. На основе данных продуктов получали волоконсополимерный наполнитель в виде водноволокнополимерноантиоксидантной дисперсии (ВВПАД), которую вводили в латекс бутадиен-стирольного каучука на стадии его получения. Далее на основе полученных наполненных каучуков готовили резиновые смеси. Анализ полученных данных показал, что вулканизаты, содержащие волоконсополимерный наполнитель обладают улучшенным комплексом свойств, в частности, увеличиваются прочностные показатели и коэффициент теплового старения.

Таким образом, использование низкомолекулярных полимерных материалов из отходов производства полибутадиена и волокнистых наполнителей в композиционных материалах позволяет не только утилизировать отходы нефтехимических и текстильных производств, но и более рационально использовать сырье и материалы, что способствует уменьшению загрязнения окружающей среды.

ИЗДЕЛИЯ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ КАК ПРОДУКТ-ИННОВАЦИЯ: ЗАТРАТЫ НА СОЗДАНИЕ, ЭФФЕКТ И РИСК

Л.Ю. Пшебельская, В.П. Ставров

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

В Республике Беларусь ежегодно производится около 600 тыс. т синтетических смол, пластических масс и изделий, но, в то же время, согласно оценкам, не менее 100 тыс. т изделий из полимерных материалов на сумму примерно 400 млн. долл. США ввозится из-за рубежа. Освоение производства из полимеров новых изделий, прежде всего конструкционного назначения для машиностроения, строительства и других отраслей, относится к актуальным направлениям импортозамещения и реализации инновационной стратегии государства.

Для принятия решения о финансировании инновационного проекта, направленного на освоение новой продукции, потенциальный инвестор хотел бы знать ответы на три вопроса: 1) во что обойдутся разработка и освоение производства новой продукции; 2) какой эффект может быть получен в результате реализации проекта и 3) насколько велик риск инвестиций.

Цель исследования, выполненного по заказу ГКНТ Республики Беларусь, — создание научно-обоснованной методологии и методики оценки затрат на создание продукта-инновации, возможного эффекта и риска, позволяющих еще на предпроектной стадии (до начала финансирования) ответить на сформулированные актуальные вопросы.

В предлагаемой концепции учитываются следующие факторы: общность подхода и специфика различных видов продукции; требования нормативных документов к инновационным проектам, к разработке и постановке продукции на производство; опыт участников проекта; неизбежная неопределенность условий осуществления проекта и реализации продукта; доступность методики для всех участников; малость затрат на оценку по сравнению со стоимостью разработки проекта.

Показаны основные положения развиваемой методологии и разработанной методики предпроектной оценки стоимости создания продукта-инновации, эффективности освоения его в производстве с учетом неопределенности стадий разработки, освоения производства и ситуации на рынке сбыта продукции, оценки обусловленных флуктуациями условий осуществления проекта, границ затрат, получаемого эффекта, в том числе в сравнении с альтернативными проектами, и риска инвестиций.

В качестве примера для иллюстрации развиваемого подхода приняты проекты создания и освоения новых изделий из полимерных материалов в составе государственных научно-технических программ и инновационных проектов, финансируемых предприятия-ми.

НОВЫЕ КОМПОЗИЦИИ ПРИСАДОК К МОТОРНЫМ МАСЛАМ НА ОСНОВЕ СОЛЕЙ И СЛОЖНЫХ ЭФИРОВ НЕФТЯНЫХ НАФТЕНОВЫХ КИСЛОТ БАКИНСКИХ НЕФТЕЙ

С.Н. Рагимова, С.А. Мустафаев, М.Г. Велиев, Г.Р. Мустафаева

Азербайджанская Государственная Нефтяная Академия, Баку, Азербайджан

Прогресс в моторостроении связан с улучшением качества применяемых масел и топлив. Современные топлива и масла должны отвечать целому ряду требований, которые различаются в зависимости от условий применения. Для получения масла и топлив оптимального углеводородного состава и с высокими эксплуатационными показателями требуются, в первую очередь, подбор доступного сырья и усовершенствование технологии. Однако коренное решение проблемы немислимо без применения присадок — это наиболее прогрессивный и экономически выгодный способ получения высококачественных масел и топлив.

С целью определения моющих и антикоррозионных свойств бариевых и цинковых солей нафтенных кислот были приготовлены их различные растворы в моторных маслах М-10(М-10Б) и М-8(М-8В). Результаты испытания базовых масел с присадками показали, что оптимальным количеством нафтената бария является 2—3%.

Испытания ацетиленовых эфиров диэтиленгликоля, полученных ацилированием моноацетиленовыми эфирспиртами хлорангидридов нафтенных кислот, формулы $R\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{OCX}_2 - \text{C} \equiv \text{CH}$ (I-III), где $X = \text{H}$ (I), C_2H_5 (II), C_3H_7 (III) в качестве ингибиторов коррозии показали, что они обладают высокими ингибирующими свойствами, что позволило исследовать их в композициях присадок. Для этой цели были приготовлены растворы базовых моторных масел (М-10 (ДС-11) — для дизельного и М-8 (АС-8) — для карбюраторного двигателей) с бариевыми солями и ацетиленовыми эфирами нафтенных кислот в различных концентрациях с последующим определением их коррозионной активности, моющей способности и цвета. Из полученных результатов следует, что в присутствии композиции присадок бариевых (2—3%) и цинковых (1.5—2%) солей и

ацетиленовых эфиров высокомолекулярных нафтеновых кислот (1.5—2%) моющая способность масел для дизельных и карбюраторных двигателей улучшается от 3,5 и 4,0 балла до 0,5; а коррозионная активность уменьшается с 180,0 и 156,0 до 2,8 и 3,0 г/м², соответственно.

ВАКУУМНОЕ ГАЗОСТРУЙНОЕ ОСАЖДЕНИЕ ФТОРПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК С НАНОЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА

А.К. Ребров, А.И. Сафонов, Н.И. Тимошенко

Институт теплофизики им.С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск, Россия

Одним из направлений получения материалов с новыми свойствами является создание наноструктурированных материалов. Свойство наноструктурированных материалов отличается от свойств этих же материалов в массиве. Например, антибактериальная активность наночастиц серебра размером около 10 нм на несколько порядков выше, чем серебра в массиве. Однако общая проблема для всех наночастиц — это их коагуляция, в результате которой их уникальные свойства исчезают. Решить проблему коагуляции возможно внедрением наночастиц в матрицу инертного вещества, например фторполимера, обладающего высокой химической инертностью.

В Институте теплофизики разработан метод газоструйного осаждения металлополимерных нанокомпозитов на основе наночастиц серебра, внесенных во фторполимерную матрицу. Метод основан на совместном осаждении металлополимеров в вакууме из двух газовых струй: струи предшественника фторполимерной матрицы и струи аргона с наночастицами серебра. Струя предшественника истекает из термического реактора, в котором происходил пиролиз окиси гексафторпропилена с образованием активных компонент. Струя аргона с наночастицами серебра истекает из разработанного высокотемпературного источника. Осаждение металлополимера происходит на вращающуюся цилиндрическую мишень. Изменением газодинамических параметров в источнике и реакторе можно управлять структурой осаждающегося металлополимера. Данным методом были осаждены металлополимерные пленки с различной структурой, была изучена их морфология, элементный состав и антибактериальные свойства.

Проведенные исследования показали возможность эффективного получения металлополимерных пленок методом газоструйного осаждения в вакууме. Была показана возможность эффективного управления структурой осаждающегося металлополимера изменением газодинамических параметров в источнике и реакторе.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 09-08-00345-а) и Интеграционного гранта Президиума СО РАН №85.

ГАЗОСТРУЙНЫЙ МЕТОД ОСАЖДЕНИЯ СЕРЕБРЯНЫХ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЕНОК И НАНОЧАСТИЦ

А.К. Ребров, А.И. Сафонов, Н.И. Тимошенко

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе, Новосибирск, Россия

В практике синтеза металлополимеров важной проблемой является способ внедрения наноразмерных частиц металлов в полимерную матрицу. Данная работа посвящена разработке способа и устройства создания потока кластеров металлов для использования при синтезе металлополимерных пленок.

Газофазные методы осаждения отличаются широкими возможностями синтеза пленок и наночастиц металлов: относительной простотой получения необходимого спектра раз-

меров частиц, простотой реализации подготовки предшественника осаждаемого материала, широкими возможностями управления режимами осаждения. Интерес к наноразмерному состоянию твердых тел обусловлен, прежде всего, наличием различных размерных эффектов, определяющих специфические свойства таких материалов.

Существенной частью представляемого исследования является разработка термического испарительного источника и изучение его характеристик, определяющих спектр кластеров в зависимости от режима работы. Для оценки возможностей термического источника металлических (серебряных) частиц важно понять, где происходит образование кластеров.

В работе приведены результаты исследований газоструйного осаждения кластеров серебра с характерным размером частиц от единиц до десятков нанометров. Представлены характеристики термического источника в виде зависимостей размеров кластеров от температуры и давления в источнике.

В результате проведенной работы создан эффективный термический источник кластеров серебра с весьма узким спектром распределения размеров кластеров со средним значением 4 нм. Установлены области газодинамического тракта, ответственные за образование наночастиц металла.

Работа поддержана грантом РФФИ 09-08-00345 и Интеграционным грантом Президиума СО РАН №85.

ПРИДАНИЕ ОГНЕСТОЙКОСТИ ПОЛИЭФИРНЫМ ВОЛОКНАМ МЕТОДОМ ХИМИЧЕСКОЙ МИКРОСБОРКИ

О.В. Рева¹, В.В. Богданова², З.В. Шукело², Л.В. Радкевич²

¹Командно-инженерный институт МЧС РБ, Минск

²Учреждение Белорусского государственного университета «НИИ физико-химических проблем», Минск, Беларусь

Огнезащитная отделка полиэфирных волокнообразующих материалов, в том числе лавсана, устойчивая к водным обработкам осложняется тем, что они химически инертны, а также имеют очень гладкую беспористую поверхность; механическое закрепление на ней ингибитора горения происходит в количествах, не обеспечивающих огнезащитных свойств. Возможным решением проблемы может быть создание на поверхности полимера привитых интермедиативных слоев по методу химической микросборки, обеспечивающих химическое взаимодействие полимер — ингибитор горения. Цель данного исследования состояла в изучении возможности химической привязки фосфор и азотсодержащих антипиренов к поверхности лавсанового нетканого материала.

Для химической привязки антипирена к поверхности лавсанового волокна проводили формирование интермедиативных адгезионных нанослоев посредством его предварительной обработки коллоидными растворами $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ или SnCl_2 (размеры частиц не более 10—20 нм).

Установлено, что в случае использования промежуточных адгезионных слоев наблюдается заметное устойчивое повышение огнестойкости полимера. Исследование химического состава приповерхностной зоны модифицированного антипиреном лавсана показало, что соотношение атомов О/С до обработки было 0,2; после — 0,37, т.е. относительное количество кислорода в поверхностных слоях (1—3 нм) полимера увеличилось более чем в полтора раза, что может быть вызвано присутствием кислородсодержащих соединений $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, $\text{Sn}_x\text{O}_y\text{Cl}_z$, PO_4^{3-} .

Методом рентгенофотоэлектронной спектроскопии установлено, что по сравнению с исходным полимером в огнезащищенном материале изменяется положение характеристических максимумов для спектров С 1s и О 1s и наблюдается некоторое изменение формы

пиков, что может быть связано с образованием связей типа $-C-O-N-$ и $-C-O-P-$; присутствует азот в составе аминогрупп ($R-NH$ или $R-NH_2$); групп $>N-$ и $-N-O$ и $-R=NH$.

В спектре лавсана, модифицированного адгезионными подслоями из наноразмерных частиц $SiO_2 \cdot nH_2O$ или $Sn_xO_yCl_z$, обнаруживаются пики Si 2p и Sn 3d соответственно; форма и положение которых дают основания предположить, что кремний и олово связаны как с углеродом подложки, так и с кислородом или азотом.

Полученные данные открывают перспективное направление исследований применительно к нанесению огнезащитных композиций на полиэфирные материалы с их прочной химической привязкой к полимерной матрице.

ИНТЕРМЕДИАТИВНЫЕ РЕАГЕНТЫ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ ПРИВЯЗКИ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СЛОЕВ К ИНЕРТНЫМ ПОЛИМЕРАМ

О.В. Рева¹, Е.А. Петрико¹, В.В. Богданова²

¹Командно-инженерный институт МЧС РБ, Минск, Беларусь

²Учреждение Белорусского государственного университета «НИИ физико-химических проблем», Минск, Беларусь

Композиционные многослойные материалы на основе химически стойких, механически прочных полимерных материалов нового поколения находят применение в самых разнообразных областях техники — от микроэлектроники и конструкционных материалов до огнезащищенных тканей для пожарных, спасателей, рабочих горячих цехов, сварщиков. Несмотря на существенные различия в составе и назначении конечных изделий, общая проблема создания таких материалов заключается в обеспечении прочного взаимодействия между полимерной матрицей и неорганическими модифицирующими пленками, поскольку такие полимеры как лавсан, арселон, поликарбонат, полиимид и др. характеризуются очень гладкой и химически инертной поверхностью. Цель данной работы заключается в разработке методов получения из коллоидных растворов интермедиативных реагентов — наночастиц соединений олова — для обеспечения прочного адгезионного взаимодействия между полимерной матрицей (полиимид, поликарбонат и арселон) и неорганическим функциональным слоем (осажденные из растворов токопроводящие пленки никеля или огнезащитные дисперсии металлофосфатов). Для получения реагентов из соединений олова использовали водные и неводные (органозоли) коллоидные растворы $SnCl_2$.

Установлено, что наилучшую равномерность и прочность привязки к матрице функционального неорганического слоя обеспечивают частицы оксо- и гидроксохлоридов олова, формирующиеся в спиртовых растворах в присутствии аминосоединений. Размеры коллоидных частиц в объеме раствора колеблются в пределах 3—20 нм, причем около 80 % частиц имеют диаметр 5—10 нм.

В результате применения активирующих органозолей адгезия токопроводящего слоя, осажденного на полимер, увеличивается в $\sim 1,2$ — $1,5$ раза (до 900 Н/м); пористость металлических пленок снижается в ~ 2 раза; металлсодержащие антипирены не вымываются с поверхности волокна при многократных стирках. В отличие от частиц гидроксохлоридов олова, формирующихся в водных растворах, органозоли Sn(II) более прочно привязываются в поверхности исследованных полимеров. Это позволяет предположить, что хемосорбция активатора из этих растворов сопровождается одновременным набуханием и подтравливанием подложки с формированием связей типа $-C-O-Sn-$ и $-N \cdots Sn-$. Методами рентгенофотоэлектронной и Оже спектроскопии доказано, что в результате проводимых обработок происходит изменение химического состава приповерхностного слоя полимера.

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЙ ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫЙ СЛОИСТЫЙ МАТЕРИАЛ

М.М. Ревяко, А.Ф. Петрушеня

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

В современном мире все большее значение приобретают композиционные материалы на основе полимерных связующих. Это связано с наличием у данных материалов особого комплекса свойств, удовлетворяющих требованиям конечного потребителя. Это достигается за счет суммации качеств отдельных компонентов композиции, а также иногда проявления и эффекта синергизма. Номенклатура полимерных композитов постоянно расширяется за счет внедрения новых связующих, наполнителей, добавок. При этом все чаще наблюдается интерес в области создания композиционных материалов с использованием натуральных волокон.

Важное значение имеет также и процесс модернизации уже существующих методик получения композиционных материалов с целью замены устаревших полимеров более новыми, экологичными в производстве и безопасными в дальнейшей эксплуатации в составе готового изделия. Данная работа посвящена направлению замены карбамидо- и меламиноформальдегидных связующих при производстве древесных слоистых пластиков на современные термопласты.

В работе описан метод получения разработанного композиционного материала прессованием на основе березового шпона и различных модифицированных термопластичных пленок, определены оптимальные режимы его получения данным методом, представлены основные физико-механические характеристики материала. Выбор оптимального режима заключался в определении максимальной адгезионной прочности достигаемой в материале в диапазоне варьируемых параметров температуры, давления и толщины пленочного связующего. Адгезионную прочность определяли по методу определения предела прочности при сдвиге.

Достигнутый результат позволяет судить о возможности замены существующей технологии получения древесных слоистых композиционных материалов новой технологией, базирующейся на использовании в качестве связующего термопластичных пленочных материалов.

Разработанный нами материал может выступать в качестве заменителя фанеры, а разработанная технология позволит получить экологически чистый материал данного вида.

КОНСОЛИДАЦИЯ ЧАСТИЦ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ РОТАЦИОННОМ ФОРМОВАНИИ

М.М. Ревяко, Е.З. Хрол

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

При ротационном формовании осуществляется сплавление (или консолидация) частиц полимерных материалов с образованием монолитной структуры, которая при охлаждении формирует стенку готового изделия. Процесс консолидации полимерных частиц в значительной степени связан со скоростью передачи тепла к материалу, а поэтому процессы тепло- и массопередачи при ротационном формовании следует рассматривать во взаимосвязи. Кроме того, процесс сплавления частиц определяется также скоростью вращения формирующего инструмента и характеристиками используемого сырья.

В литературе предложено множество моделей взаимодействия частиц материалов, в которых рассматривается как упругое взаимодействие, так случай наличия сил адгезионного взаимодействия. Однако следует отметить, что в большинстве моделей рассматрива-

ется случай статического взаимодействия частиц, а при ротационном формовании ситуация несколько усложняется: формование стенки готового изделия происходит не в стационарном режиме, а при постоянном вращении формы. К тому же во вращающейся форме контакт между двумя частицами не всегда приводит к их консолидации. Кроме того, ситуация затрудняется и тем, что размер частиц полимера чаще всего является неоднородным.

В работе предложены и описаны модели взаимодействия частиц, которые с достаточной степенью точности описывают кинетику консолидации двух полимерных частиц при их сплавлении в процессе ротационного формования. Однако рассчитанные с использованием предложенных моделей значения не всегда согласуются со значениями, используемыми на практике, что объясняется сложностью рассматриваемой системы и осуществлением процесса в динамических условиях. Этот факт свидетельствует о необходимости более детального рассмотрения стадии консолидации и механизмов взаимодействия частиц для более точного моделирования этой стадии процесса ротационного формования.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

М.М. Ревяко, Ю.Н. Хрол

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

Одной из важнейших задач любого предприятия является обеспечение высокого качества выпускаемой продукции. С этой целью в Республике Беларусь на предприятиях по переработке полимерных материалов активно внедряются системы качества в соответствии с требованиями стандартов серии ИСО 9000. Посредством сертификации подобной системы подтверждается способность предприятия стабильно выпускать продукцию надлежащего качества. Одним из требований стандартов ИСО 9000 является внедрение статистических методов управления и контроля качеством на всех этапах жизненного цикла продукции. Однако в настоящее время на предприятиях по переработке полимерных композиционных материалов статистические методы управления качеством не находят широкого применения.

По литературным данным известно, что анализ и внедрение статистических методов контроля качества позволяет выявлять наиболее эффективные технологические режимы производства, осуществлять непрерывное управление технологическими процессами с динамической оптимизацией технологического режима, а также способствует реализации ресурсосберегающих режимов производства. В связи с этим внедрение статистических методов на предприятиях данной отрасли является очень актуальным.

В работе приводятся результаты анализа эффективности и воспроизводимости технологических процессов, полученные с помощью «простых инструментов» качества. При этом для принятия решения о необходимости вмешательства в технологический процесс было предложено использовать контрольные карты Шухарта, которые позволяют оперативно оценивать состояние технологического процесса. Для внедрения контрольных карт был проведен анализ дефектности изделий, выпускаемых на ОАО «Борисовский завод пластмассовых изделий», а также предложен ряд параметров, требующих непрерывного контроля.

Применение разработанных контрольных карт позволит осуществлять динамический контроль за состоянием технологического процесса и своевременно выявлять его разладку.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ СТРУКТУРА И МОРФОЛОГИЯ ПОКРЫТИЙ ПОЛИЭТИЛЕНА, ОСАЖДЕННЫХ ИЗ АКТИВНОЙ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ

А.А. Рогачёв, М.А. Ярмоленко, Лю Чжубо

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь

Основной целью работы является изучение молекулярной структуры и морфологии композиционных покрытий на основе полиэтилена, металлов, реакционно-активных низкомолекулярных соединений, формируемых электронно-лучевым и термическим диспергированием исходных полимеров в вакууме, оценка влияния природы соединений, термообработки на особенности протекания процессов вторичной полимеризации и структурообразования.

Экспериментально установлены молекулярные и морфологические особенности тонких композиционных металл-полимерных покрытий на основе полиэтилена, формируемых из активной газовой фазы, закономерности влияния на них условий и режимов термообработки. Показано, что введение металлов вызывает снижение кристалличности формируемого полиэтиленового композиционного покрытия, изменяет соотношения ненасыщенных двойных связей в его молекулярной структуре. Определено влияние природы металлических наночастиц на процессы формирования молекулярной структуры и морфологию частиц. Наиболее значительные структурные изменения полимерной матрицы протекают при введении атомов хрома (в сравнении с никелем и свинцом), что может быть объяснено взаимодействием металла с молекулярными фрагментами полиэтилена. После отжига в вакууме в металл-полиэтиленовых покрытиях установлено образование слоистой структуры.

Определены также особенности молекулярной структуры и морфологии композиционных покрытий полиэтилена, содержащих различные функциональные добавки: хлорид алюминия; перекись бензоила; гидрохинон; хинон; дифениламин, осаждаемых из летучих продуктов электронно-лучевого и термического диспергирования. Показано, что при электронно-лучевом диспергировании покрытия имеют более высокую транс-виниленовую ненасыщенность и больший размер надмолекулярных образований в сравнении с покрытиями, сформированными термическим диспергированием. На основании результатов анализа влияния природы наполнителя на молекулярную структуру формирующихся методом электронно-лучевого диспергирования композиционных слоев сделано предположение о влиянии на вторичную полимеризацию на ряду с свободнорадикальными и ионно-молекулярных процессов. При резистивном диспергировании полученные результаты находят объяснения при проявлении свободнорадикальных реакций как основных при образовании молекулярной структуры и морфологии.

ВКЛАД НАНОРАЗМЕРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ШУНГИТОВОГО НАПОЛНИТЕЛЯ В ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Н.Н. Рожкова, С.С. Рожков

Институт геологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия

Углеродные наполнители широко используются при создании композиционных материалов, работающих в условиях агрессивных сред и высоких температур. Применение гибридного шунгитового наполнителя (ШН), основными компонентами которого являются наноразмерный углерод и кремнезем, позволяет расширить спектр используемых полимерных матриц и области применения углеродных наполнителей. В качестве примера новых свойств, полученных с введением ШН можно привести повышение износостойкости в

условиях изменяющегося увлажнения в зоне трения для композиций на основе высокомолекулярного полиэтилена или увеличение стойкости резин к действию циклических нагрузок.

Однако использование ШН в многофункциональных полимерных композиционных материалах осложняется из-за изменения физико-химических свойств наполнителя в зависимости от способа подготовки и условий его хранения. Причина нестабильности свойств ШН связана с многоуровневой структурной организацией нанокристаллов углерода и со склонностью углеродных наночастиц к самопроизвольной агрегации. Под действием пара, озона и воды наблюдается значительное изменение пористости и удельной поверхности шунгитового углерода, что позволило определить структурные уровни и выделить минимальные структурные элементы нанокристаллов углерода, а также разработать способ получения нового наполнителя НШН со стабильными свойствами.

В работе обсуждаются результаты исследования структуры и физико-механических свойств композиций на основе полипропилена с новым наполнителем НШН. Хорошая адгезия НШН к полипропилену подтверждается сохранением предела прочности и текучести до 30 об.% наполнения. Сравнительное исследование свойств композиций с ШН показало значительное увеличение относительного удлинения, при наполнении 5 об.% с 20% для ШН до 445% для НШН. Анализ АСМ-рельефа поверхности композиций позволяет сделать вывод об увеличении структурной однородности композиции с НШН, наблюдается уменьшение среднего размера сферолитов до 300—500 нм.

Работа поддержана грантом ОНЗ РАН-5 и Минэкономразвития РК.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ACUSL: МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СЛОИСТЫХ АКУСТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Н.Б. Ростанина, Н.А. Кушунина

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

Обеспечение акустического комфорта в кабинах транспортных средств может быть достигнуто применением слоистых звукопоглощающих элементов интерьера и звукоизолирующих конструкций. Например, звукопоглощающие элементы содержат как волокнистые, либо ячеистые слои, так и несущие, или декоративные, или защитные покрытия.

Интегральные акустические характеристики слоистой конструкции — коэффициент звукопоглощения и показатель звукоизоляции — зависят не только от толщины и акустических характеристик каждого слоя, но и от расположения слоев в пакете. Экспериментальное определение акустических свойств слоистых материалов с достаточной степенью надежности процесс довольно трудоемкий, а нелинейность влияния каждого фактора исключает эмпирический прогноз этих характеристик.

Программный комплекс ACUSL предназначен для моделирования структуры слоистых материалов и конструкций, расчета их акустических характеристик — коэффициентов звукопоглощения и показателей звукоизоляции при нормальном и косом падении звуковой волны, а также в диффузном звуке. Комплекс реализован для расчетов в диапазоне промышленных частот 500—2000 Гц.

Графическое представление полученных результатов вычислений облегчает сравнительный анализ акустических свойств слоистых материалов, содержащих слои разных волокнисто-пористых материалов. Набор слоев задается вместе с толщиной каждого слоя в исходных данных и выводится в графическом окне. Акустические свойства каждого слоя заданы в базе данных и выбираются автоматически при выборе материала слоя. В качестве входного параметра задается угол отклонения звуковой волны от нормали к поверхности в градусах или признак диффузного звука. Он также выводится в графическом окне, как продолжение названия оси ординат.

Пользователь без специальной подготовки может моделировать структуру слоистого шумопоглощающего композита из материалов, имеющихся в базе данных, и находить коэффициенты звукопоглощения и показатели звукоизоляции композитов при нормальном, косом и диффузном звуке. Интерактивные графические элементы интерфейса позволяют выбрать материалы, задать толщину каждого слоя, порядок размещения слоев, визуализировать и сохранять численные и графические результаты вычислений, проводить параллельные расчеты для разных композитов, а также пополнять базу данных новыми материалами.

ОЦЕНКА УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ СТАЛИ 30ХГСА ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ С УЛЬТРАТОНКОЙ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ФАЗОЙ

М.Н. Рошин¹, В.В. Алисин², А.А. Владиславлев², И.М. Петрова²

¹ООО «Энергооптима», Москва, Россия

²Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия.

Возрастающие требования к надежности современных сложных технических изделий обуславливают острую потребность в новых материалах, сочетающих высокую износостойкость и прочность в широком интервале условий эксплуатации, в том числе при динамическом нагружении. Решение этой актуальной проблемы приводит к необходимости разработки и производства сложных композиционных материалов, сочетающих широкий набор требуемых свойств. Хорошую перспективу для этого открывает нанесение на обычные конструкционные материалы покрытий, в состав которых входят износостойкие, жаростойкие, коррозионностойкие и другие компоненты, используемые в зависимости от эксплуатационных требований. Перспективным методом повышения износостойкости, задиростойкости и антифрикционности является лазерная наплавка порошковых покрытий на основе Ni–Cr с ультратонкой керамической упрочняющей фазой Al₂O₃.

Технология получения износостойких металлокерамических покрытий включает плазменное газотермическое напыление порошкового материала с последующим лазерным оплавлением покрытия с учетом зависимости теплофизических параметров от температуры. Для предварительного нанесения порошковых композиций использовался оптимизированный процесс плазменного напыления, когда при нанесении поверхность частиц порошкового материала матрицы подвергается диффузионному насыщению углеродом за счет применения C₂H₂ для транспортировки порошкового материала. Для увеличения прочностных характеристик металлокерамических покрытий образцы предварительно нагревались до 400 °С. Оплавление покрытий проводилось на лазерном (CO₂) технологическом комплексе ЛТК-01. Покрытия были нанесены на образцы, изготовленные из стали 30ХГСА, прошедшие термообработку.

Определены характеристики сопротивления усталости образцов стали 30ХГСА с наплавленным лазером износостойким порошковым покрытием на основе системы Ni–Cr–B–Si, и образцов, подвергнутых твердому электролитическому хромированию. По совокупному критерию износостойкости, задиростойкости и антифрикционности разработанное покрытие и технология его нанесения значительно эффективнее твердого электролитического хромирования, а по экономическим показателям в условиях серийного производства и по экологии процесса существенно лучше и имеет перспективы применения для повышения ресурса работы и надежности исполнительных механизмов гидросистем различного назначения. Положительный эффект применений этого покрытия подтверждается испытаниями натуральных деталей-осей шарниров, проведенные на стенде СТ-01-А по штатной программе при долговечности $0,72 \cdot 10^5$ циклов и нагрузке 40 МПа. После испы-

таний дефектов в деталях не обнаружено, что подтверждает предположение об эффективности лазерной наплавки покрытий из порошка ПГ-ЮН-01.

ТЕРМОКИНЕТИЧЕСКАЯ ЭДС В НИКЕЛИДЕ ТИТАНА

В.В. Рубаник, В.В. Рубаник мл., О.А. Буркина

Институт технической акустики НАН Беларуси, Витебск, Беларусь

Обнаруженный в начале прошлого века Бенедиксом эффект возникновения ЭДС в однородном изотропном материале привлекает внимание исследователей и сегодня. Это связано с возможностью использования термоэлектрических преобразователей такого типа для микроминиатюризации. Суть этого явления заключается в возникновении потенциала между двумя точками образца, находящимися при одинаковой температуре, но отделенных двумя различными и противоположно направленными температурными градиентами. Величина этого эффекта (порядка 7 мкВ) гораздо меньше, чем эффекта Томсона, в котором потенциал развит между двумя точками, поддерживаемыми при разных температурах.

Большая часть экспериментальных работ, связанных с исследованием эффекта Бенедикса, проводилась в условиях стационарного нагрева проводника и создания больших градиентов температуры за счет специальной формы образца. Однако, к проявлению эффекта Бенедикса можно также отнести явление возникновения ЭДС в вольфрамовой пленке или железной проволоке при нестационарном нагревании проводника, т.е. при движении его зоны нагрева, за счет которого и создаются температурные градиенты. Величина термокинетической ЭДС зависит от скорости движения, при этом ее знак определяется направлением движения. Исследованию проявления такой термокинетической ЭДС в сплаве титана и никеля и посвящена данная работа.

Исследования проводили на образцах из никелида титана. Интерес к этому интерметаллическому соединению обусловлен его уникальными свойствами и, прежде всего, проявлением эффекта памяти формы. Температуру на поверхности образца контролировали тепловизором с точностью $\pm 2^\circ\text{C}$. Нагрев осуществляли до 170°C , что выше температуры окончания обратного фазового перехода в материале из мартенсита в аустенит ($A_k = 87^\circ\text{C}$). Градиент температур в образце составлял от $1 \cdot 10^4$ до $3 \cdot 10^4$ $^\circ\text{C}/\text{м}$. Установлено, что движение зоны нагрева в образцах никелида титана вызывает возникновение постоянной по величине и направлению электродвижущей силы. Значения термокинетической ЭДС, измеренные цифровым милливольтметром, составили порядка 0,2 мВ. Причиной возникновения ЭДС, возможно, является наличие контактной разности потенциалов между нагретым и ненагретыми участками TiNi, находящимися в разных фазовых состояниях.

БИОДЕГРАДИРУЕМЫЙ ПОЛИМЕР ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИТОВ

А.А. Рыбаков¹, Т.В. Пырх¹, Л.А. Щербина², Ю.М. Можейко¹

¹ОАО «Могилевхимволокно», Могилев, Беларусь

²Могилевский государственный университет продовольствия, Могилев, Беларусь

Полимерные композиционные материалы, получаемые с использованием углеводородного сырья, приобрели важнейшее значение в различных сферах человеческой деятельности. Широкое использование для этого нефти и газа приводит к их нерациональному использованию, а биостабильность получаемых при этом синтетических полимерных материалов является одной из причин загрязнения окружающей среды.

Ключом к комплексному решению этих проблем может явиться создание и применение при производстве композитов биодеструктурируемых полимерных материалов, произ-

водимых из альтернативных источников сырья. Примером может быть организация производства полимеров на основе молочной кислоты (МК) — полилактидов (PLA) — и изделий из них. Сырьем для производства МК может служить биовозобновляемое углеводного сырья, являющееся отходами сельскохозяйственного производства.

PLA имеют перспективу применения: в композитах для изготовления кузовных деталей и интерьеров транспортных средств, в композитах медицинского назначения, при производстве спанбонда и геотекстиля, для производства тары и упаковочных материалов пищевого и технического назначения.

Мировым лидером в производстве PLA является фирма Cargill Dow, однако детали разработанного технологического процесса не разглашаются. Количество потребляемой энергии при производстве PLA на 40% меньше, чем при производстве полиэтилентерефталата. PLA легко подвержен рециклингу, что делает его почти безотходным.

С целью реализации задачи по созданию отечественных технологических процессов получения экологически безопасных биодеструктурируемых полимерных материалов на ОАО «Могилевхимволокно» совместно с УО «МГУП» ведутся работы по изучению синтеза полимеров на основе МК, а также формирования изделий на их основе. Для этого специально разработаны экспериментальные стендовые установки и отработан технологический режим, позволяющий получать кристаллизующийся полимер, имеющий (в зависимости молекулярной массы) температуру стеклования около $50\div 60$ °С и температуру плавления около $160\div 170$ °С.

Проводится дальнейшее уточнение технологических параметров синтеза PLA с целью модификации его физико-химических и технологических свойств.

ВЛИЯНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ ПОРОШКОВОЙ СИСТЕМЫ МЕДЬ–ПТФЭ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КОМПОЗИТА

Т.В. Рябченко, В.А. Ковтун

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

При разработке новых композиционных материалов одной из главных задач является обеспечение их высоких характеристик с учётом заданных условий эксплуатации. Одним из важных аспектов является установление уровня возникающих напряжений в порошковой композиции в процессе формирования его структуры. Для решения таких задач и установления закономерностей изменения напряженного состояния порошковых бинарных систем, к которым относятся медь–ПТФЭ, весьма эффективно применение подходов физической мезомеханики и метода конечных элементов.

Разработаны структурные модели двухкомпонентной системы медь–ПТФЭ с разным размером частиц полимерного наполнителя, имитирующие процесс прессования порошковой системы при воздействии нагрузки. Анализ полученных результатов исследований позволил установить, что при использовании полимерного наполнителя с размером частиц 200 мкм в них формируется однородное напряженное состояние, а значения напряжений внутри частиц ПТФЭ не превышают 41,8 МПа. В случае содержания разноразмерных частиц ПТФЭ с размером от 50 до 200 мкм максимальные напряжения возрастают до 61,2 МПа. Показано, что на границах раздела полимерных частиц и медной матрицы наблюдаются поля напряжений с большими градиентами, а значения максимальных напряжений составляют 369,9 МПа при содержании в медной матрице частиц ПТФЭ с размером 200 мкм и 550,3 МПа при использовании полимерного разноразмерного наполнителя с размером частиц от 50 до 200 мкм. В металлополимерном композите, включающем частицы ПТФЭ размером 50 мкм, в направлении действия распределенной сжимающей нагрузки эквивалентные напряжения, возникающие в медной матрице между поли-

мерными частицами, минимальны и составляют $43,2 \div 55,4$ МПа. В то же время в горизонтальном сечении уровень напряжений значительно выше, а их значения составляют от 163,9 МПа до 218,1 МПа. При этом максимальное значение касательных напряжений на границе раздела составляет 112,2 МПа.

Таким образом, увеличение размера полимерных частиц от 50 мкм до 200 мкм приводит к уменьшению величины как эквивалентных, так и касательных напряжений в металлополимерном порошковом композите. Установлено, что для уменьшения уровня напряжений, возникающих в материале, необходимо использовать дисперсный полимерный наполнитель с размером частиц $100 \div 160$ мкм.

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СПОСОБА ВВЕДЕНИЯ НАПОЛНИТЕЛЯ В ТРУБНЫЙ ПОЛИЭТИЛЕН МАРКИ ПЭ80Б

М.Е. Саввинова, Е.С. Семенова, С.В. Соловьева

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия

В работе исследованы нанокомпозиты на основе ПЭ80Б и шпинели магния. Выбран и обоснован метод введения нанодобавки в полимерную матрицу, обеспечивающий получение композитов со стабильными свойствами.

Основное внимание при разработке технологии переработки нанокомпозитов на полиэтиленовой основе уделялось равномерности распределения наполнителя в полимерной матрице. В качестве критерия равномерности принималась стабильность прочностных характеристик композитов при растяжении.

Для введения нанонаполнителя в полимерную матрицу были использованы следующие технологические приемы:

Способ 1: Экструдирование смеси полиэтиленовых гранул и наполнителя, полученной с использованием мельницы ОПА-1 (смеситель типа «пьяная бочка»);

Способ 2: Предварительное измельчение гранул ПЭ, смешение в мельнице ОПА-1, экструдирование полученной смеси;

Способ 3: Смешение полиэтиленовых гранул и добавки в пластикордере с последующим измельчением (перегрануляция), экструдирование полученных гранул.

Основным объектом исследования влияния способа введения добавки на стабильность физико-механических свойств полученных материалов являлся композит на основе ПЭ80Б, содержащий 1 мас.% шпинели магния. Образцы немодифицированного полиэтилена получали экструдированием гранул ПЭ80Б. Прочностные характеристики ПЭ80Б стабильны и высоки. Значения максимальной прочности композитов, полученных с использованием способа введения № 1, имеют большой разброс, однако модуль упругости и относительное удлинение при разрыве имеют стабильные значения. Технологический способ № 2 позволяет получить композиты со стабильными значениями максимальной прочности и относительно стабильными значениями модуля упругости и относительного удлинения. Прочностные характеристики композитов, полученных при использовании способов 1 и 2 ниже характеристик исходного ПЭ80Б. Таким образом, установлено, что наиболее приемлемым способом введения нанодобавки в полимерную матрицу является использования приема перегрануляции. Данный прием обеспечивает получение композитов со стабильными свойствами за счет равномерного распределения наполнителя и создает предпосылки для создания нанокомпозитов трубного назначения с улучшенными физико-механическими свойствами.

МЕТОДИКА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА В ЩЕЛЕВЫХ УПЛОТНЕНИЯХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

В.П. Селькин¹, С.В. Сосновский²

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²ОАО «Гомельтранснефть Дружба», Гомель, Беларусь

В магистральном транспорте нефти доля выплат за потребляемую электроэнергию превышает 30% суммарных эксплуатационных расходов. При этом существенная доля энергетических затрат обусловлена снижением КПД магистральных насосов в процессе их эксплуатации. Основной причиной данного снижения является рост объемных потерь в насосах, вызванный износом щелевых уплотнений из-за интенсивного воздействия потока жидкости и попадания в зазор содержащихся в сырой нефти механических частиц (прежде всего песка). Необходимость принятия эффективных мер по ограничению падения КПД насосов ставит задачу разработки методик и оборудования, позволяющих исследовать процессы изнашивания щелевых уплотнений в условиях максимально приближенных к эксплуатационным.

Нами разработаны оригинальная методика проведения испытаний на абразивную стойкость материалов деталей щелевых уплотнений центробежных насосов. Методика основана на использовании известной схемы трения: вращающийся вал (ролик) — неподвижный частичный вкладыш. Однако контактная поверхность вкладыша находится от поверхности ролика на некотором регулируемом расстоянии (щелевой зазор по линии наибольшего сближения поверхностей от 0,05 до 1,0 мм). В зазор подаются в определенном соотношении поток жидкости (вода, нефть) и абразивные частицы (песок заданного фракционного состава). За счет вращения ролика происходит затягивание частиц в щелевой зазор и, как следствие, абразивное изнашивание материалов противолежащих поверхностей. На базе машины трения СМТ-1 в ИММС НАН Беларуси изготовлена установка для проведения испытаний по предлагаемой схеме. Методика и оборудование прошли практическую апробацию при выполнении работ по созданию защитных покрытий деталей щелевых уплотнений центробежных насосов, используемых при транспортировке нефти и добыче воды из глубинных скважин (заказчики соответственно — ОАО «Гомельтранснефть Дружба» и Научно-технический центр им. Короля Абдулазиза, Саудовская Аравия).

О МЕТОДИКЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ПЛОЩАДИ УПРУГОГО КОНТАКТА ШЕРОХОВАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Д.А. Сергеев, Д.О. Чернов, В.В. Мешков

Тверской государственной технической университет», Тверь, Россия

Оценка площади статического и динамического контакта тел является важным этапом при моделировании фрикционного взаимодействия тел и расчете в процессе создания узлов трения летательных аппаратов, наземных транспортных средств, технологического оборудования.

В инженерных методах расчета площади контакта существуют недостатки, связанные с использованием, как правило, одного параметра шероховатости, что приводит к существенным отклонениям результатов от реальных значений и необходимости использования сложной функции поверхности, что требует значительного числа экспериментальных данных.

Целью работы является устранение этих недостатков. Принята гипотеза о том, что часть или всю поверхность можно представить в виде кусочно-монотонной функции двух переменных. Предполагается, что шероховатые тела контактируют не по всей поверхно-

сти, а только в отдельных точках, которые принадлежат площадкам контакта, поверхность которых можно описать конечной функцией. Моделируя процесс упругого контакта шероховатого и абсолютно гладкого тела, можно установить зависимость величины относительной площади контакта от изменения давления, в том числе во времени. Процесс образования площади контакта двух шероховатых поверхностей можно рассматривать как два отдельных процесса взаимодействия каждой из поверхностей с абсолютно гладкой поверхностью.

Предложенная методика позволяет производить расчеты площади упругого контакта и учитывать влияние геометрических параметров каждой шероховатой поверхности независимо. Это, в свою очередь, позволяет для получения экспериментальных данных использовать атомно-силовую микроскопию, в частности, методику латеральных сил для расчета коэффициента трения на микро- и субмикроразмерном уровне.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПОДХОДЫ К УЛУЧШЕНИЮ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФРИКЦИОННЫХ УЗЛОВ МАШИН

В.П. Сергиенко¹, С.Н. Бухаров¹, В.В. Жук², А.В. Жерновский²

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²Производственное объединение "Минский тракторный завод", Минск, Беларусь

Повышенная виброакустическая активность узлов трения существенно ухудшает надёжность и долговечность машин и, в дополнение к заметному снижению их субъективной оценки потребителями, выступает одним из критериев качества машины в целом. Перспективным направлением в решении данной проблемы является разработка материалов, обеспечивающих снижение вибрации и шума, генерируемых при трении. Имеющиеся научные данные показывают, что такой подход уже на стадии проектирования позволяет осуществлять выбор материалов пары трения и, тем самым, влиять на виброакустическую активность трибосопряжений.

В настоящей работе представлены результаты исследований влияния состава и структуры фрикционных материалов, используемых в конструкциях тормозов и трансмиссий машин, на их динамические механические характеристики и виброакустическую активность при работе в реальных узлах трения. Динамические характеристики материалов, в качестве которых выбрали коэффициент механических потерь и динамический модуль упругости, изучали методами резонансного и нерезонансного динамического механического анализа. Измерения вибрации и шума в узлах трения проводили методами лазерной доплеровской виброметрии и акустической интенсивиметрии. Оригинальные методики виброакустических измерений и анализа данных позволили проводить испытания фрикционных узлов, не прибегая к использованию специальных акустически адаптированных камер.

В результате исследований получены новые научные данные о влиянии типа полимерной матрицы, степени отверждения связующего, пластификаторов матричной фазы, ориентации и геометрии волокнистых наполнителей на виброакустические характеристики фрикционных композитов. Установлено, что демпфирующая способность полимерных фрикционных материалов может целенаправленно варьироваться в широких пределах в зависимости от их состава и структуры с учетом температурно-силовых режимов эксплуатации узла трения.

На основе проведенных исследований сформулирован новый подход к оптимизации структуры и состава полимерных композиционных фрикционных материалов по виброакустическим характеристикам.

МЕХАНОХИМИЧЕСКАЯ ПОВЕРХНОСТНАЯ АКТИВАЦИЯ ШИННОЙ РЕЗИНЫ И ПОЛУЧЕНИЕ РЕЗИНОПЛАСТОВ

Е.Н. Сирьк, В.П. Бойко, В.Д. Мышак, Е.В. Лебедев, А.И. Буря

Институт химии высокомолекулярных соединений НАН Украины, Киев, Украина

Использование полимерных и эластомерных отходов, количество которых с каждым годом растёт, является актуальной и не достаточно решенной проблемой. До 80% отходов резиновых изделий составляют отработанные автомобильные шины, которые создают значительные проблемы в экологическом аспекте.

Целью данной работы является механохимическая активация резиновой крошки (РК) и получение на ее основе композиционных материалов. Обработку поверхности РК проводили путем ее активации в шаровой мельнице. Механоактивацию проводили при различных условиях: в воздухе, в азоте; в воздухе с добавлением 3, 6, 12% гидроперита (комплекса перекиси водорода с мочевиной). При окислении резины на ее поверхности появляются кислородсодержащие группы: карбоксильные, альдегидные, сложные эфирные, гидроксильные, наличие которых определяли методом ИК-спектроскопии. Содержание гидроксильных групп в резиновой крошке определяли ацелированием.

При механохимической активации РК гидроперитом на поверхности крошки образуется определенное количество кислородсодержащих групп, которые оказывают влияние на структуру и свойства резинопластов, а также могут быть использованы в процессе компатибилизации и формирования полимерных композитов.

С использованием вторичного полиэтилена (ВПЭ) и механоактивированной РК были получены композиционные материалы и проведены физико-механические испытания данных резинопластов. Полученные результаты говорят о том, что механохимическая активация поверхности РК приводит к некоторому снижению прочности и повышению относительного удлинения при разрыве, по сравнению с композиционными материалами с немодифицированной резиновой крошкой.

СВОЙСТВА И СТРУКТУРА ПОЛИМЕРСИЛИКАТНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПТФЭ

С.А. Слепцова, Е.С. Афанасьева, Ю.В. Кириллина, Ф.Д. Васильева

Северо-Восточный федеральный университет, Якутск, Россия

Исследованы физико-механические, триботехнические свойства и структура ПТФЭ, модифицированного слоистыми силикатами (серпентинит, вермикулит, бентонит). Физико-механические свойства определяли на разрывной машине «UTS-2» (ГОСТ-11262–80), триботехнические характеристики — на машине трения СМЦ-2 по схеме трения «вал-втулка» по ГОСТ 11629–75. Структурные исследования композитов проведены на растровом электронном микроскопе JSM-5400 LV «JEOL» при увеличении до 8000 раз (электропроводная бесструктурная пленка толщиной 100 нм создана вакуумным напылением золотом) и методом рентгеноспектрального анализа на дифрактометре URD-6 (Германия) с излучением $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda=1,5418 \text{ \AA}$).

Отмечается значительное повышение триботехнических характеристик ПТФЭ: повышение износостойкости до 2000 раз при введении от 5 до 10 мас. % слоистых силикатов. Показано влияние обменных катионов межслоистого пространства кристаллических решеток силикатов на значение триботехнических показателей композитов: износостойкость композитов, модифицированных силикатами с удаленными обменными катионами, снижается до 2 раз, коэффициент трения повышается до 1,5 раз по сравнению с показателями композитов, содержащих исходные силикаты.

Электронные микрофотографии структуры поверхностей трения композитов, полученные методом РЭМ, свидетельствуют об обогащении поверхностей трения полимерной матрицы частицами наполнителя, способствующего формированию слоя, предохраняющего от истирания поверхность материала.

Анализ изменений интенсивности и формы пиков на рентгенодифрактограммах, соответствующих исходным компонентам и композитам, выявил отсутствие на дифрактограммах композитов базальных рефлексов, отвечающих слоевой периодичности силикатов. Этот факт свидетельствует о значительном удалении слоев друг от друга или об их эксфолиации в полимере. Появление новых пиков, не соответствующих характерным пикам силиката и ПТФЭ, очевидно, может свидетельствовать о формировании новой полимерыликатной структуры.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, проект 09-03-98504-р_восток_a

НЕОБХОДИМОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛА ТЕКУЧЕСТИ ФТОРОПЛАСТА-4

Г.П. Соболев¹, А.Н. Ильин²

¹ОАО МИТО, Кирово-Чепецк, Россия,

²«Галоген», Пермь, Россия,

Любая конструкция из Ф-4 должна работать в пределах упругой деформации. Для этого надо знать величину предела текучести σ_T и модуль упругости.

Футеровку узлов трубопроводов и химических аппаратов из Ф-4 размещают в броне с зазором и она вынуждена расширяться под действием давления рабочей среды. По правилам Ростехнадзора в указанных узлах, используемых на опасных производственных объектах, напряжения в материале деталей не должны превышать 90% от σ_T . У Д.Д.Чегодаева и др., 3 «Фторопласты» (1960) приведена формула для расчета предела текучести Ф-4 σ_T при растяжении в зависимости от температуры T: $\lg \sigma_T = 0,53166 + 483,64/T$ кг/см².

На приведённом в этой же книге рисунке хорошо видно, что предел текучести тем ниже, чем выше предел прочности образцов. Ограничение в ГОСТ 10007–80 по нижнему уровню предела прочности при растяжении заставляет изготовителя изделий закладывать в материал заведомо низкое значение величины σ_T . По существу перекрываются пути для реализации потенциальных возможностей очень ценного для техники материала.

В указанной книге показана возможность существования при одной и той же температуре одновременно нескольких значений предела текучести при растяжении образцов из Ф-4. По данным авторов это зависит от скорости охлаждения спекаемых образцов. Величина σ_T выпускаемых заготовок из Ф-4 зависит от большого количества факторов, в том числе технологического характера.

При испытании образцов на сжатие в Вятском государственном университете под руководством к.т.н. Фомина С.В. было установлено, что при определённых условиях у образцов из Ф-4 обнаруживается наличие σ_T и при сжатии. Но в ГОСТ 10007–80 не заложен показатель σ_T при растяжении и сжатии.

Предел прочности при растяжении и относительное удлинение при разрыве издавна используют для оценки качества полимеров во всем мире. Однако, эти показатели говорят лишь, при каких условиях наступит разрушение конструкции. Конструкторам же важно знать, до какой степени можно нагружать конструкцию, чтобы она работала в пределах упругой деформации с коэффициентом запаса по σ_T . Можно найти разные пути существенного повышения σ_T для Ф-4. Это к настоящему времени мало изученная область. Предлагается дополнительно определять σ_T и модуль упругости при растяжении и сжатии на стандартных образцах и ввести это в ГОСТ 10007–80, который рекомендуется пересмотреть. На величину каждого из показателей, определяемых по стандарту, предлагается

установить не одностороннее ограничение, а указать поле допуска с чёткими границами, особенно для предела прочности при разрыве и плотности материала.

О НАДМОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЕ ФТОРПОЛИМЕРОВ

Г.П. Соболев¹, А.Н. Ильин²

¹ОАО МИТО, Кирово-Чепецк, Россия,

²«Галоген», Пермь, Россия,

Роль надмолекулярной структуры (НМС) фторопластов детально описана в литературе. Высокий уровень свойств имеют образцы с высокой плотностью и однородностью структуры материала. Наблюдаемые дефекты в структуре являются концентраторами напряжений, рыхлостями упаковки, неоднородностями с анизотропными свойствами. От этого зависит уровень требуемых свойств у изделий.

При изучении электронных микроскопических фотографий можно *качественно* оценить свойства НМС материала: однородность его структуры, регулярность повторяющихся структурных элементов, их различия по размерам и форме, наличие резких изменений в характере структуры и явных дефектов. Можно сравнить характер, величину и форму структурных элементов материала у частиц исходного порошка и у готовых изделий, полученных разными способами по различным технологическим режимам изготовления, найти их сходства и различия. В некоторых случаях можно отследить переходные состояния в структуре. Так на примере плёнок из Ф-4 была установлена зависимость между режимами термообработки и степенью слияния частиц исходного порошка по границам их спекания. Сравнивая степень однородности структуры и показатель какого-либо измеряемого свойства образцов, можно дать достаточно точную *количественную* оценку степени совершенства или дефектности структуры материала, составить прогноз, что будет, если структуру «подкорректировать», а потом оценить результат. Можно отследить тенденцию в изменении величины интересующего свойства при изменении характера и вида структурного состояния материала. Так были найдены условия получения более плотной в отношении газопроницаемости структуры материала. Это относится и к электропроводности, механическим и другим свойствам. Недостаток использования фотографий структуры состоит в необходимости разрушения исследуемого образца. Это может исказить реальную структуру. Нельзя отследить роль различных воздействий на тот же образец для модификации структуры. Это чревато некоторой недостоверностью сделанных выводов.

Изменить плотность НМС материала изделия можно разными способами. Сюда можно отнести подбор условий синтеза: влияние типа инициатора и соотношения инициатор/тетрафторэтилен на температуру и давление полимеризации, наличие значительного количества частиц порошка большой крупности, наличие включений и неоднородностей в структуре частиц порошка. Чрезвычайно важным показателем, характеризующим структуру и свойства получаемого фторопласта, является количество частиц полимера, образующихся в течение первых 10 мин от начала процесса полимеризации. Оптимальное значение этого показателя и небольшой разброс в его величине от процесса к процессу обеспечивают оптимальную плотность НМС и её воспроизводимость от процесса к процессу.

Среди других факторов, влияющих на плотность НМС следует назвать дополнительное измельчение порошка, изменение способа и режимов прессования и спекания заготовок, применение механического воздействия для изменения плотности материала растяжением или прокаткой заготовок между валками. Степень воздействия каждого способа специфична.

В настоящее время разработаны неразрушающие методы исследования структуры материала для биологических объектов и полимерных материалов путём сканирования структуры по глубине от поверхности образца. Это так называемая "акустическая томо-

графия". Разработчики акустического микроскопа считают, что конструкция микроскопа и методика сканирования структуры могут быть доработаны и для фторопластов. Работа сдерживается из-за отсутствия источника финансирования.

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПЛЕНОК ЛЕНГМЮРА–БЛОДЖЕТТ ИЗ МЕЛИССИНОВОЙ КИСЛОТЫ

А.Е. Соломянский¹, Г.К. Жавнерко¹, В.Е. Агабеков¹, С.А. Филатов²

¹Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь

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

Изучены триботехнические характеристики монослоев Ленгмюра–Блоджетт (ЛБ) сформированных на кремниевой поверхности методом горизонтального осаждения при поверхностном давлении 30 мН/м из меллисиновой кислоты (МК) с введенными в структуру мономолекулярной пленки частицами дисульфида молибдена. Стабильность композиционных покрытий в процессах трения сопоставлена с износоустойчивостью монослоя МК и хемосорбированной пленки октадецилтрихлорсилана (ОТС). Монослои ЛБ формировали. Хемосорбированную пленку формировали методом самоорганизации вещества на поверхности кремниевых подложек из раствора ОТС в гексане. Наличие частиц MoS₂ в структуре мономолекулярного слоя МК подтверждено методом сканирующей электронной микроскопии (Supra 55, Carl Zeiss, Германия). Триботехнические испытания пары трения сталь (сфера) — кремний (плоскость) проводили на микротрибометре возвратно-поступательного типа (ИММС НАН Беларуси). Установлено, что износоустойчивость монослоя ОТС ниже, чем у пленок ЛБ. Разница в износоустойчивости между ОТС и пленками ЛБ может быть объяснена частичным обратимым переносом части слоя между трущимися поверхностями. Данный эффект наиболее выражен для композиционной пленки МК с частицами дисульфида молибдена. В MoS₂ каждый атом молибдена находится в центре тригональной призмы и окружён шестью атомами серы. Тригональная призма ориентирована так, что в кристалле атомы Мо находятся между двумя слоями атомов серы. Из-за слабых ван-дер-ваальсовых сил взаимодействия между атомами серы данные слои могут легко скользить друг относительно друга, поэтому введение частиц MoS₂ в мономолекулярную пленку МК способствует усилению эффекта «смазки» трущихся поверхностей, вследствие чего происходит увеличение износоустойчивости покрытия. Коэффициент трения по сравнению с немодифицированной кремниевой поверхностью для композиционных слоев ЛБ значительно снижается с 0,15 до 0,06, что возможно также обусловлено эффектом «смазки». Показано, что композиционные пленки меллисиновой кислоты с частицами дисульфида молибдена могут быть использованы в качестве защитных материалов в узлах трения микроэлектромеханических систем соответствующего типа.

ТРИБОФАТИКА — ДЛЯ ТРИБОЛОГИИ

Л.А. Сосновский

Межведомственная лаборатория «ТРИБОФАТИКА», Гомель, Беларусь

Развитие исследований по трибофатике «прошло» первую юбилейную дату: 25 лет (1985—2010). На VI-ом Международном симпозиуме по трибофатике (Минск, октябрь 2010 г.) впервые было обращено внимание на «обратный процесс»: что может (и должна) дать трибофатика классическим разделам механики. Ученые и специалисты разных стран участвовали в работе специальных научных сессий, на которых, в частности, обсуждались вопросы «взаимодействия» с трибофатикой таких классических дисциплин, как механика деформируемого твердого тела, теория упругости, механика контакта, механика повре-

ждений, механика усталостного разрушения, трибология, механика разрушения, теория надежности, прикладная механика, экспериментальная механика и др. В опубликованных трудах симпозиума можно найти соответствующие статьи по этой проблеме.

Тема данного доклада посвящена развитию исследований по трибофатике, которые, по нашему мнению, представляют особый интерес для трибологии. Главное внимание уделено изучению явления фрикционной усталости на примере металл/полимерной системы. Показано, что опираясь на известные исследования по трибофатике и механике усталостного разрушения и учитывая условия работы и основные механизмы повреждаемости можно дать наиболее полное описание фрикционной усталости по главным критериям работоспособности (износостойкость, долговечность, несущая способность). Изложена и обобщена методика расчета на трение и изнашивание, которая позволяет прогнозировать износостойкость практически в любых условиях трения при скольжении.

В докладе кратко обсуждается и еще одна проблема: оценка влияния неконтактной (изгибающей) нагрузки на изменение процессов изнашивания при скольжении. Показано, что, варьируя величину и знак изгибных напряжений, можно эффективно (на 30...40% и более) управлять (повышать либо снижать) износостойкость пары трения.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ И ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА ИЛИ ПОИАНИЛИНА

Л.И. Степанова, Т.И. Бодрых, С.К. Кохонов

НИИ физико-химических проблем Белгосуниверситета, Минск, Беларусь

Интерес к композиционным материалам металл-полимер связан с тем, что они часто обладают новыми свойствами, не присущими индивидуальным компонентам и не являющимися аддитивными. Металлополимерные композиты, как правило, проявляют синергизм свойств исходных компонентов, и отличаются повышенной механической прочностью, коррозионной устойчивостью и целым рядом других полезных свойств. В докладе рассмотрены закономерности процесса соосаждения высокодисперсных (0.3—0.5 мкм) частиц политетрафторэтилена (ПТФЭ) или полианилина (ПА) и никеля при формировании композиционных электрохимических покрытий и исследованы свойства полученных композитов. С прикладной точки зрения привлекательны высокая стабильность обоих полимеров в различных средах и их доступность.

Формирование композиционных покрытий (КП) Ni-полимер проводили из стандартного сульфатного электролита, концентрацию дисперсной фазы (ДФ) в котором варьировали в диапазоне 0,1—5 г/л. Состав КП определяли с помощью эмиссионного спектрального анализа или Оже-электронной спектроскопии. Для определения размерных и морфологических характеристик частиц ДФ и исследования микрорельефа поверхности осажденных покрытий использовали метод электронной микроскопии, фазового состава — метод рентгенографии. Износостойкость КП оценивали по потере массы образца в условиях сухого трения с использованием стандартной машины трения СМТ-1. Микротвердость образцов исследовали с помощью твердомера ПМТ-3.

Установлено, что в исследованном интервале концентрации ДФ инкорпорируется в пленку никеля в количестве от нескольких десятых до 1 масс. % полимера. КП представляют собой кристаллические образования с параметром решетки, практически равным табличному значению для никеля. Включение дисперсных ПА или ПТФЭ в состав КП приводит к снижению размеров областей когерентного рассеяния тем большему, чем выше содержание полимера в электролите (для композитов, осажденных из электролитов с концентрацией 0.15 и 0.3 г/л ПА, размеры ОКР составляют 64.0 и 48.0 нм соответственно, для чистого никеля ОКР равен 65.0 нм), и изменению текстуры сильному в случае полиа-

нилина и более слабо выраженному в случае ПТФЭ. Морфология поверхности КП при инкорпорировании частиц обоих полимеров более мелкозернистая, чем поверхность никеля.

Включение полимерных частиц в матрицу никеля сказывается на свойствах металлических покрытий, причем оптимальными свойствами обладают композиты, сформированные из электролитов с содержанием ДФ 0,1—0,5 г/л. Коррозионная стойкость КП, сформированных из электролита с такой концентрацией ДФ, в 1.2—1.3 раза, а износостойкость в 1.5—1.8 раз превышает стойкость к коррозии и износостойкость никелевого покрытия. Повышение концентрации ДФ до 1—3 г/л несколько ухудшает свойства КП, а при содержании ДФ электролите в количестве 5 г/л формируемые композиционные покрытия по износостойкости даже уступают никелевым покрытиям.

Инкорпорирование небольших количеств ПА в никелевую матрицу сказывается и на микротвердости, значения которой колеблются в пределах 3450—3530 МПа, что выше, чем для пленок никеля (3090 МПа), и обусловлено, по-видимому, более мелкозернистой структурой композита.

ВЛИЯНИЯ ПРИРОДЫ МОДИФИКАТОРОВ НА СВОЙСТВА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИЙ ФЕНИЛОНА

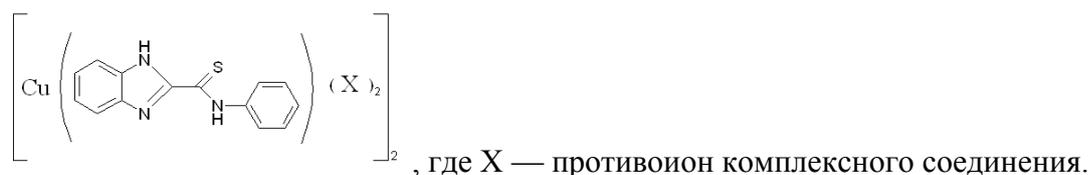
А.В. Стовпник, В.И. Сытар

Украинский государственный химико-технологический университет, Днепропетровск, Украина

Использование полимерных композиций для увеличения ресурса узлов трения современных машин ограничивается их низкой температурной стойкостью, высокими значениями износа, низкими эксплуатационными показателями. В ряду полимерных материалов особое место занимают ароматические полиамиды, и особенно фенилоны обладающие высокими значениями износостойкости. Однако данный тип полимера при применении его в качестве материала узла трения показывает высокие значения коэффициента трения, что в свою очередь влияет на энергетические потери в машинах.

Целью исследований являлось изучить влияние природы противоиона комплексного соединения меди на триботехнические и физико-механические свойства композиций на основе фенилона.

В качестве модификаторов использованы комплексные соединения меди состава



Образцы для узлов трения получены путем создания полимерного покрытия из раствора композиции фенилона в диметилформаиде на пористую газармированную (водородом) бронзу (газар) — субстрат. Применение в качестве субстрата газара позволило обеспечить гарантировано высокую адгезию полимерного покрытия к субстрату.

В работе изучались изменение триботехнических характеристик разработанного узла трения и микротвердости покрытий, согласно стандартных методик.

Проведенные исследования и дальнейшая обработка полученных данных показали эффективность применения модифицирующих добавок на основе комплексных соединений меди состава $\text{Cu}(\text{HL})\text{X}_2$. Полученный эффект модификации усиливается в ряду противоионов комплексных соединений: Br^- , Cl^- , ClO_4^- , F^- на 70%.

Значения микротвердости полимерного покрытия после модификации фенилона возрастает на 35%.

Таким образом, введение в состав фенилона комплексных соединений меди оказывает положительный эффект модификации как на триботехнические характеристики, так и микротвердости, что позволяет провести расширенные структурные, физико-механические исследования полученных узлов трения.

СВОЙСТВА И СТРУКТУРА ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

Т.С. Стручкова, Е.Е. Куличкина

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Амосова, Якутск, Россия

Разработка полимерных наноконкомпозитов для изготовления узлов трения машин и механизмов (подшипники скольжения, сепараторы подшипников качения, лентопротяжные устройства, зубчатые зацепления и др.) позволяет не только заменить металлы и сплавы, но и снизить энергозатраты на их изготовление, повысить надежность и долговечность технических средств при эксплуатации в Северных регионах.

Одним из перспективных способов создания материалов триботехнического назначения является введение дисперсных и нанодисперсных наполнителей, которые повышают износостойкость ПКМ при сохранении деформационно-прочностных свойств.

Объекты исследования: политетрафторэтилен ПТФЭ (фторопласт-4) — промышленный продукт ГОСТ 10007–80, нанопшпнел магния.

В работе исследовано влияние механоактивированной шпинели магния на структуру и свойства композитов на основе ПТФЭ. Для более равномерного распределения наноразмерных частиц наполнителя в полимерной матрице был использован органический растворитель — этанол. Установлено повышение износостойкости материала при сохранении деформационно-прочностных характеристик относительно ненаполненного полимера.

Анализ полученных данных при исследовании нагрузочной способности показал, что введение механоактивированной шпинели магния в полимер в среде этанола положительно влияет на триботехнические характеристики.

Для объяснения подобного изменения свойств была исследована структура полимерных наноконкомпозитов и шпинели магния методами рентгеноструктурного анализа, малоуглового рентгеновского рассеяния (МУРР) и растровой электронной микроскопии. Из полученных экспериментальных данных МУРР от образцов были вычислены значения функций распределений наночастиц в образцах по размерам, а также усредненные значения некоторых интегральных структурных и дисперсных характеристик распределений наночастиц. Модифицирование ПТФЭ нанонаполнителями приводит к некоторому повышению степени кристалличности (α) исходной матрицы. Характер изменения α от содержания наполнителя свидетельствует о сложном характере влияния этого наполнителя на процесс кристаллизации ПТФЭ. Формируется более совершенная надмолекулярная структура, характеризующаяся более мелкими сферолитными образованиями одинаковых геометрических форм и размеров, их равномерным распределением в объеме матрицы.

Работа выполнена при поддержке грантов СВФУ (№ 460-02/11)

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОФОБНЫХ СВОЙСТВ НАНОКОМПОЗИТОВ SiO_2 И $\text{ZrO}_2/\text{SiO}_2$ С АДСОРБИРОВАННЫМ ПОЛИДИМЕТИЛСИЛОКСАНОМ

И.Я. Сулим

Институт химии поверхности им. А.А. Чуйко НАН Украины, Киев, Украина

Модифицирование поверхности нанокремнеземов с целью придания им гидрофобных свойств, как правило, осуществляется с помощью кремнийорганических соединений, в

частности, полидиметилсилоксана (ПДМС). Поскольку эксплуатация модифицированных кремнезёмов связана с высокими температурами, изучение термостойкости гидрофобного покрытия представляет существенный интерес.

Представленная работа посвящена исследованию гидрофобных свойств нанокомпозитов $\text{SiO}_2/\text{ПДМС}$ и $\text{ZrO}_2/\text{SiO}_2/\text{ПДМС}$ методом измерения краевого угла смачивания (θ) водой образцов, прокаленных при разных температурах.

В качестве компонентов исследованных систем использовали кремнийорганические жидкости марки ПМС-1000 и ПМС-20, а также цирконийсодержащие кремнезёмы. Нанокомпозиты $\text{ZrO}_2/\text{SiO}_2$ (5 и 20 мас.%) были получены методом импрегнации с использованием раствора ацетилацетоната циркония в CCl_4 и высокодисперсного кремнезёма. После упаривания растворителя образцы были прокалены в муфельной печи при температуре 550°C на протяжении 1 ч. Адсорбция ПДМС на поверхности SiO_2 и $\text{ZrO}_2/\text{SiO}_2$ проводилась из раствора гексана таким образом, чтобы количество адсорбированного ПДМС составляло 5, 10, 15, 20 и 40 % от общей массы образца.

Установлено, что минимальное содержание ПДМС-20, -1000, необходимое для придания гидрофобных свойств SiO_2 и $\text{ZrO}_2/\text{SiO}_2$, составляет 10 мас. %.

Композит $\text{SiO}_2/\text{ПДМС-20}$ становится гидрофобным при нагревании до температуры 250°C , тогда как в присутствии добавки ZrO_2 (5, 20 мас.%) — температура гидрофобизации уменьшается до 80°C , а термостойкость диметилсилильного покрытия повышается до $450\text{—}550^\circ\text{C}$.

Выявлено, что использование в качестве гидрофобизатора полимера с большей вязкостью (ПДМС-1000) приводит к расширению температурного диапазона образования стойкого гидрофобного покрытия на поверхности SiO_2 и $\text{ZrO}_2/\text{SiO}_2$ от 80 до 450°C .

Увеличение содержания диоксида циркония в нанокомпозитах $\text{ZrO}_2/\text{SiO}_2/\text{ПДМС}$ от 5 до 20 мас. % приводит к уменьшению термостойкости диметилсилильного покрытия на 100°C , с 500 до 400°C .

Автор благодарен за финансовую поддержку работ целевой комплексной программой фундаментальных исследований НАН Украины «Фундаментальные проблемы наноструктурных систем, наноматериалов, нанотехнологий» (проект № 46/11-Н).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКЕ

А.Н. Сутягин

ГОУ ВПО «Рыбинская государственная авиационная технологическая академия им. П.А. Соловьёва,
Рыбинск, Россия

Повышение работоспособности режущего инструмента за счет увеличения периода его стойкости и надежности может осуществляться несколькими способами. Во-первых, путем разработки новых марок инструментальных материалов и совершенствования методов получения традиционных. Например, технология получения наноструктурных твердых сплавов включает синтез нанопорошков заданного фракционного и фазового состава, прессование и спекание. Полученные новыми методами наноструктурные материалы как конструкционного, так и инструментального назначения демонстрируют высокую твердость, прочность, ударную вязкость, износостойкость и т. д.

Во-вторых, повышение работоспособности режущего инструмента достигается за счет применения принципиально новых типов покрытий, в частности, наноструктурированных, которые, уменьшая степень адгезионного слипания инструментального материала с обрабатываемым, существенно изменяет термосиловые характеристики процесса резания, что открывает возможность оптимизации процесса резания с целью повышения производи-

тельности обработки и уменьшения себестоимости операции. В частности, высокоскоростное фрезерование дает ряд существенных технических преимуществ по сравнению с традиционными методами обработки. В первую очередь существенно увеличивается удельный съём материала в единицу времени и, следовательно, производительность и эффективность фрезерования. Высокоскоростной обработке свойственно значительное уменьшение сил резания, что особенно важно при обработке нежестко закрепленных и тонкостенных деталей. Существенно повышается качество фрезерованной поверхности и практически отсутствуют проблемы дробления стружки.

Применение режущего инструмента с наноструктурированными покрытиями позволит выиграть не только в производительности, но и обеспечить при этом требуемые параметры качества поверхностного слоя, что, в свою очередь, позволит получить необходимые эксплуатационные характеристики деталей машин.

ПОЛУЧЕНИЕ ОКРАШЕННЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВОЛОКОН ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЦЕННЫХ БУМАГ

В.Е. Сыцко, Н.В. Кузьменкова

Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации, Гомель, Беларусь

Проблема защиты денег, ценных бумаг и документов от подделки решается с помощью технологических методов. Они включают защиту бумажного полотна, изобразительной или текстовой части полиграфической продукции.

Эффективным способом защиты бумажной основы является введение в ее состав окрашенных, в частности, флюоресцирующих химических волокон. Достоинствами такого решения является простота идентификации бумаг и сложность изготовления подделки, близкой к оригиналу.

Традиционным способом получения окрашенных волокон является добавление дисперсных частиц красителя в расплав полимера, однако не все красители устойчивы к воздействию высоких температур, а полученные одноцветные волокна обладают ограниченной эффективностью с точки зрения защиты документов от подделки.

Известны способы крашения полиэфирных волокон в жидкостной красильной ванне, путем разбрызгивания жидкого красителя на поверхность волокон, а также с использованием заряженного красителя для получения волокон с участками различной окраски.

Новым перспективным способом крашения полимерных волокон является введение красителей в структуру волокна по механизму крейзинга. Волокно подвергают вытяжке в поверхностно-активной жидкой среде, содержащей краситель. Такая технология позволяет получать волокна с устойчивой окраской, отличается высокой производительностью, легко вписывается в стандартный процесс изготовления волокна. Указанный способ, разрабатываемый нами совместно с ИММС НАН Беларуси, имеет широкие возможности для дальнейшего совершенствования и представляется наиболее перспективным для получения защитных волокон.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ ДО И ПОСЛЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С КОМПОЗИЦИОННЫМИ ФРИКЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

А.П. Сычѳв, А.В. Гольцев, А.И. Воропаев

Ростовский государственный университет путей сообщения совместно с ЮИЦ РАН, Ростов-на-Дону, Россия

Известно, что фрикционный контакт металлических тел с полимерными фрикционными материалами вызывает изменение механических свойств поверхностных слоѳв ме-

талла. Например, такой процесс имеет место на поверхности катания колес железнодорожных вагонов при взаимодействии с композиционными тормозными колодками.

Проведены испытания модельных колодок из фрикционного композиционного материала во фрикционном контакте с модельными роликами из колёсной стали на стенде, реализующем схему «вал – частичный вкладыш».

После испытаний из роликов вырезались образцы в направлении, поперечном поверхности трибоконтакта и изготавливались шлифы. С помощью наноиндентирования (Nano-Test 600) определялись следующие характеристики материалов: микротвердость (H), модуль упругости (E), упругое восстановление, контактная жёсткость, индекс пластичности H/E коэффициент сопротивления пластической деформации H^3/E^2 .

Обнаружено, что в приповерхностной области металла, на глубине до 100 мкм, для всех образцов, контактировавших с колодками, наблюдается увеличение микротвёрдости на 100—150 единиц по Бринеллю, по сравнению с образцами до трибоконтакта, тогда как значительного изменения модуля упругости не наблюдается. Значения индекса пластичности после трибоконтакта несколько выше, чем до него, при этом коэффициент сопротивления пластической деформации на поверхности ролика до 2 раз выше после трибоконтакта. Значительного изменения контактной жёсткости и упругого восстановления не обнаружено.

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ТРИБОСОПРЯЖЕНИЯ ПЯТНИК-ПОДПЯТНИК ГРУЗОВОГО ВАГОНА

А.П. Сычёв¹, Ю.В. Кравченко², А.А. Сычёв¹

¹Южный научный центр Российской академии наук, Ростов-на-Дону, Россия

²Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону, Россия

На сети дорог ОАО «РЖД» используется огромный и разнообразный парк грузовых вагонов, которые более 60 лет в СССР, а затем и в странах СНГ оборудовались трёхэлементными тележками модели ЦНИИ-ХЗ, которые практически исчерпали возможности по обеспечению повышения скорости, грузоподъемности и долговечности. Однако, переставить вагоны на новые тележки не просто – только в России замене подлежат около 2 млн тележек старого образца, на Украине их 390 тыс. штук, несколько сотен тысяч в других странах СНГ и Балтии. На замену может уйти не одно десятилетие. Поэтому целесообразно пойти по пути модернизации.

Работа пятникового узла грузового вагона оказывает значительное влияние на ходовые характеристики вагона, влияет на угол набегания, а, следовательно, на подрез гребней колес, расход энергоресурсов на тягу, а также сохранность перевозимых грузов и плавность хода подвижного состава.

Для снижения износов взаимодействующих поверхностей узла пятник-подпятник грузового вагона в настоящее время применяются высокоизносостойкие прокладки из марганцовистой стали. При таком техническом решении износ поверхности литого пятника грузового вагона при контакте с более износостойким материалом резко возрастает, а его ремонт является трудоемкой и дорогостоящей операцией. Важным условием является также то, что в процессе модернизации не должны изменяться свойства пятника и надресорной балки. Исходя из указанных факторов нами намечены следующие пути совершенствования конструкции узла пятник-подпятник грузовых вагонов: специальная обработка контактирующей поверхности, в частности, применение магнито-электроискрового способа обработки; использование твердых смазочных материалов с заданными свойствами, а также применение новых антифрикционных и высокоизносостойких, в том числе, наноматериалов. В работе обсуждаются некоторые достигнутые результаты по решению вышеперечисленных задач.

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ СОЕДИНЕНИЙ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ОКИСЛИТЕЛЬНУЮ СТОЙКОСТЬ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ПЛЕНОК, ИНГИБИРОВАННЫХ ФЕНОЛЬНЫМ АНТИОКСИДАНТОМ

М.Г. Таврогинская¹, Е.В. Воробьева², Д.Г. Лин²

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого, Гомель, Беларусь

²Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины, Гомель, Беларусь

Проведенные ранее исследования показали увеличение эффективности фенольного антиоксиданта (АО) при наполнении ингибированного полиэтилена (ПЭ) оксидами цинка, кальция, и, наоборот, уменьшение эффективности при введении в полимер оксидов марганца и меди. В промышленных технологиях получения полимерных композиций (ПК) целесообразно пользоваться растворимыми солями металлов, в частности стеаратами, так как их применение приводит к более однородному распределению добавки и увеличению текучести ПК. Поэтому важным является вопрос о том, как изменится окислительная стойкость ПЭ пленок, ингибированных фенольным АО, при наполнении их стеаратами указанных выше металлов. В экспериментах готовили смеси порошков ПЭ, фенольного АО (ирганокс 1010), оксидов или стеаратов металлов. Пленки, полученные из смеси методом термического прессования, окисляли в воздушной среде на подложках из КВг. Степень окисления ПЭ оценивали, применяя метод ИК-спектроскопии. По экспериментальным кинетическим кривым накопления карбонильных групп определяли индукционный период окисления (ИПО) пленок ПЭ.

Установили, что при наполнении ингибированного ПЭ стеаратами марганца и меди ИПО пленок существенно сокращается, т.е. и оксиды и стеараты этих металлов оказывают аналогичное влияние на окислительную стойкость ингибированного полимера. Использование стеарата кальция (как и оксида кальция) в качестве наполнителя приводит к увеличению продолжительности ИПО ПЭ, то есть схожесть во влиянии оксида и стеарата металла на окисление ПЭ сохраняется. Однако, наполнение ингибированного ПЭ стеаратом цинка, напротив, приводит к резкому сокращению ИПО. Такой результат необходимо учитывать при разработке ПК с повышенной окислительной стойкостью. Кроме того, противоположное влияние двух видов соединений одного и того же металла (стеарата цинка и оксида цинка) на окислительную стойкость ПЭ указывает на необходимость дальнейших исследований, направленных на определение механизма межфазных взаимодействий в гетерогенных системах ПЭ-оксид (стеарат) цинка-фенольный АО.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ В КОМПОЗИЦИОННОЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ СМЕСИ ВТОРИЧНЫХ ПОЛИОЛЕФИНОВ

В.В. Тимошенко, М.Г. Таврогинская

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

Подавляющее большинство современных полимерных композиций (ПК) содержат различные дисперсные наполнители. Свойства ПК во многом определяют характер распределения в них частиц наполнителя. Известно, что добиться равномерного распределения высокодисперсного наполнителя в полимерной матрице достаточно сложно. Поэтому при производстве наполненных ПК приходится уделять особое внимание именно равномерности распределения наполнителя в композиционной системе.

Целью работы являлось исследование прочности и стабильности свойств ПК на основе вторичных полиолефинов, наполненных высокодисперсным диоксидом кремния. В качестве полимерных связующих использовали вторичные ПЭНД и ПЭВД (ТУ РБ 37391633.001-2000). Связующие наполняли высокодисперсным диоксидом кремния с раз-

мером частиц < 40 мкм. Предварительно проведенные исследования показали, что при физическом модифицировании диоксидом кремния ПК на основе смесей вторичных полиолефинов отсутствует стабильность свойств образцов по их длине. Так, разброс значений прочности по длине образца 1 м составляет 30—40%.

Для повышения стабильности свойств по длине образца предложено обрабатывать смесь технологическими жидкостями, в частности, использовать масло промышленное И-40 (t_b — 220 °С); отходы рапсового масла (t_b — 300 °С). Выбранными маслами обрабатывали частицы вторичных полиолефинов в количестве от 0,1 до 1,0 мас.% с последующим опудриванием частицами диоксида кремния в количестве 1,5 мас.%. Образцы изготавливали на экструзиографе «НААКЕ». Прочность и стабильность свойств оценивали на комплексе «INSTRON».

При исследовании влияние процентного содержания масла на прочность получаемого композиционного материала установлено, что наиболее высокие показатели достигаются при добавлении масла в количестве 0,3—0,5 мас.%. Дальнейшее увеличение количества масла ведет к снижению прочности, что связано с пластифицирующим действием масла на ПК. Возникают также технологические сложности переработки получаемых смесей, которые заключаются в проскальзывании материала в экструзионном канале, вследствие чего наблюдается неравномерность подачи материала.

Показано, что оптимальное время смешения частиц диоксида кремния и масла с вторичными полиолефинами лежит в пределах 150с, при котором достигается максимальный показатель стабильности свойств.

Таким образом экспериментально установлено, что последовательная поверхностная обработка частиц смеси вторичных ПЭВД и ПЭНД промышленным маслом И-40 в количестве 0,3—0,5 мас.% и частицами диоксида кремния в течении 150с при температуре 18—20 °С способствует росту стабильности свойств до 10—15%.

ВЛИЯНИЕ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ ОТВЕРЖДЕННЫХ ФЕНОЛОФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ

В.В. Тимошенко¹, И.И. Злотников¹, М.И. Чен²

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²ОАО «Инфракрасные и микроволновые системы», Москва, Россия

Применение микроволнового излучения (МВИ) в химико-технологических процессах приобретает все большую актуальность в связи с необходимостью разработки новых энергосберегающих технологий. При воздействии МВИ на вещество часто снижается температура, необходимая для проведения данного процесса, сокращается время обработки, увеличивается выход целевого продукта и создаются условия получения материалов с улучшенными свойствами.

Целью исследования является изучение влияния МВИ на механизм отверждения резольных фенолоформальдегидных смол (ФФС), их структуру и свойства.

Исследования проводили на блочных образцах, изготовленных из ФФС марки СФ-381 методом прессования при температуре 120—130 °С, и пластинках текстолита, склеенных спиртовыми растворами ФФС марки ЛБС-1 и высушенных при температуре 120 °С. Образцы подвергали термообработке по трем режимам:

- 1) термообработка в печи при температуре 150 °С в течение 30 минут;
- 2) термообработка в микроволновой печи при частоте 2460 МГц до достижения температуры образцов около 140—150 °С;
- 3) термообработка в печи при температуре 150 °С в течение 30 минут, во время которой образцы подвергались кратковременному (1—2 минуты) воздействию МВИ.

Были измерены механические и адгезионные свойства образцов, отвержденных по различным режимам. Установлено, что проведение отверждения ФФС с помощью МВИ увеличивает механическую прочность образцов ФФС на 32—38% и прочность адгезионного соединения на 40—45%. Было обнаружено, что кратковременная микроволновая обработка во время термической обработки приводит практически к таким же результатам, что и микроволновой нагрев образцов. Повышение прочности ФФС было объяснено нетепловыми эффектами воздействия излучения на полимеры, а именно тем, что МВИ способствует более полному протеканию процессов межмолекулярной сшивки. ИК-спектроскопические исследования показали, что у термически отвержденной ФФС число 3-х замещенных ароматических структур (полоса поглощения 1520 см^{-1}) и 4-х замещенных (полоса 1485 см^{-1}) находится примерно на одном уровне. После воздействия МВИ число 4-х замещенных ароматических структур заметно превышает число 3-х замещенных. Это связано с тем, что МВИ посредством высокочастотной дипольной ориентации устраняет стерические препятствия и способствует более полному взаимодействию реакционноспособных ОН-групп ФФС.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ УГЛЕФТОРОПЛАСТОВОГО КОМПОЗИТА

А.А. Томас¹, А.Ф. Будник²

¹Украинский государственный химико-технологический университет, Днепрпетровск, Украина

²Сумский государственный университет, Украина

Проведены экспериментальные исследования по определению основных технологических факторов технологии прессования композиции на основе политетрафторэтилена с углеродным волокном, влияющих на его эксплуатационные свойства.

В процессе исследований установлены технологические параметры, определяющие структуру и свойства композита при формовании, — это усилие прессования, скорость прессования, время выдержки под давлением, время выдержки после прессования до термической обработки.

В качестве функции отклика выбраны эксплуатационные характеристики — интенсивность изнашивания и предел прочности при сжатии.

Проведенные исследования и их критический анализ позволяют сделать следующие выводы.

1. Увеличение давления прессования углефторопластовой композиции выше 60 МПа приводит более чем к 10% снижению износостойкости композитного материала, это связано с разрушением армирующих волокон и потерей ими армирующих свойств.

2. Увеличение времени выдержки прессовки композиции под давлением (50 МПа) выше 30 мин. приводит к значительному (>30%) снижению износостойкости, что, очевидно, связано с разрушением армирующих волокон при релаксации напряжений в объеме прессовки.

3. Увеличение скорости прессования выше 7 см/мин приводит к снижению износостойкости композита, т.к. фронт усилий прессования не успевает распространиться по объему прессовки, что вызывает разрушение углеволокон в верхней части прессовки и недопрессовку в нижней.

Разработанная математическая модель технологического процесса прессования даёт возможность оптимизировать процесс формования и прогнозировать эксплуатационные свойства будущего композита, сделав этот участок техпроцесса получения композита управляемым.

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ В КОМПОЗИТАХ ПОЛИВИНИЛОВЫЙ СПИРТ–НЕОРГАНИЧЕСКАЯ СОЛЬ ПРИ ИХ ФОРМИРОВАНИИ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

О.Н. Третинников, С.А. Загорская

Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Поливиниловый спирт (ПВС) — водорастворимый полимер, отличающийся химической и термической стойкостью, низкой газопроницаемостью, хорошими адгезионными свойствами, биосовместимостью и биоразлагаемостью. Благодаря этому он имеет широкий спектр применений, включающий защитные покрытия, биомедицинские и оптические материалы, сорбенты, мембраны. ПВС — аморфно-кристаллический полимер. Однако при формировании из водных растворов при нормальных температурах он практически не кристаллизуется. Высокая кристалличность достигается отжигом при температурах выше 120°C, что неприемлемо для некоторых применений этого полимера. Цель работы — получение материалов на основе ПВС с высокой степенью кристалличности без применения высокотемпературного отжига.

Исследовали композитные пленки состава ПВС–неорганическая соль. Использовали соли KCl, KBr и KJ в концентрации 5—30 мол.% относительно ПВС. Пленки отливали из водно-солевых растворов ПВС на подложках и сушили при комнатной температуре в течение 48 ч. Степень кристалличности ПВС в пленках определяли методом ИК спектроскопии. Установлено, что при введении каждой из исследованных солей кристалличность ПВС возрастает и этот рост тем больше, чем выше концентрация соли. Для концентраций ≤10 мол.% кристаллизующее действие солей усиливается с уменьшением радиуса входящего в их состав аниона, что позволяет связать наблюдаемый эффект с разрушением под действием ионов соли водородных связей между молекулами воды и полимером, которые препятствуют его кристаллизации. В композитных пленках с содержанием соли ≥20 мол.%, сформированных при комнатной температуре, кристалличность ПВС выше, чем в чистых (не содержащих соль) пленках, закристаллизованных отжигом при 120—150 °C в течение 60 мин.

ПОВЕРХНОСТНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИОЛЕФИНОВ ФОТОИНДУЦИРОВАННОЙ ПРИВИВОЧНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИЕЙ АКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ В ВОДНОЙ СРЕДЕ С ПРЕАДСОРБЦИЕЙ ФОТОИНИЦИАТОРА

О.Н. Третинников, В.В. Пилипенко, Л.К. Приходченко

Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Полиолефины и материалы на их основе принадлежат к наиболее крупнотоннажным продуктам белорусской нефтехимии. Создание экономичных и эффективных способов модификации полиолефинов путем прививки на их поверхности функциональных полимеров позволит существенно расширить сферы их использования, включая селективные мембраны и сорбенты, биосовместимые и биоактивные материалы. Метод фотоиндуцированной прививочной полимеризации представляется здесь особенно перспективным, благодаря простоте реализации, высокой скорости, возможности модифицировать отдельные участки поверхности. Прививка из водного раствора мономера и фотоинициатора (т.е. без применения органических растворителей) отвечает требованиям экологии, но не позволяет использовать такие дешевые и высокоэффективные фотоинициаторы как, например, бензофенон. Для решения этой проблемы в данной работе фотоинициатор (бензофенон) адсорбировали на модифицируемую поверхность из раствора в ацетоне, после чего фото-

прививку проводили из водного раствора мономера (акриловая кислота). Объектами исследования являлись отечественные пленки полиэтилена (ПЭ) и полипропилена (ПП), а также нетканые материалы СпанБел и АкваСпан. Для УФ экспонирования образцов использовали две спаренные ртутные лампы ДРТ-400. Излучение на линии 365 нм выделяли с помощью фильтра УФС-6. Образование привитого полимера подтверждено методами ИК спектроскопии НПВО и краевого угла смачивания. Максимальное улучшение смачиваемости пленок ПЭ и ПП водой было достигнуто при длительности прививочной полимеризации 2 и 4 мин, соответственно. Краевой угол для воды при этом понизился с 94° до 43° на ПЭ и с 102° до 56° на ПП.

Хотя метод фотоиндуцированной прививочной полимеризации с преадсорбцией фотoinициатора использовался и ранее, предлагаемый в данной работе вариант его реализации отличается тем, что не требует удаления кислорода из реакционной среды и дает эффективную прививку при концентрациях мономера $\leq 10\%$.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ФЕНИЛОНА С НАНОСТРУКТУРНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ Al_2O_3

Т.М. Ульянова¹, Н.П. Крутько¹, А.И. Буря², Л.В. Титова¹

¹Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

²Днепропетровский государственный аграрный университет, Днепропетровск, Украина

Цель настоящей работы — исследование влияния нанодисперсных порошков оксида алюминия различной кристаллической структуры и физико-химических свойств на структуру и физико-механические характеристики композиционного материала на основе линейного гетероциклического полиамида – фенилона ФС-2.

Для получения нанодисперсного наполнителя — порошка оксида алюминия использовался разработанный в ИОНХ НАН Беларуси метод, который включал процесс насыщения целлюлозных волокон водным раствором соли алюминия, их сушку и термообработку в области температур 600—1200 °С. При термообработке соледержащих нитей происходил термолиз целлюлозы, удалялись влага и органические вещества, разлагалась введенная соль алюминия, образуя наноразмерные зерна тугоплавких оксидов, которые формировались в виде неорганических волокон. Они обладали высокой пористостью (85—90%), развитой поверхностью (180—200 м²/г), высокой реакционной активностью, легко измельчались в тонкодисперсный порошок, представляющий собой микронные иглоподобные частицы, состоящие из нанозерен $\gamma-Al_2O_3$ размером 2—6 нм, $\theta-Al_2O_3$ размером кристаллитов 18—20 нм или $\alpha-Al_2O_3$, размер зерен которых составлял 45—65 нм, а удельная поверхность равнялась 50 м²/г. Порошки γ - и θ -фазы Al_2O_3 — мягкие и пластичные, они легко измельчаются в ультратонкую пудру, а порошки α -фазы — более упругие и жесткие. Приготовление композиций осуществляли методом сухого смешивания исходных компонентов во вращающемся электромагнитном поле. Содержание наполнителей не превышало 17 мас.%. Смесь сушили и формовали при 523—598 К, затем образцы композитов подвергали механической обработке для повышения точности размеров. Структуру наполнителей, матрицы и композитов изучали с помощью рентгеновского, ИК спектроскопического и электронно-микроскопического методов анализа.

Анализ полученных результатов показал, что нанопорошки γ - и θ -фазы вносят изменения в молекулярную структуру фенилона. При этом не нарушаются связи фенильных групп, но изменяется характер водородных связей. Введение порошка $\alpha-Al_2O_3$ повышает температуростойкость композитов, при нагревании на воздухе до 675 К. Исследование структуры образцов композитов подтвердило образование прочных адгезионных контак-

тов между наполнителем и матрицей. Максимальное повышение модуля упругости на 32% достигается при наполнении матрицы θ - Al_2O_3 .

СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ЛЮМИНОФОРНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ $\text{YAG}:\text{Ce}$

О.В. Урецкая, Н.Е. Дробышевская, Е.И. Гришкова, Е.Н. Подденежный

Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Гомель, Беларусь

Традиционная структура светодиода белого цвета излучения, наиболее часто используемая для целей освещения, состоит из комбинации одного или нескольких чипов, представляющих собой гетерозпитаксиальную структуру InN-GaN-AlN -на-сапфире, на поверхность которой нанесен слой желтого люминофора, преобразующий излучение синего цвета в желто-зеленое, что суммарно формирует квази-белое излучение. Такая конструкция в мощных светодиодных излучателях обладает рядом недостатков, а именно — малой живучестью полимерного компаунда из-за его термической деградации, отравления наполнителя-люминофора за счет взаимодействия поверхности люминесцентного порошка и активных органических групп полимера-основы.

Люминофорные покрытия, формируемые из порошков иттрий-алюминиевого граната, легированного церием ($\text{YAG}:\text{Ce}^{3+}$), на стеклянных подложках, представляются наиболее экономичной и рациональной формой создания люминесцентного удаленного фотопреобразователя, вариантом, пригодным для массового применения.

Наноструктурированные люминесцирующие порошки $\text{YAG}:\text{Ce}$ были получены в НИЛ ТХН ГГТУ им. П.О. Сухого методами коллоидной химии (соосаждение, золь-гель процесс) с прокаливанием осадков на воздухе при температурах 1100—1200 °С. Размеры первичных частиц люминофора составляют 40—80 нм.

В качестве основы люминофорных покрытий исследовано несколько типов легкоплавких оксидных стекол: $\text{PbO-Bi}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$, $\text{ZnO-CaO-B}_2\text{O}_3$.

Установлено, что использование Bi-B -стекла приводит к формированию пористого покрытия и полному тушению люминесценции, а наилучшей совместимостью с порошком люминофора обладает цинк-бор-кальциевое стекло. Методика приготовления стеклокристаллического покрытия на подложках из предметных стекол состоит из приготовления шликера на основе $\text{YAG}:\text{Ce}^{3+}$, порошка легкоплавкого стекла и органического растворителя. Далее шликер наносится на стеклянную подложку методом полива, после чего структура обрабатывается при температуре 700—750 °С в воздушной среде. В результате формируются люминофорные покрытия, пригодные для создания фотопреобразователей светодиодных осветительных приборов.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОЩНОСТИ ШЛИФОВАНИЯ ПОЛИМЕРНО-АБРАЗИВНЫМИ ДИСКОВЫМИ ЩЕТКАМИ

Д.Ф. Устинович

Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Данные о эффективной мощности обработки необходимы для управления процессом шлифования полимерно-абразивными дисковыми щетками, разработки оборудования, реализующего метод, и выбора технологических параметров процесса.

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование влияния технологических параметров процесса обработки на величину эффективной мощности.

Выявлено, что на рост эффективной мощности обработки $N_э$ оказывают влияние изменение скорости резания, зернистости порошка абразивного модификатора волокна и

натяга инструмента, марка шлифуемого материала и применение смазывающе-охлаждающей жидкости. С ростом скорости резания значения мощности увеличиваются для всего исследованного диапазона скорости резания, значений зернистости и величин натяга инструмента. Анализ показывает, что зависимости носят нелинейный характер. При увеличении скорости резания в 3,15 раза (с 8,5 м/с до 26,8 м/с) при обработке стали 45 мощность резания возрастает в 3,68 раза ($\Delta = 320$ мкм, $i = 2$ мм) и в 4,2 раза ($\Delta = 120$ мкм, $i = 2$ мм), при обработке стали 45 с $i = 4$ мм — в 3,37 раза ($\Delta = 320$ мкм) и в 3,65 раза ($\Delta = 120$ мкм). Это объясняется увеличением общего количества контактов рабочей части инструмента с поверхностью и длины пути абразивных зерен в единицу времени, возрастанием интенсивности абразивного и фрикционного взаимодействия. Увеличение зернистости абразивного модификатора с $\Delta = 60$ мкм до $\Delta = 320$ мкм приводит к возрастанию значений N_{Σ} — соответственно с 0,22 кВт до 0,45 кВт, или в 2,05 раза ($V = 8,5$ м/с, $i = 3$ мм); и с 0,88 кВт до 1,66 кВт, или в 1,89 раза ($V = 26,8$ м/с, $i = 3$ мм). Большим размерам зерен абразивного модификатора соответствуют большие диаметры волокон полимерно-абразивного композита, что вызывает увеличение удельного давления на обрабатываемую поверхность и повышение сил резания. Обработка при изменении натяга от 0,5 до 5 мм приводит к возрастанию значений мощности, что объясняется увеличением силового воздействия и площади пятна контакта инструмента с поверхностью. Рост натяга инструмента δ в диапазоне изменения зернистости $\Delta = 60$ —320 мкм сопровождается увеличением значений N_{Σ} для стали 45 с 0,116—0,312 кВт до 0,326—0,802 кВт, или в 2,51—2,8 раза ($V = 13,7$ м/с); для стали 12X18H10T — с 0,084—0,186 кВт до 0,26—0,72 кВт, или в 3,1—3,4 раза.

Получены полиномиальные уравнения регрессии, устанавливающие взаимосвязь между значениями эффективной мощности и технологическими параметрами процесса.

ОБ АРМИРОВАНИИ ШИННЫХ РЕЗИН КОРОТКИМИ ВОЛОКНАМИ

В.Д. Федоров¹, П.В. Васильев², Т.П. Валенчиц², З.В. Коптелова², В.Н. Коваль¹

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²ОАО «Белшина», Бобруйск, Беларусь

Армирование шинных резин короткими волокнами используются для повышения стойкости протекторных резин к выкрашиванию, вырыву, порезам, а также для уменьшения теплоразогрева. Короткие арамидные волокна обрабатываются дважды. Первый раз проводится обработка составом на основе резорцина и формальдегида, второй — составом на основе сополимеров, совместимым с каучуком. В ИММС совместно с ОАО «Белшина» выполнен комплекс исследований, направленных на отработку технологии получения концентратов модификаторов шинных резин (КМШР) экструзионным методом. В качестве базовых наполнителей использованы отечественные волокна Светлогорского ОАО «Химволокно»: полипарафенилен-1,3,4-оксадиазол («Арселон») и углеродные волокна, а также волокно лавсан, выпускаемое ОАО «Могилевхимволокно».

При компаундировании волокна обрабатывали как двухстадийным методом, так и одностадийным. В первом случае первичную обработку проводили резорцино-формальдегидной смолой, а вторичную — блок-сополимерами, совместимыми с каучуком. При одностадийной обработке в состав входили адгезионно-активные термопластичные компоненты, совместители с низкой степенью сегрегации и носители компонентов — сополимеры с высокой степенью сегрегации по отношению к шинным каучукам.

Взаимодействие компонентов оценивали по изменению когезионной прочности невулканизированной смеси, определенной по стандартной методике, а также по изменению релаксационных переходов на спектрах внутреннего трения. Показано, что обработка адгезивами значительно повышает когезионную прочность, но механические свойства вулк-

канизатов остаются низкими, а на спектрах ДМА появляется π_s -переход, обусловленный распадом диполь-дипольных связей, образованный немостичной серой, что связывается с избирательной адсорбцией агентов вулканизации на адгезивах. При введении совместно с адгезивами диффузионно-активных термопластов этот переход исчезает. В этом случае когезионная прочность остается высокой, но на спектрах внутреннего трения при сжатии появляется новый пик, связанный с подвижностью диффундировавших в каучук компонентов, что приводит к повышению теплоразогрева (увеличение $\text{tg}\delta$). Самое низкое значение $\text{tg}\delta$ наблюдалось при использовании термопластичных носителей, однако когезионная прочность при этом недостаточна. Для достижения оптимальных свойств резин, содержащих обработанные короткие волокна необходим определенный баланс концентрации адгезионно и диффузионно-активных компонентов, при превалировании в составе для обработки волокон термопластичного носителя.

УДАРОПРОЧНЫЕ СМЕСЕВЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО ПЭТ

О.В. Филимонов¹, В.В. Голубович²

¹Завод по переработке вторичных ресурсов, Могилев, Беларусь

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

В последние десятилетия первичный полиэтилентерефталат (ПЭТ) рассматривается как один из важнейших полимеров для технического и бытового применений. Объем его производства составляет более 35 млн.т. и ежегодно в мире накапливается более 6 млн.т. отходов. Их утилизация затруднена в связи с высокой биологической стойкостью ПЭТ. Наиболее экономичным способом восстановления отходов является рециклинг ПЭТ. Одним из путей рециклинга является компаундирование вторичного ПЭТ (в-ПЭТ) с другими полимерами, осуществляемое в расплаве в процессе реакционной экструзии.

В работе приводятся данные об особенностях структуры, реологических и механических свойств, а также технологии смесей в-ПЭТ (бытовые отходы, получаемые переработкой бутылей для напитков, а также обвязочной ленты) с другими типами полиалкилентерефталатов, поликарбонатом, АБС-пластиком, функционализированными полиолефинами и сополимерами олефинов, в том числе сополимерами этилена с высшими олефинами, а также стеклоармированных композитов. Показано, что при смешении в-ПЭТ с термопластами, включающими модификатор ударной вязкости и удлинители цепи (УЦ) для полиэфиров, могут быть получены материалы, ударная вязкость которых составляет 15—35 кДж/м² (метод Шарпи, образцы с острым надрезом), что в 3—7 раз превышает данный показатель для первичного ПЭТ. Армирование в-ПЭТ, содержащего модификатор ударной вязкости и УЦ, коротким стекловолокном позволяет получать композиционные материалы с прочностью при растяжении ≥ 140 МПа, ударной вязкостью по Шарпи ≥ 45 кДж/м², разрушающим напряжением при изгибе ≥ 180 МПа. Использование УЦ, образующих на стадии компаундирования в расплаве редкие межмолекулярные химические сшивки, приводит к созданию материалов с пониженной текучестью расплава (ПТР ≤ 3 г/10мин), потенциально пригодных для переработки по экструзионным технологиям.

ЭПОКСИДНЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ ДЛЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.Ю. Филипович, Л.В. Ермольчук

Институт химии высокомолекулярных соединений НАН Украины, Киев, Украина

Широкое применение эпоксидных композитов (ЭК) потребовало разработки методов модификации и улучшения их свойств. Нами развиваются несколько направлений химической модификации эпоксидов для улучшения свойств отвержденных систем и изменения технологических свойств композиций. Наиболее широкое варьирование физико-химических и механических свойств ЭК возможно путем выбора соответствующего отвердителя (От). С этой целью нами исследовались системы на основе эпоксидных диановых смол и импортных и отечественных отвердителей производства ОАО "Армопласт" (Украина, г. Северодонецк). Это: алифатические отвердители УП-0633М, УП-0633, ДТБ-2; полиамидные отвердители ПО-200, ПО-300, основания Манниха УП-583Д, АФ-2, УП-606/2; циклоалифатические От; ароматические От. Особо отметим перспективность циклоалифатических От (ЦАл От). Немодифицированные и модифицированные ЦАл От (на основе изофорондиамин, 1,2-диаминоциклогексана) имеют высокую прозрачность и цветостабильность, хорошо совмещаются с эпоксидными смолами (ЭС) и уменьшают их вязкость. Композиции на основе ЦАл От характеризуются прочностью при высоких температурах, температурой стеклования, сравнимой с аналогичными составами, отверждаемыми ароматическими От, меньшей токсичностью при применении. Представленные композиции позволяют получать материалы с высоким сухим остатком, повышенной химстойкостью к различным средам (нефть и нефтепродукты, растворители, минеральные и органические кислоты, спирты) при обычной и повышенной температурах.

Известно, что введение уретановых групп в эпоксиполимеры способствует улучшению их адгезионных и упругодеформационных показателей. С этой целью нами изучалась модификация ЭС эпоксиполиуретановыми блоксополимерами (ЭПУ), полученными по «традиционной» изоцианатной технологии и безизоцианатной технологии. Композиты на основе ЭПУ характеризуются высокими деформационными и прочностными свойствами.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

Р.Н. Фоменко

ГОУ ВПО «Рыбинская государственная авиационная технологическая академия им. П.А. Соловьева, Рыбинск, Россия

Исследования процессов механической обработки деталей показывают, что наноструктурированные покрытия режущего инструмента, обладая низким коэффициентом трения вследствие уменьшения сил адгезионного взаимодействия материала покрытия с обрабатываемым материалом, в значительной степени влияют на термосиловые характеристики процесса резания.

Влияние покрытий инструмента на параметры процесса резания и качества поверхностного слоя детали можно учесть через угол наклона условной плоскости сдвига β_1 , характеризующей степень пластической деформации срезаемого припуска и поверхностного слоя обрабатываемой детали. Установлено, что у инструмента с покрытием, обладающим большим коэффициентом трения, степень деформации срезаемого слоя выше.

На основе проведенных посредством одношарикового адгезиомера трибомеханических испытаний твердосплавных инденторов H10F, на которые наносились наноструктурированные покрытия, исследованные также и при механической обработке, получены зависимости коэффициента трения от температуры. Сопоставление значений адгезионной

составляющей коэффициента трения f_M со значениями тангенса угла наклона условной плоскости сдвига стружки β_1 для различных покрытий инструмента позволило установить зависимость:

$$\frac{f_{M1}^{HEП}}{f_{M2}^{ПOKi}} \cong \frac{B_2^{ПOKi}}{B_1^{HEП}}, \quad (1)$$

где $f_{M1}^{HEП}$ и $f_{M2}^{ПOKi}$ — соответственно адгезионная составляющая коэффициента трения инструмента без покрытия и с покрытием; $B_1^{HEП}$ и $B_2^{ПOKi}$ — соответственно критерий процесса резания $B = \operatorname{tg}\beta_1$ инструмента без покрытия и с покрытием.

На основе полученных результатов разработана методика, позволяющая определять степень пластической деформации срезаемого припуска с учетом трибологических характеристик инструмента с покрытием.

ЭЛЕКТРОННО-ТРАНСПОРТНЫЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИМПЛАНТАЦИЕЙ ИОНОВ КОБАЛЬТА В ПОЛИИМИД

А.А. Харченко¹, М.Г. Лукашевич¹, В.В. Базаров²,
О. Петрачик³, Р.И. Хайбуллин², В.Б. Оджаев¹

¹Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

²Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского КазНЦ РАН, Россия.

³Рурский университет, Бохум, Германия

Наноструктурированные композитные материалы на основе диэлектрической или проводящей матрицы с магнитными включениями нанометрового размера являются базовыми материалами при разработке и создания новых сред для записи и хранения информации, а также магнитоэлектрических устройств, проявляющих гигантский магнито-резистивный эффект.

Металлополимерные нанокompозиты были получены путем имплантации в приповерхностную область пленки полиимида с толщиной $d = 40$ мкм ионов кобальта с энергией 40 кэВ в интервале доз $D = 2,5\text{—}12,5 \cdot 10^{16}$ см⁻² при плотностях ионного тока $j = 4,0; 8,0$ и $12,0$ мкА/см² на ионно-лучевом ускорителе ИЛУ-3. Измерения поверхностного сопротивления на постоянном токе проводились 4-контактным методом. Петли магнитного гистерезиса и температурные зависимости намагниченности образцов регистрировались на магнитометре SQUID XL-5 в процессе нагревания образцов (4,5—300 К), предварительное охлаждение которых проводилось как в отсутствие (ZFC-режим), так и в присутствии (FC-режим) магнитного поля 10 мТл.

Обнаружено уменьшение электросопротивления облученного слоя полимера при возрастании дозы имплантации. Удельное сопротивление модифицированного слоя изменялось от 17 до $7,5 \cdot 10^{-4}$ Ом·см. При превышении пороговой дозы $D_p^E = 12,5 \cdot 10^{16}$ см⁻² и плотности ионного тока $j_p^M = 8$ мкА/см² наблюдается переход от диэлектрического механизма проводимости к металлическому. Температурные зависимости намагниченности, измеренные в слабом магнитном поле в ZFC режиме, показали наличие максимума. Это свидетельствует о формировании магнитных наночастиц, находящихся в суперпарамагнитном состоянии при высоких температурах. Из величины температуры блокировки, проведена оценка диаметра таких включений $d \approx 2\text{—}9$ нм в зависимости от дозы. При достижении пороговых режимов $D_p^M = 12,5 \cdot 10^{16}$ см⁻² и $j_p^M = 4,0$ мкА/см² наблюдался переход от суперпарамагнитного к ферромагнитному поведению металлополимерных композитов.

Таким образом, имплантация полиимида ионами кобальта приводит к формированию наночастиц кобальта в карбонизированном слое полимерной матрицы и наблюдению

электрического перколяционного перехода при $D_p^E = 12,5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ и $j_p^M = 8,0 \text{ мкА/см}^2$ и магнитного фазового перехода суперпарамагнетик-ферромагнетик при $D_p^M = 12,5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ и $j_p^M = 4,0 \text{ мкА/см}^2$. Меньшая величина дозы магнитного перехода обусловлена наличием дипольного взаимодействия между магнитными нанокластерами кобальта в полимерной матрице.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МАСЛООХЛАЖДАЕМОЙ ФРИКЦИОННОЙ ПАРЫ

М.Ю. Целуев¹, В.П. Сергиенко¹, М.М. Заболоцкий², Г.И. Лось²

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²Белорусский автомобильный завод, Жодино, Беларусь

В работе сформулирована трехмерная краевая задача, описывающая тепловые процессы при фрикционном нагреве в маслоохлаждаемой паре трения многодискового тормоза с учетом ее физических, конструкционных и эксплуатационных параметров. Исследование влияния нагрузочно-скоростных параметров на тепловой режим пары трения при длительной работе тормоза осуществлялось путем проведения многофакторного численного эксперимента на математической модели тепловых процессов в ходе решения краевой задачи методом конечных элементов. При выполнении расчетов использовали параметры многодискового тормоза карьерного самосвала грузоподъемностью 60000 кг с парами трения сталь 65Г — фрикционный материал на полимерном связующем (ТУ РБ 400084698.111-2001), взаимодействующими в среде трансмиссионного масла.

В результате выполненных исследований установлено, что особенности теплообмена пары трения с маслом и элементами конструкции тормоза приводят к формированию неоднородного температурного поля с более высокой температурой в срединной области и менее нагретыми периферийными участками в радиальном сечении пары трения. На первой стадии неустановившегося теплового режима наблюдается повышение абсолютных значений и рост неравномерности распределения температуры по ширине поверхности трения, происходит смещение положения максимума температуры от внешнего к среднему радиусу трения. В зависимости от нагрузочно-скоростных параметров вторая стадия установившегося теплового режима наступает через 190–260 с после начала работы тормоза. Наибольшая неравномерность распределения температуры по толщине пары трения наблюдается для фрикционной накладке и составляет 20–70 °С/мм. Градиент температуры по толщине основы фрикционного и промежуточного дисков не превышает 0,5 °С/мм, что связано с относительно хорошей тепловой проводимостью стали.

Установлено, что в исследованных режимах работы тепловая нагруженность пары трения при прочих равных условиях практически линейно увеличивается с ростом момента трения тормоза и угловой скорости вращения фрикционного диска. В результате обработки данных численного эксперимента получена функциональная зависимость максимальной температуры на поверхности трения от исследованных нагрузочно-скоростных режимов работы пары трения тормоза. Определены области нагрузочно-скоростных параметров, соответствующие допустимому и критическому тепловым режимам работы пар трения тормоза.

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ТРИКОТАЖНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПЛАСТИКОВ

А.В. Чарковский, В.П. Шелепова, Д.В. Скирман

Витебский государственный технологический университет, Витебск, Беларусь

Основная задача — разработка концепции создания трикотажных наполнителей для композиционных материалов конструкционного назначения.

Сущность исследования заключается в анализе технологических возможностей современного вязального оборудования и перспектив его использования для получения трикотажных наполнителей различной формы и размеров.

Теоретическая основа работы — аналитические методы исследования структур трикотажа и рабочих процессов вязания на различном трикотажном оборудовании: плоскофанговом, кругловязальном, круглочулочном. В экспериментах используются типовые методики исследования свойств трикотажа.

Установлено, что за счет применения разных переплетений, разных нитей, изменения параметров петельной структуры, использования возможностей ресурсосберегающих технологий вязания регулярных трикотажных изделий, можно получать трикотажные наполнители различной формы с широким диапазоном свойств. Условно их можно разделить на две группы.

– Трикотажные полотна, детали и изделия малой толщины (0,2—4 мм): плоские полотна; плоские детали любой формы с заработанными краями (прямоугольной, трапециевидной, треугольной или сложной); бесшовные рукава трубчатой формы; бесшовные заготовки в виде изогнутого рукава за счет наличия выпуклых участков; бесшовные заготовки в виде усеченного конуса.

– Трикотажные изделия повышенной толщины: плоские с регулируемой толщиной 10—50 мм (или более 50 мм); толстостенные трубки с регулируемой толщиной стенки (20 мм и более); изделия в форме тора; изделия цилиндрической формы, внутренний объем которых заполнен элементами петельной структуры.

Для всех видов трикотажных наполнителей разработаны рабочие процессы получения на вязальном оборудовании, изготовлены экспериментальные образцы. Разработана и внедрена технология производства трикотажных тонкостенных трубок из полиэфирных нитей и их сочетания со стеклянными нитями, предназначенных для изготовления композитов приемных гильз протезов конечностей. Трубки вырабатываются на плоскофанговом, кругловязальном и круглочулочном оборудовании на экспериментально-опытном предприятии Витебского государственного технологического университета. Характеристики трубок: ширина 70—240 мм, растяжимость в ширину при нагрузке 5000 сН — не менее 70%, поверхностная плотность — 60—220 г/м², содержание стеклянных нитей — до 85%. Используются трубки в производстве протезных изделий в Белорусском протезно-восстановительном ортопедическом центре и заменяют импортные аналоги.

Проведенные исследования подтверждают перспективность применения трикотажного способа для получения наполнителей композиционных материалов.

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОЛИПРОПИЛЕНА

Д.О. Черваков, П.И. Баштаник, М.В. Бурмистр

Украинский государственный химико-технологический университет, Днепрпетровск, Украина

Использование органических пероксидов и силанольных модифицирующих агентов как регуляторов механических и теплофизических свойств полимеров является современ-

ным направлением модификации свойств и улучшения технологичности переработки полимерных композиционных материалов (ПКМ).

Ранее на кафедре переработки пластмасс и фото-, нано- и полиграфических материалов разработана технология получения ПКМ на основе полипропилена (ПП), модифицированного пероксидом бензоила (ПБ) и метилвинилциклоксиланом, армированных модифицированными базальтовыми волокнами.

Нами продолжены работы по поиску модифицирующих агентов для эффективной модификации полипропиленовой матрицы, а также оптимизации свойств ПКМ на их основе. В качестве модификаторов выбраны соединения класса полисилоксанполиолов (ПСП), содержащие в боковых ответвлениях этиленоксидные блоки и концевые гидроксильные группы (модификаторы ПСП1, ПСП2, ПСП3, содержащие соответственно 7,3%, 1,8% и 0,6% гидроксильных групп).

Модификацию полипропилена осуществляли путём нанесения на его поверхность раствора перекиси бензоила и полисилоксанполиола в ацетоне. Затем материал экструдировали с помощью червячно-дискового экструдера при температуре в зоне нормальных напряжений 210 °С.

Свойства модифицированного полипропилена приведены в таблице.

Свойства	Материалы				
	ПП	ПП+ПБ	ПП+ПБ+ПСП1	ПП+ПБ+ПСП2	ПП+ПБ+ПСП3
Показатель текучести расплава, г/10 мин.	2,29	2,80	6,13	3,7	1,82
Плотность, кг/м ³	902	860	910	918	917
Прочность при растяжении, МПа	26	31	49	58	56

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что одновременная модификация полипропилена органическими пероксидами и полисилоксанполиолом позволяет значительно повысить показатели его механических свойств.

На основе разработанных полимерных матриц были получены ПКМ армированные базальтовыми волокнами, с уникальными физико-механическими и теплофизическими свойствами: прочность при растяжении — 76,8 МПа, ударная вязкость по Шарпи — 107 кДж/м², теплостойкость по Вика — 169 °С.

РАСЧЕТ СВОЙСТВ АРМИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРОВ, СОДЕРЖАЩИХ МЕЖФАЗНЫЙ СЛОЙ

Д.А. Черноус

Институт механики металлополимерных систем НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

Несмотря на широкое практическое использование армированных полимеров, в настоящее время отсутствует общепринятая расчетная методика, позволяющая прогнозировать механические характеристики данных композитов во всем диапазоне варьирования объемного содержания и свойств компонент, а также учитывающая влияние межфазного слоя на свойства армированных полимеров. В связи с этим, актуальной является задача совершенствования известных методик механики композитов для получения расчетных оценок эффективных механических характеристик волоконно-армированного полимера, содержащего деформируемый межфазный слой. Для решения этой задачи в рамках настоящей работы осуществлена модификация известной трехфазной модели одноосно армированного композита. Данная модификация состоит во введении в структуру композита до-

полнительной компоненты, моделирующей межфазный слой. Полученную при этом модель можно рассматривать как четырехфазной.

В результате использования разработанной расчетной методики были получены концентрационные зависимости эффективных упругих характеристик волоконно-армированных композитов на основе политетрафторэтилена при хаотической ориентации волокон. Показано, что учет влияния межфазного слоя позволяет интерпретировать и описать экспериментально наблюдаемое для исследуемых материалов явление «насыщения». Это явление состоит в том, что при значении объемной доли арматуры φ порядка 10% наблюдается резкое снижение скорости роста модуля Юнга композита E по мере увеличения φ . Кроме того, использование четырехфазной модели позволило установить, что зависимость эффективного модуля Юнга композита от относительного объема межфазного слоя практически линейна.

Таким образом, разработана новая математическая модель для расчета эффективных упругих характеристик армированного бесконечными волокнами композита, содержащего межфазный слой. Данная модель обеспечивает адекватное описание процесса деформирования армированных полимеров и позволяет уточнить расчетные оценки механических свойств композитов.

МОДИФИЦИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ЭНДОПРОТЕЗА ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА

Н.В. Чернюк

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

В реконструированном с помощью эндопротезов (ЭС) суставе необходимо реализовать оптимальные режимы трения и смазки, а также создать физическое поле, моделирующее биополе, которое существует в неповрежденном синовиальном суставе. Цель настоящей работы — моделирование в конструкции ЭС функций здорового сустава путем:

1) модифицирования полимерной головки антифрикционными хондропротекторными препаратами с целью снижения ее травматического действия на хрящ вертлужной впадины;

2) придания поверхности ножки свойств электрета, чтобы улучшить биосовместимость и повысить надежность фиксации ножки в бедренной кости.

Сферическую головку эндопротеза, работающую в паре трения с хрящом, изготавливали из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), на поверхности которой формировали слой искусственного хряща, выполняющего функции упругого антифрикционного материала и пористого резервуара для смазочной жидкости. Микропоры поверхностного слоя головки заполняли коллоидным раствором на основе воды, нетоксичного биосовместимого полимера — поливинилового спирта (ПВС) и лекарственного средства (ЛС) — хондромина из группы хондропротекторов. На воздухе коллоидный раствор превращается в гель-подобное гиалиновому хрящу эластичное вещество, содержащее в свободном объеме матрицы равновесное количество водного раствора хондропротектора. В такой системе гель ПВС снижает трение головки о хрящ, а при контакте с биологическими жидкостями организма реализует синерезис — самопроизвольное пролонгированное выделение ЛС из пор.

На титановых ножках эндопротеза путем электрохимического анодирования формировали диэлектрическое пористое покрытие толщиной 6—12 мкм, состоящее из диоксида титана TiO_2 . Такое покрытие с развитой поверхностью обеспечивает врастание в ножку костной ткани и дополнительно, в силу формирования в электрическом поле, приобретает

стабильный электростатический заряд с эффективной поверхностной плотностью в пределах $0,1 \text{ нКл/см}^2$. Считают, что такой заряд повышает биосовместимость ножики.

Таким образом, предложен вариант модифицирования элементов ЭС, обеспечивающий реализацию ими синергического лечебного эффекта при имплантации.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МИКРОТРИБОМЕТРА НА ОСНОВЕ КАМЕРТОННОГО ДАТЧИКА

С.А. Чижик, А.Л. Худолей, В.В. Чикун, А.А. Станишевский

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

Стандартные трибологические испытания поверхностей требуют значительных затрат времени. Для материалов с высокой износостойкостью срок определения их ресурса в миллионах циклов может составлять несколько недель. Одним из новых методов экспресс-испытаний материалов является процедура осциллирующей трибологии, которая позволяет значительно сократить время испытаний и особенно эффективна для микро- и наноразмера измеряемых сил.

Целью данной работы являлась разработка и изготовление специализированного измерительного прибора, реализующего принцип осциллирующей трибологии, обеспечивающего экспресс-изучение процессов изнашивания на микроуровне с учетом адгезионных свойств материалов.

Основу микротрибометра составляет силовой датчик, который выполнен в виде дву-плечевого пьезоэлектрического камертона. Индентор в виде шара (контртело) закреплен на одном из плечей силового датчика. Причем к этому плечу подведен электрический сигнал от генератора. Второе плечо колеблется свободно с частотой и амплитудой равной частоте и амплитуде первого плеча с индентором, поэтому при помощи схемы детектирования, подключенной к силовому датчику через усилитель, выполняются измерения изменения частоты и амплитуды колебаний в процессе проведения трибологических испытаний. Силовой датчик закреплен на плоской пружине. Контроль силы нагружения и определение вертикального положения индентора осуществляется при помощи емкостного датчика. В микротрибометре предусмотрена возможность моторизованного подвода силового датчика от поверхности испытуемого образца при помощи шагового двигателя.

Микротрибометр снабжен системой оптического контроля для упрощения процесса позиционирования испытуемого образца и визуального наблюдения за ходом триботехнических измерений. Работа прибора по заданному алгоритму обеспечивается электронным блоком управления и специализированным программным обеспечением.

Использование разработанного микротрибометра на практике позволяет проводить ускоренные трибологические испытания со скоростями скольжения $0,001\text{—}10 \text{ мм/с}$, числом циклов до 30 тысяч в минуту и максимальным ходом до 2 мкм при нагрузках до $1,0 \text{ мН}$.

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ВИДА СОПРЯЖЕНИЯ И РАСЧЕТА ТОЧНОСТИ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ И ПОЛИМЕРНЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Е.В. Шалобаев, К.Н. Заикин, Д.Г. Суриков

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики –
Национальный исследовательский университет, Санкт-Петербург, Россия

В докладе ставится задача учета специфики пластмасс при назначении вида сопряжения и расчете параметров точности металлополимерных и полимерных зубчатых передач.

Основанием для такого учета является не только существенная разница в свойствах пластмасс и металлов, но и отсутствие нормативной базы. Например, разработан и действует ГОСТ 11709–81, который нормирует допуски и предельные отклонения размеров для метрической резьбы диаметром от 1 до 180 мм для деталей из пластмасс, соединяемых как с пластмассовыми, так и с металлическими деталями, однако подобная документация для зубчатых передач отсутствует, хотя масштаб применения полимерных и металлополимерных передач возрастает, о чем свидетельствует мировая и отечественная практика. Приведен ряд предложений по учету специфики полимерных материалов. Указанные предложения увязаны с общей идеей перестройки нормативной базы в области стандартизации параметров точности зубчатых колес и передач для учета реалий современного производства. Действующие стандарты в области нормирования параметров точности зубчатых колес и передач не пересматривались почти 30 лет. За это время произошли существенные изменения, связанные с миниатюризацией изделий и развитием микроэлектромеханических систем (например, модули зубчатых колес уменьшились до десятков мкм, а нормируются их значения лишь до 0,1 мм), изменилась материаловедческая база и технологии изготовления. Предложения об использовании стандартов ИСО реализованы в ряде стран СНГ — например, Украина ввела с октября 2007 года в качестве своего стандарта — ДСТУ-ISO 1328-1:2006 «Передачи зубчатые цилиндрические. Система точности по ISO. Часть 1. Определения и допустимые значения отклонений соответствующих боковых поверхностей зацепляющихся зубьев» (ISO 1328-1:1995), — что является одним из частичных путей решения указанной проблемы. В связи с вышеизложенным предложена методика применения имеющейся нормативной базы ГОСТ при проектировании элементов приводной техники с использованием металлополимерных и полимерных зубчатых передач. Предложенная методика апробирована на ряде промышленных предприятий России («ЛОМО», «Авангард», НТЦ «Редуктор»), а также используется при конструкторско-технологической подготовке инженеров СПбГУ ИТМО и при переподготовке инженеров в Ленинградском институте методов и техники управления (Академия «ЛИМТУ» СПбГУ ИТМО).

МОДИФИЦИРОВАННАЯ ДРЕВЕСИНА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ТРЕНИЯ

В.А. Шамаев, И.Н. Медведев

Воронежская государственная лесотехническая академия, Воронеж, Россия

Современный рынок конструкционных материалов представлен широким ассортиментом втулок и подшипников скольжения из цветных и чёрных металлов. Спрос на подшипники постоянно растёт в связи с развитием экономического сектора горнорудных, нефтегазодобывающих и металлообрабатывающих производств. При использовании в узлах трения таких механизмов металлических или пластмассовых подшипников происходит быстрый износ подшипников, снижается срок службы узлов трения и механизма в целом.

Поиск новых материалов и способов их производства для получения конструкционного материала на основе древесины с высокими прочностными показателями является в настоящее время актуальной задачей. Одним из таких материалов является модифицированная древесина марки «Древсталь», являющаяся аналогом текстолита.

Древесину марки «Древсталь» изготавливают из древесины березы, бука путем химического, физического и механического воздействия. Технологический процесс производства модифицированной древесины состоит из следующих этапов: 1) Подготовка древесного сырья; 2) Атмосферная сушка; 3) Сушка в СВЧ сушильных камерах; 4) Аэрозольная пропитка заготовок антифрикционными составами в трех направлениях; 5) Укладка заго-

товок в прессформу; 6) Обработка заготовок ультразвуком; 7) Прессование заготовок; 8) Замораживание заготовок; 9) Термообработка заготовок в приемниках; 10) Обработка заготовок импульсным-магнитным полем; 11) Дефектоскопия брусков и сортировка по качеству; 12) Вакуумная упаковка прессованных брусков; 13) Складирование готовой продукции.

Преимущества разработанной технологии заключаются в следующем: применяются известные технологические приемы модифицирования древесины; модификация ведется на всех уровнях (нано-, микро- и макро-уровень) строения древесины; обеспечивается высокое качество и стабильные физико-механические характеристики выпускаемых брусков, взаимозаменяемость исходного сырья и более низкая себестоимость продукции по сравнению с аналогами. Характеристика материала: плотность 1300 кг/м³, влажность 2—3%, предел прочности при сжатии 200 МПа, твердость 300 МПа, коэффициент трения 0,05—0,06.

Создаваемый производственный комплекс позволит выйти на проектную мощность — 700 кг модифицированной древесины “Древсталь” в сутки.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ШПАЛ ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ И ПОДЪЕЗДНЫХ ПУТЕЙ

В.М. Шаповалов¹, Д.И. Бочкарев², В.Е. Рогачев³, Е.М. Лапшина¹, К.С. Носов¹, А.В. Чуб⁴

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А.Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

³Белорусская железная дорога, Минск, Беларусь

⁴ДК ПУП «Экопластсервис», Гомель, Беларусь

Шпалы являются важным элементом верхнего строения пути. С ростом осевых нагрузок и скорости движения поездов возрастает интенсивность их износа и, как следствие — повышаются требования к их эксплуатационным характеристикам.

В настоящее время все большую конкуренцию шпалам из традиционных материалов (древесина, железобетон) составляют шпалы из композиционных материалов. Мировой опыт в данной области свидетельствует о развитии различных технологий производства шпал из композитов, которые в основном базируются на использовании в качестве исходного сырья смеси, содержащей вяжущее на основе термопластичного полимера (полиэтилена, полипропилена или полистирола) и наполнитель на основе дисперсного минерального материала (кварцевого песка, отсева дробления, древесных опилок, стекловолокна, измельченной резины и т.д.). В ряде технологий применяется литье заранее приготовленной смеси под давлением в закрытые формы, подача смеси и последующее ее прессование с одновременной термообработкой или экструдирование в пресс-формы. Во всех процессах пресс-формы необходимо охлаждать в водяных ваннах или воздухом. Данная технология позволяет придавать шпалам различную форму, а также выполнять их поверхность рифленой для лучшего сопротивления сдвигу в кривых участках пути. Производительность применяемого оборудования ограничивает объемы производства, однако возможность применения полимерных отходов, а также технологичность последующей переработки обеспечивают стоимость шпал из композитов в интервале между стоимостью деревянных и железобетонных шпал.

В ИММС НАН Беларуси совместно со специалистами отраслевой научно-исследовательской лаборатории пути БелГУТа выполнены исследования по подбору рецептуры отечественного композиционного материала для производства шпал, который содержит песок в качестве наполнителя, термопластичный полимер (в том числе из отходов производства и потребления) в качестве вяжущего и полифункциональную добавку. Одновременно предложен способ изготовления шпалы, включающий установку в пресс-форму ар-

матуры отдельно или вместе с анкерными болтами рельсовых скреплений, подачу заранее приготовленной массы и ее прессование с одновременной термообработкой. В докладе приведены физико-механические характеристики разработанного композиционного материала.

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ВОЛОКНИСТЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ ИЗ БАЗАЛЬТОВЫХ И ПОЛИОКСАДИАЗОЛЬНЫХ ВОЛОКОН. ПРЕИМУЩЕСТВА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

А.В. Шаронов

ООО «Суперпласт», Москва, Россия

В последнее время в различных отраслях промышленности (строительство, автомобилестроение, приборостроение и т. д.) наблюдается рост потребности в полимерных композиционных материалах с армирующими волокнистыми наполнителями. Это связано с открытием новых областей их применения в качестве замены более дорогостоящих изделий и конструкций из специальных сплавов, сталей и цветных металлов. В связи с этим возрос и уровень требований к применяемым полимерным композиционным материалам.

В данной работе были выбраны волокнистые наполнители из базальтового и полиоксадиазольного волокна «Арселон», получены образцы органопластиков и базальтопластиков с различными типами матриц и проведены исследования их свойств, в сравнении с существующими аналогами. Исследования проводили по стандартным методикам.

В результате исследований было установлено, что реактопласты с применением базальтоволокнистых наполнителей превосходят аналогичные стеклопластики по ударной вязкости на 75%, по модулю упругости на 37%. Преимущества наполненных полиамидов с базальтовым волокном по прочностным характеристикам над стеклонаполненным, в среднем составляют 30—40%.

Использование в качестве термореактивной матрицы связующего на основе эпоксиноволачной смолы увеличивает прочностные характеристики органопластика триботехнического назначения в среднем на 35% в сравнении с органопластиком на фенольной матрице. В данной композиции также наблюдается улучшение диэлектрических свойств.

Увеличение механо-прочностных характеристик эпоксиноволачных органопластиков триботехнического назначения в сравнении с фенольными позволяют расширить сферу их применения в более ответственных и нагруженных узлах трения, а улучшенные диэлектрические свойства найдут свое применение в высококачественных изоляционных и радиопрозрачных материалах и изделиях. Полимерные композиционные материалы с базальтоволокнистым наполнителем увеличат энергоэффективность и долговечность существующих конструкций, материалов и изделий и будут востребованы в различных отраслях промышленности.

Работа выполнена совместно с ООО «НИЦ «Вискоза» в рамках научно-технической программы Союзного государства «Современные технологии и оборудование для производства новых полимерных и композиционных материалов, химических волокон и нитей на 2008—2011 годы»

ПРИВИВКА ВИНИЛЦИКЛОПРОПАНКАРБОНОВОЙ КИСЛОТЫ К ПОЛИПРОПИЛЕНУ И ПОЛУЧЕНИЕ НАПОЛНЕННЫХ КОМПОЗИТОВ

Р.З. Шахназарли¹, А.А. Азимзаде¹, А.М. Гулиев¹, Ю.М. Кривогуз², О.А. Макаренко²

¹Институт полимерных материалов НАН Азербайджана, Сумгайыт, Азербайджан

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

В представленной работе исследован процесс прививки винилциклопропанкарбонической кислоты (ВЦПК) к ПП в условиях его переработки. Для этого вначале ВЦПК и перекись бензоила растворяли в ацетоне. После обработки этим раствором порошкообразного ПП испаряли ацетон и смесь экструдировали. Установлено, что увеличение количества ВЦПК в реакционной системе приводит к возрастанию количества как привитого ПП-ВЦПК, так и поли-ВЦПК, однако эффективность прививки при этом снижается. Найдено, что в зависимости от содержания ВЦПК в реакционной системе можно получить ПП-ВЦПК с различной степенью прививки. На основе полученного привитого ПП-ВЦПК с использованием бентонита, обработанного сополимером диметилдиаллиламмоний хлорида с SO₂ (СПС) в качестве наполнителя, были изготовлены композиты и исследованы их свойства. Композиты были изготовлены на пластографе Брабендер путем перемешивания смеси порошкообразного привитого ПП-ВЦПК и бентонита, обработанного раствором СПС. Образцы из композитов прессовали при давлении 15,0 МПа и кондиционировали при комнатной температуре в течение 2 суток.

Полученные результаты показали, что при использовании СПС как аппретирующего агента обнаруживается синергический эффект, выражающийся в значительном возрастании σ_p композитов. Наличие синергического эффекта обусловлено оптимальным соотношением ПП-ВЦПК и бентонита. При этом количество полярных карбоксильных групп в сополимере ПП-ВЦПК становится достаточным для образования водородных связей в композите. Модификация поверхности бентонита СПС приводит к увеличению органочувствительности наполнителя, улучшает диспергирование его в полимерной матрице и создает межфазный слой, обеспечивающий хорошее взаимодействие полимера с наполнителем. Установлено, что при использовании СПС относительное удлинение увеличивается с возрастанием количества ВЦПК. Введение же бентонита в композиты приводит к резкому уменьшению ударной вязкости. Однако, после обработки ПП-ВЦПК СПС ударная вязкость с увеличением степени наполнения возрастает. Данные ТГА указывают на то, что температура, соответствующая 50% потери массы, возрастает с увеличением степени наполнения ПП-ВЦПК, количества ПП-ВЦПК в композиции и количества использованного СПС.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ и НАН Азербайджана (гранты №Т10АЗ-005 и №Т10АЗ-005).

МЕХАНИКА АДАПТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ В РЕШЕНИИ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ ТРИБОТЕХНИКИ И БИОМЕХАНИКИ

С.В. Шилько

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

При функционировании биологических систем достаточно часто наблюдаются целесообразные (приспособительные и компенсаторные) реакции на изменение внешних условий. Во многом благодаря этому достигаются особые, исключительно высокие деформационно-прочностные и антифрикционные характеристики биоматериалов и органов (равнопрочность, самозалечивание, безысходность, аномально низкое трение, оптимальная гемодинамика и т.п.). В связи с этим, актуальна разработка материалов и конструкций технического назначения с элементами авторегулирования и адаптивности к внешним

условиям, как в макроскопическом (на уровне изделия), так в мезоскопическом (на уровне структурных единиц материала) масштабах.

К таким процессам относятся, например, явления приработки поверхности и упруго-пластической приспособляемости. С другой стороны, контактные процессы трения и адгезии на поверхности раздела структурных элементов гетерогенного материала оказывают существенное влияние на его прочность и деформативность; тем самым, неоднородность и нестационарность граничных условий на уровне отдельных фаз и включений следует учитывать в рамках мезомеханического анализа адаптивных композитов.

Анализ подобных ситуаций приводит к формулировке и решению активно изучаемых задач механики о подвижной границе для теоретического обоснования возможности управления подвижными контактными границами (автолокализации) при деформировании и трении адаптивных материалов и конструкций с целью обеспечения оптимальности фрикционных и механических характеристик материалов и конструкций в широком диапазоне внешних воздействий. Таким образом, фундаментальное и прикладное значение имеет создание научных основ междисциплинарного направления — механики адаптивных материалов и конструкций.

В настоящей работе исследуются адаптивные механические реакции в гетерогенных материалах и биотканях, композитах и трибосопряжениях при силовом и термическом воздействии. Предложена гипотеза, согласно которой в переходных процессах деформирования, трения и разрушения имеет место подвижность границ контактного и межфазного взаимодействия, а также взаимовлияние конфигурации подвижных границ и деформационных свойств материала (конструкции).

В рамках указанной гипотезы показана возможность использования аномалий упругости и эффекта подвижности границ контактного и межфазного взаимодействия в процессах трения, деформирования и разрушения для авторегулирования механических и фрикционных свойств материалов и конструкций, т.е. реализации адаптивных реакций на внешнее воздействие.

При проведении исследования использованы теоретические (структурно функциональный анализ; вариационные подходы, численное моделирование) и экспериментальные методы механики деформируемого твердого тела и трибологии. Разработаны научные основы контактной механики адаптивных материалов и биотканей, включая формулировку принципов создания адаптивных материалов; классификацию материалов в терминах подвижных границ; мезомеханические и математические модели деформирования и трения аномально упругих (ауксетичных и мультимодульных) материалов, а также их технические и медицинские приложения.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ ТРУБ И ИХ УПЛОТНЕНИЙ ПРИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

С.В. Шилько¹, В.В. Можаровский², А.Н. Конопацкий³, А.С. Мурычев³

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь

³Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

Металлополимерные (металлопластовые) трубы широко используются в системах водо- и теплоснабжения благодаря удобству монтажа, коррозионной стойкости, большим предельно допустимым деформациям, устойчивости к замораживанию теплоносителя и др. преимуществам. Тем не менее, существуют критические режимы эксплуатации, при которых работоспособность указанных труб и уплотнительных элементов изучена недостаточно. Так, причиной аварии (разрыва трубы) является сочетание высокого давления и изгиба в результате смещения опор, осадки грунта, пореза или иного дефекта на внутрен-

ней или внешней поверхности трубы. Уплотнения и фитинги в виде комбинированных (металлопластовых или резинометаллических) элементов работают в условиях термоциклирования и, в связи с различными показателями теплового расширения компонентов, подвержены малоамплитудному изнашиванию по типу фреттинга, что также может быть причиной разгерметизации. Существующие стандартные методы механических и триботехнических испытаний указанных материалов не вполне моделируют указанные ситуации, что требует разработки специальной методики исследования.

Целью исследования было воспроизведение в лабораторных условиях и путем компьютерного моделирования экстремальных силовых воздействий на композитные элементы трубопроводов.

В результате испытаний труб из металлопласта по схеме трехточечного изгиба при варьировании внутреннего давления в пределах 0—0,8 МПа (Instron 5567, компрессор СБ4/С-24.GM244) установлено существенное влияние давления в трубе на характеристики деформирования. Были также получены экспериментальные зависимости «усилие – перемещение» при деформировании уплотнительного резинового элемента при различных условиях закрепления его торцевой и боковой поверхностей. Проведенные механические и трибомеханические испытания анализировались также на геометрически идентичных конечноэлементных моделях с использованием экспериментальных значений статического и динамического коэффициента трения «резина – сталь» и модуля упругости резины, что позволило получить подробные распределения контактных напряжений и перемещений, а также оценить концентрацию напряжений в уплотнениях и композитных трубах с поверхностным дефектом.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИМИ ПРОИЗВОДНЫМИ ХОЛЕСТЕРИНА

Р.А. Шулдыков, А.Л. Богданов

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

Как известно, в развитии современной техники важную роль играют высокоэффективные смазочные материалы (СМ), позволяющие повысить качество и эффективность существующих методов и средств защиты поверхностей и деталей трения. В узлах трения одной из важных характеристик смазочных материалов является смазочная способность масел и пластичных смазок. К таким характеристикам относят антифрикционные, противозадирные и противоизносные. Для улучшения этих характеристик применяются присадки. В настоящее время известно достаточно много различных по происхождению присадок. Однако существенный интерес вызывает применение в качестве присадок жидкокристаллических производных холестерина (ЖКПХ), это связано с особенностью их структуры — благодаря упорядоченной ориентации молекул в слоях, которые повторяются периодически на равном расстоянии, сдвиг таких слоев происходит достаточно легко.

Целью работы является исследование влияния ЖКПХ на триботехнические свойства различных по природе и свойствам смазочных материалов.

В качестве базовой основы, в которую вводились присадки, были выбраны минеральные масла (индустриальные масла, вазелиновое масло, моторные масла и др.) и пластичные смазки (Литол 24, Солидол Жировой, Солидол Н и др.). В качестве ЖКПХ использовали олеат холестерина. Испытания проводились на четырехшариковой машине трения (ЧШМ) по ГОСТированной и специально разработанной методике, которая заключалась в проведении испытаний при 392 Н в течении 1, 2, 4 и 8 часов.

При анализе полученных результатов испытаний СМ было установлено, что оптимальной концентрацией ЖКПХ в маслах и пластичных смазках является 1—3 мас.%.

Установлено, что топография поверхностей трения, несущих адсорбированную на них пленку ЖКПХ, наиболее благоприятна не только для снижения локальных контактных напряжений в зоне трения, но и уменьшения тепловыделения и деформационных потерь при фрикционном взаимодействии. Показано, что длительность формирования равновесного микрорельефа сокращается с ростом концентрации ЖКПХ-добавок в смазочных материалах. Отмечено, что при введении ЖКПХ показатель износа уменьшается в 1,3—1,6 раза, критическая нагрузка смазочного материала увеличивается в 1,15—1,3 раза.

Таким образом, проведенные исследования позволили получить новые экспериментальные данные, свидетельствующие о более высоких триботехнических характеристиках различных по природе и свойствам смазочных материалов, модифицированных ЖКПХ.

ИССЛЕДОВАНИЕ АДСОРБЦИИ κ -КАРРАГИНАНА НА ЗОЛОТЕ И МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОЛИЭТИЛЕНИМИНОМ ПОВЕРХНОСТИ МЕТОДОМ КВАРЦЕВОГО МИКРОВЗВЕШИВАНИЯ

Т.Г. Шутова¹, В.И. Куликовская¹, Фам Хонг Хай², Чан Динь Тоай²

¹Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь

²Институт химии природных соединений ВАНИТ, Ханой, Вьетнам

Каррагинаны являются перспективными биосовместимыми полиэлектролитами, пригодными для формирования стабильных нано/микроструктур (тонкопленочных покрытий, наночастиц и микрокапсул).

Сульфатированный галактан **I**, выделенный из красных водорослей *Eucheuma gelatina*, по структуре и свойствам наиболее близок к κ -каррагинану (**II**, *Sigma*). Макромолекулы **II** состоят из повторяющихся моносакхаридных звеньев 4-О-сульфо-(1→3)- β -D-галактопиранозы и (1→4)-3,6-ангидро- α -D-галактопиранозы, а в **I** протяженные участки κ -каррагинана (до 50 мас.%), по-видимому, чередуются с участками несulfатированных дисахаридных звеньев.

Количественные закономерности адсорбции κ -каррагинанов на немодифицированной (Au) и модифицированной слоем полиэтиленмин/полистиролсульфонат/полиэтиленмин (ПЭИ/ПСС/ПЭИ) поверхности изучали методом кварцевого микровзвешивания на приборе QCM200 (*Stanford Research Systems, USA*) с использованием жидкостной проточной ячейки. Регистрировали изменения частоты колебаний (ΔF) и динамического сопротивления (ΔR) резонатора, постоянно находящегося в контакте с растворами **I** и **II** возрастающей концентрации.

В растворах каррагинанов с концентрацией 0,001—0,05 мг/мл ΔR мало, а изменения ΔF вызваны увеличением тонкопленочной нагрузки при адсорбции полисахаридов на поверхности резонатора за счет гидрофобных (Au) и электростатических связей (ПЭИ/ПСС/ПЭИ подслои). $\Delta F/\Delta R$ в разбавленных растворах **I** и **II** находится в пределах — 11÷16 Гц/Ом. Оценены константы изотерм адсорбции **I** и **II** на различных поверхностях. Низкое значение константы равновесия адсорбции **I** на слое ПЭИ хорошо коррелирует с наличием незаряженных участков в структуре полисахарида. Наблюдаемые при замещении воды 1 мг/мл раствором каррагинана **II** резкие изменения F и R возможно вызваны адсорбцией солей, присутствующих в полимере.

В контакте с поверхностью немодифицированного резонатора 0,05—3,0 мг/мл растворы каррагинанов **I** и **II** проявляют свойства вязких ньютоновских жидкостей ($\Delta F/\Delta R = -2,4$ Гц/Ом). В то же время для резонаторов, поверхность которых модифицирована слоем ПЭИ/ПСС/ПЭИ, $\Delta F/\Delta R$ равны —3,2 Гц/Ом, что указывает на сложный характер взаимодействия поверхности, модифицированной тонкой пленкой полиэлектролитов, и вязких растворов κ -каррагинана.

ВЛИЯНИЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ ОТ ВНЕКОНТАКТНОЙ НАГРУЗКИ НА ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТРЕНИЯ

С.С. Щербаков¹, В.В. Комиссаров²

¹Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

²Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

В докладе на основе феноменологического подхода сформулирован обобщенный закон трения, согласно которому сила трения пропорциональна как контактной, так и объемной нагрузке, если последняя возбуждает циклические напряжения в области контакта. Представлены разные его формы. Показано, что численные значения коэффициента (силы) трения в трибофатической системе могут быть, в зависимости от условий испытания, больше или меньше аналогичных характеристик в паре трения.

Дано аналитическое решение задачи определения силы и коэффициента трения в трибофатической системе. Оно базируется на следующих положениях: а) изменение граничных условий в области контакта может быть учтено с помощью приложения дополнительных граничных условий в виде поверхностных перемещений, вызванных действием неконтактной нагрузки; б) сила и коэффициент трения формируются приведенной контактной нагрузкой, состоящей из собственно контактного давления и дополнительного контактного давления, обусловленного перемещениями от неконтактной силы. Дан анализ зависимостей коэффициента трения в трибофатической системе от уровня контактной и внеконтактной нагрузок и их соотношений.

Представлены результаты систематического экспериментального анализа закономерностей влияния напряжений, обусловленных внеконтактной нагрузкой, на изменения момента трения и коэффициента сопротивления качению. Произведено сравнение с теоретическими результатами. Показано, что расчетные оценки удовлетворительно соответствуют экспериментальным результатам.

РОЛЬ ДИСПЕРСНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ В САМОСМАЗЫВАЮЩИХСЯ МАТЕРИАЛАХ АРМИРОВАННЫХ ВОЛОКНАМИ

А.С. Юдин¹, А.П. Краснов¹, Д.И. Буяев¹, О.В. Афоничева¹, Б.Я. Сачек², В.Б. Баженова¹

¹Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, Москва, Россия

²Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва, Россия

Основное отличие полимерных материалов от других антифрикционных композитов заключается в их способности при трении реализовывать эффект самосмазывания позволяющий создавать узлы трения без внешней смазки. Особенно необходимо повышение эффекта самосмазывания в узлах трения в случае износостойких полимерных композитов армированных органическими волокнами, поскольку их практически единственным недостатком является относительно высокий и нестабильный коэффициент трения, а также высокая контактная температура.

Данная работа посвящена поиску путей создания композиционных материалов армированных органическими волокнами с повышенным эффектом самосмазывания за счет введения в полимер не используемых ранее для этой цели дисперсных наполнителей.

Основным объектом исследования был фенольный органоласт на основе фенолоформальдегидных олигомеров.

Исследовали возможность использования в композите полученного механохимическим синтезом интеркаляционного наполнителя — органобентонита с содержанием монтмориллонита >90%. Предполагалось, что в результате элементарные слои органобентонита должны в процессе трения создавать тончайшие нанослои, обеспечивающие низкое трение и, в то же время, более высокую износостойкость, чем при введении того же коли-

чества жидкой смазки. Для исследования вводимых добавок в качестве антифрикционного наполнителя была разработана специальная методика исследования дисперсных антифрикционных наполнителей типа органобентонита — методика трения между стальными контртелами.

Вторым исследованным дисперсным наполнителем был модифицированный MoS_2 с резко повышенной термоокислительной стабильностью. Полученные дисперсные наполнители вводили в связующее, которым пропитывали ткани на основе органических волокон.

Трибологические исследования показали, что полученный органобентонит не удовлетворяет требованиям. Введение модифицированного MoS_2 привело к резкому понижению коэффициента трения и повышению стабильности трения с 200 до 220 °С.

Проведенное поисковое исследование позволило выделить основные направления изучения многокомпонентных армированных композитов с целью установления их способности к процессам самоорганизации при повышенных температурах.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН -22.

К ОЦЕНКЕ МЕЖСЛОЕВОЙ АДГЕЗИИ В КОМБИНИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЯХ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТОВ

О.Р. Юркевич, Е.В. Иноземцева

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

Комбинированные покрытия позволяют не только аддитивно сочетать свойства различных полимеров, но и получать дополнительные преимущества за счет формирования переходной зоны между слоями, свойства которой могут улучшить качество покрытий, в частности, защитные свойства. Об уровне взаимодействия полимеров обычно судят по величине прочности адгезионной связи, возникающей между слоями.

Целью работы являлось изучение структуры и свойств комбинированных покрытий, формируемых из дисперсных термопластов: полиамида (ПА-6), полиэтилентерефталата (ПЭТФ), полиэтилена (ПЭНД) и полиэфира (со-ПЭТ).

В дисперсном виде ПА-6, ПЭТФ и со-ПЭТ получали измельчением гранул криогенным способом. Порошок ПЭНД использовали в состоянии поставки. Покрытия формировали из полидисперсных порошков с размером частиц менее 315 мкм в два слоя двух типов. В одном случае первый слой состоял из ПА-6, во втором случае — из ПЭТФ, поверх которого формировали слои из ПЭНД и со-ПЭТ.

Образцы покрытий получали методом свободного спекания контролируемого по толщине слоя порошка на алюминиевой фольге в два этапа. Вначале формировали слои из ПА-6 и ПЭТФ по режимам, установленным в предварительных экспериментах. После охлаждения образцов на поверхность первого слоя насыпали порошок низкоплавкого термопласта и термообработывали по различным температурно-временным режимам. О характере взаимодействия между слоями судили по величине прочности формируемых модельных соединений.

Результаты исследований показали, что в процессах получения покрытий, состоящих из слоя высокоплавкого полимера, контактирующего с субстратом, и внешнего слоя из низкоплавкого полимера, между слоями формируется переходная зона, свойства которой существенно зависят от условий и режимов контактирования. Установлены режимы получения комбинированных покрытий, межслоевая адгезия у которых достигает значений когезионной прочности наименее прочного полимера. Рассмотрены конструктивные варианты усиления межслоевого взаимодействия.

Обсуждается механизм адгезионного взаимодействия термодинамически несовместимых термопластичных полимеров.

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Ю.В. Юркин, В.Д. Черкасов, В.В. Авдонин

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск, Россия

Для прогнозирования динамических свойств композиционных материалов наиболее широкое применение в инженерной практике нашли 2 метода: метод, использующий принцип упруго-вязкоупругой аналогии и метод энергии деформаций. Анализируя формулы коэффициента потерь композита, вычисляемого по любому из методов, можно установить, что для типичного случая, когда модуль упругости наполнителя много больше, а коэффициент потерь наполнителя много меньше, нежели у матрицы, с увеличением доли наполнителя демпфирующие свойства композита снижаются. Эта зависимость справедлива для случая, когда в качестве матрицы выступают такие полимеры, эксплуатируемые в стеклообразном состоянии (например, эпоксидная или полиэфирная смола). Однако, когда в качестве матрицы выступает полимер, эксплуатируемый в высокоэластическом состоянии (например, бутилкаучук или битум), вопреки теоретическим ожиданиям, с увеличением доли наполнителя увеличивается и коэффициент потерь композита.

Предлагаемая методика позволяет преодолеть указанную проблему за счет учета в модели композиционного материала межфазного взаимодействия компонентов, а также зависимости динамических свойств матрицы от температуры. Модель композита, представляет из себя трехфазную модель, состоящую из полимерной матрицы, переходного (межфазного) слоя полимера и зернистого наполнителя. Такая модель не нова, но нами впервые установлена практическая методика определения объема и динамических свойств переходного слоя. На основании различных научных исследований, свойства межфазного слоя численно равны свойствам полимера, полученными при смещении температурной зависимости на 3—5 °С в область высоких температур. Отношение количества матрицы в граничном состоянии к общему содержанию полимера вычисляется исходя из того, что при объемном содержании наполнителя 35%, весь полимер переходит в граничное состояние.

Разработанная методика имеет хорошее соответствие с экспериментом для любых композитов, основанных как на полимерах, эксплуатируемых в стеклообразном состоянии, так и в высокоэластическом. Кроме того, методика дает возможность оценить свойства композита при различных температурах.

НОВЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ТРИБОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИТИТАНАТА КАЛИЯ И ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

Г.Ю. Юрков^{1,2}, В.М. Бузник^{1,2}, А.В. Гороховский³, Д.П. Кирюхин^{4,2}, Ю.Е. Вопилов^{5,2}

¹Институт металлургии и материаловедения им. А.А.Байкова РАН, Москва, Россия

²Консорциум «Фторполимерные материалы и нанотехнологии», Москва, Россия

³Саратовский государственный технический университет, Россия

⁴Институт проблем химической физики РАН, Москва, Россия

⁵Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова, Москва, Россия

Эффективность использования машин и механизмов во всех сферах деятельности человека во многом определяется свойствами применяемых смазочных материалов. Наиболее простым и экономически выгодным подходом для улучшения свойств смазочных материалов является применение специальных антифрикционных и противозадирных добавок, в большинстве случаев которые основаны на сульфиде молибдена.

В данной работе показана возможность замены сульфида молибдена на новый композиционный материал на основе полтитаната калия (ПТК) и ультрадисперсного политетрафторэтилена (УПТФЭ). Исходный ПТК был синтезирован по запатентованной методике, с использованием реакционной смеси, состоящей из 10% TiO_2 , 20% КОН и 70% KNO_3 при температуре 500 °С. После процедур очистки и измельчения полученного ПТК для улучшения его трибологических свойств, он был покрыт наноразмерной плёнкой ПТФЭ. Для этого использовали два подхода — покрытие низкомолекулярной фракцией ПТФЭ с использованием сверхкритического оксида углерода и покрытие из теломеров ТФЭ с последующей его полимеризацией, с образованием монослойной плёнки ПТФЭ.

Полученные образцы были охарактеризованы методами рентгенофазового анализа, сканирующей и просвечивающей электронной микроскопиями и были исследованы их трибологические свойства. Для определения трибологических свойств, полученные образцы добавлялись в качестве присадки (3 мас.%) к базовой смазке (Литол-24). В результате эксперимента было показано, что при добавлении полтитаната калия модуль силы трения уменьшается на 20% по сравнению с исходной смазкой и на 10% по сравнению с аналогичной смазкой с добавлением сульфида молибдена. При этом сила трения уменьшается на 45% по сравнению с исходной смазкой.

Таким образом, в ходе исследования был получен новый композиционный наноструктурированный материал, который может быть успешно применён в качестве присадки к смазочным маслам.

Работа выполнена в рамках Программы Президиума РАН «Разработка методов получения химических веществ и создание новых материалов», РФФИ (№11-08-90436-Укр_ф_а и 11-08-00015-а).

ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНЫХ ВОЛОКОН ДЛЯ ШУМОПНИЖАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Н.В. Якимович, С.Н. Бухаров, М.А. Демусков

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

Постоянное ужесточение экологических требований к конструкционным материалам, а также к технологиям их изготовления и утилизации, требует от конструкторов транспортных средств поиска новых экологически безопасных материалов. Одними из таких материалов являются нетканые материалы на основе природных волокон. Технология производства данных материалов может быть успешно адаптирована к имеющемуся в СНГ оборудованию, а применение местного растительного сырья позволит снизить себестоимость и повысить конкурентоспособность отечественной автотракторной техники на мировом рынке.

Цель данной работы — создание экологически безопасных, звукопоглощающих материалов для шумопоглощающих конструкций интерьера транспортных средств.

В работе экспериментально исследованы акустические свойства материалов из смеси природных и искусственных (однокомпонентных и двухкомпонентных) волокон, отличающихся структурой и типом. Акустические характеристики разработанных материалов сравнивались с зарубежными аналогами (материалы фирмы «SachsenLeinen GmbH», Германия).

Измерения нормального коэффициента звукопоглощения нетканых материалов проводились методом акустического интерферометра (СТБ 1438-2004) в диапазоне частот 500—2000 Гц.

Эффективность применения звукопоглощающих материалов ограничивается величиной коэффициента звукопоглощения в области низких частот. Исследования показывают,

что разработанные материалы, в сравнении с широко используемыми в настоящее время в отечественном машиностроении, обеспечивают существенное повышение коэффициента звукопоглощения во всем исследуемом диапазоне частот. В области частот 500—800 Гц для материалов с двухкомпонентным искусственным волокном отмечено существенное (20—30%) повышение коэффициента звукопоглощения в сравнении с лучшими зарубежными аналогами.

НАБУХАНИЕ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРОВ АКРИЛАМИДА С 2-АКРИЛАМИД-2-МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОКИСЛОТОЙ И 2-АКРИЛАМИД-2-МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОНАТОМ НАТРИЯ В РАСТВОРАХ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Л.Б. Якимцова, Е.С. Попко

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Полиэлектролитные гидрогели (ПЭГГ) находят все большее применение в медицине, сельском хозяйстве и при добыче нефти. В этих областях в последнее время используют гидрогели на основе сополимеров (СП) акриламида с 2-акриламид-2-метилпропансульфокислотой (АМПС) и 2-акриламид-2-метилпропансульфонатом натрия (АМПС-Na). Распространенным способом получения таких гидрогелей является свободно-радикальная сополимеризация акриламида с АМПС или АМПС-Na в присутствии сшивающего агента N,N'-метилтен-бис-акриламида (МБАА), инициированная персульфатом аммония. На степень набухания ПЭГГ влияют соотношение заряженных и незаряженных звеньев в СП, степень диссоциации ионогенных групп, густота пространственной сетки, химическое строение и концентрация низкомолекулярных электролитов в водных растворах, в которых происходит набухание гидрогеля и др.

Цель настоящей работы — получение ПЭГГ на основе СП акриламида с АМПС и АМПС-Na и определение влияния соотношения мономеров в реакционной смеси, количества МБАА, концентрации и строения низкомолекулярных электролитов в растворе на степень набухания гидрогелей.

Зависимость степени набухания от концентрации и строения низкомолекулярных электролитов определяли в изотоническом растворе, растворе ампициллина натриевой соли и хлоргексидина биглюконата с целью создания лекарственных форм пролонгированного действия. Установлено, что набухание ПЭГГ зависит экстремально с максимумом от мольной доли АМПС в мономерной смеси. За счет экранирующего воздействия противоионов степень набухания в изотоническом растворе и растворе ампициллина натрия в несколько раз ниже, чем в дистиллированной воде. Влияние низкомолекулярного электролита на набухание геля в наибольшей степени сказывается при низком содержании МБАА. Увеличение концентрации водного раствора натриевой соли ампициллина и хлоргексидина биглюконата выше 0,5% практически не влияет на степень набухания и количество вводимого в гель лекарственного вещества.

МЕТОДИКИ НАЗЕМНЫХ И ОРБИТАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ МАТЕРИАЛОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ «ТРИБОКОСМОС»

А.Я. Григорьев¹, В.Л. Басинюк², Е.И. Мардосевич², В.Г. Кудрицкий¹, И.Н. Ковалева¹

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Дальнейшее освоение околоземного пространства не может быть обеспечено только наращиванием числа и частоты вывода на орбиту объектов космической техники, даже при использовании перспективных средств их доставки. Успешное решение этой задачи

неразрывно связано с увеличением надежности и ресурса орбитальных аппаратов. Одной из задач, возникающих при реализации этих требований, является обеспечение необходимого ресурса работы узлов трения, работающих в открытом космосе.

В настоящее время в рамках программы «Космос-НГ» планируется проведение на международной космической станции эксперимента «Трибокосмос» по испытанию перспективных антифрикционных и износостойких материалов космической техники. Постановка эксперимента предусматривает решение комплекса задач, включающих создание испытательной аппаратуры, разработки новых материалов, наземных и бортовых методик испытаний. Планируемый эксперимент отличает значительное расширение исследовательской программы по сравнению с предшествующими подобными испытаниями. Для увеличения объема информации, предусматривается проведение серии имитационных наземных экспериментов и сравнение полученных данных с результатами космического эксперимента.

Рассмотрены вопросы аппаратно-методического обеспечения космических и наземных испытаний материалов на трение и износ. Приведены основные характеристики используемого в эксперименте триботехнического оборудования. Описан метод оценки и подбора эквивалентных условий проведения космических и наземных испытаний. Предложенный подход заключался в сравнении результатов бортовых и наземных исследований в многомерном пространстве признаков. Входные и выходные параметры каждого эксперимента интерпретировались как координаты некоторой точки, представляющей состояние сравниваемых трибосистем в многомерном пространстве признаков. Анализ расстояний между соответствующими точками позволил решить задачу подбора эквивалентных условий проведения наземных испытаний и осуществить прогностическую оценку неконтролируемых в ходе космического эксперимента параметров.

ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ КЛАСТЕРНЫХ СТРУКТУР В ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТАХ

В.А. Лиопо, А.В. Никитин, Л.В. Михайлова, С.В. Авдейчик

Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Гродно, Беларусь

Известно, что при перемешивании смеси наночастиц с матричным полимером образуются их дивергентные потоки. Поэтому даже при отсутствии взаимодействия между частицами их концентрация на локальном уровне изменяется в широких пределах. Эти изменения носят динамический характер и приводят к образованию областей, в которых концентрация частиц модификатора будет выше, чем средняя концентрация по объему.

Цель настоящей работы состояла в анализе механизмов образования кластерных структур модификатора в полимерных наноккомпозитах на термопластичной матрице.

При диспергировании полуфабрикатов вследствие статистического распределения атомов на ювенильных поверхностях наночастицы приобретают заряд q . Силы электростатического взаимодействия между заряженными наночастицами определяется из выражения

$$F_{ij} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{q_i q_j}{R_{ij}^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{q_i q_j}{R_{ij}^2},$$

где R_{ij} – расстояние между соседними частицами; q_i ,

q_j – электрический заряд наночастиц.

Если не учитывать вязкость расплава матрицы, то относительное ускорение, получаемое наночастицами модификатора в результате электростатического взаимодействия при

расстоянии R_{ij} определяется условием $a = \frac{F_{ij}}{m} = 9 \cdot 10^9 \frac{q_i q_j}{R_{ij}^2} \cdot \frac{3}{4\pi r^3 \rho}$. Полагая, что $m_i = m_j = m$;

$r = 10^{-8}$ м, $L = 10^{-7}$ м, $C_v = 0,05$, $\rho = 10^4$ кг/м³, $q = e$, $\epsilon = 10$, получим расчетную величину относительного ускорения частиц, обусловленного электростатическим взаимодействием,

на несколько порядков превышающую ускорение свободного падения. Фактором, препятствующим взаимодействию частиц с образований локальных флуктуаций плотности в матрице, является ее вязкость. Поэтому при формировании нанокomпозиционных материалов по различным технологиям (прессования, спекания, литья под давлением, экструзии, электростатического распыления суспензий, осаждения из псевдооживленного слоя) необходимо учитывать влияние электростатического взаимодействия наночастиц на параметры нанофазной структуры.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РАЗМЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАНОЧАСТИЦ В ДИСПЕРСНЫХ СМЕСЯХ

В.Г. Сорокин, С.Л. Гей, В.А. Лиопо

Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Гродно, Беларусь

Параметры служебных свойств изделий из полимерных нанокomпозитов существенным образом зависят от размеров и однородности дисперсных частиц модификаторов. При наличии в нанокomпозите смеси частиц с различными размерными характеристиками эффективность модифицирующего действия наночастиц значительно снижается или нивелируется действиями макрочастиц, механизм влияния которых на структурные процессы существенно отличается. В связи с этим важное значение имеет разработка критериев оценки влияния размерных неоднородностей дисперсных частиц на параметры служебных характеристик полимерных композитов.

В качестве критерия для оценки перехода частицы в наносостояние выбран параметр L_0 , определенный по формуле $L_n = 230 \cdot \theta_D^{1/2}$ [нм], где θ_D — табулированное значение температуры Дебая. С учетом параметра L_0 предложена одномерная модель, описывающая распределение наночастиц одномодальной функцией $P(x)$. В рамках треугольной модели функции $P(x)$ проведен расчет среднего значения параметра характеристики физического свойства \bar{S} для различных распределений частиц по размерам. Получено выражение для определения среднего значения параметра \bar{S} при различном характере распределения размеров наночастиц модификатора. Показано, что при одинаковых модельных значениях, но различных распределениях частиц по размерам, экспериментальные значения изучаемых параметров могут быть больше или меньше его значения, определяемого по модальному значению распределения частиц по размерам.

Предложено аналитическое выражение, устанавливающее отношение параметров физических характеристик наносвойств S_x к их объемному значению S_v ,

$$S(x)/S_v = \left[\exp \left[-\alpha \left(\frac{L_0}{x} - 1 \right)^{3/2} \right] \right], \text{ где } L_0 \text{ — размерная граница между нано- и макросостоянием,}$$

$x = \frac{d}{L_0}$; d — линейный размер частицы. Анализ полученного выражения позволил обосновать экспериментально установленное отличие параметров служебных характеристик нанокomпозитов на полимерных матрицах от расчетных параметров, определяемых с использованием критерия оптимального структурирования полимерной матрицы.

Авторский указатель

Barantsova A.	18	Агафонова Г.В.	27
Bubnova A.	18	Адаменко Н.А.	27
Fang Eryuan	21	Адериха В.Н.	11, 28, 29
Feng Wu	21	Ажаронок В.В.	34
Furmanik K.	22	Азарова Т.А.	50
Galstian T.	19, 20	Азимзаде А.А.	147, 228
Gofman I.V.	18	Айзикович С.М.	61
Grakovich P.N.	23	Александров В.М.	29
Grytsenko K.	19, 20	Александрова Е.Ю.	30
Gudzenko N.	18	Алексеев А.А.	68
Hossain M.M.	20	Алексеева М.С.	67
Ivanov L.F.	24	Алесчик И.И.	57
Jia Hongbing	21	Алешина Л.А.	58
Jiang Jing	21	Алисин В.В.	31, 194
Jiang Qi	21	Алыев А.Т.	77
Jing Zhao	21	Аммосова О.А.	32
Kolomzarov Yu.	19, 20	Андреев М.А.	32, 105
Kovaleva I.N.	18	Андреева З.В.	61
Laska J.	22	Анисимов В.Н.	33
Lude Lu	21	Анисович А.Г.	34
Mäder E.	24	Антоновская Л.И.	50
Madic M.	22, 23	Анфиногенов С.Б.	34
Navozenko O.	19, 20	Аншаков О.М.	184
Nikitin L.N.	23	Апель П.Ю.	153
Orell O.	18	Аскеров О.В.	59
Popova E.N.	18	Асланов Т.А.	148
Pytko S.	22	Асланян И.Р.	35
Radovanovic M.	22, 23	Афанасьева Е.С.	200
Rakhmanov S.K.	23	Афоничева О.В.	11, 232
Ruiqi Shen	21	Бабенко Ф.И.	36, 37
Schrader S.	19, 20	Бабкина Н.В.	53
Slominskii Yu.	19	Багнычев С.А.	106
Sysyuk V.	18	Баженов С.Л.	37
Tolmachev O.	19	Баженова В.Б.	232
Tolstopyatov E.M.	20, 23	Базаров В.В.	219
Vasilkov A.Yu.	23	Банний В.А.	38, 141
Vuorinen J.	18	Баран Л.В.	80
Wang Jingy.	21	Баранец И.В.	117, 171
Xiaohong Jiang.	21	Барановский М.В.	125
Xin Wang	21	Баранцова А.В.	39, 53
Yudin V.E.	18	Барринов О.В.	39
Zhandarov S.F.	24	Барсуков В.Г.	75
Абдуллин И. Ш.	25	Басинюк В.Л.	236
Абетковская С.О.	25	Башмаков И.А.	183
Авдейчик С.В.	237	Баштаник П.И.	221
Авдонин В.В.	234	Безвершенко О.В.	153
Авсейков С.В.	44	Бей М.П.	40
Агабеков В.Е.	5, 7, 26, 203	Бейдер Э.Я.	41

Белецкий А.В.	95	Бухаров С.Н.	199, 235
Белов Д.А.	54	Буяев Д.И.	232
Беломестных В.Н.	175	Буяков И.Ф.	70
Белясова Н.А.	50, 89	Буяновский И.А.	55, 139
Березина Е.В.	41, 42	Валенков А.М.	55, 56
Билалов Я.М.	80	Валенчиц Т.П.	216
Бильдюкевич А.В.	15	Валько Н.Г.	57
Бильдюкевич Л.Ю.	43	Ванг Хин	4
Билякович О.Н.	86	Васильев Л.Л.	46
Биран В.В.	34	Васильев П.В.	216
Бисерова Н.В.	113	Васильев С.В.	57
Благодатова О.В.	39	Васильева В.С.	134
Близнец Д.А.	44	Васильева М.А.	59
Бобарикин Ю.Л.	44	Васильева Н.С.	58
Бобрович О.Г.	111	Васильева Ф.Д.	200
Бобылёв А.А.	121	Васильков А.Ю.	160
Богайская Е.В.	86	Ващенко Ю.Н.	76
Богатов А.Д.	96, 97	Велиев М.Г.	59, 186
Богданов А.Л.	95, 230	Велиева Г.Х.	157
Богданова В.В.	45, 188, 189	Веревка О.А.	133
Богданович П.Н.	44	Вершинин Н.К.	143
Богданович С.П.	46, 70	Винидиктова Н.С.	60
Бодрых Т.И.	204	Витязь П.А.	13
Бойко В.М.	30	Владиславлев А.А.	194
Бойко В.П.	158, 200	Войтехович С.В.	161
Бойко В.С.	52	Волков С.С.	61
Бойко М.В.	51, 115	Волнянко Е.Н.	61
Болотов А.Н.	47	Володин А.Ю.	93
Большаков А.Н.	139	Волосовский В.В.	154
Бондаренко П.И.	47	Вопилов Ю.Е.	160, 234
Борисенко Л.И.	48, 49	Воробьева Е.В.	169, 210
Борисенко М.В.	136	Воропаев А.И.	208
Борисенко Н.В.	48, 49	Вошула И.В.	26
Бортницкий В.И.	84	Выдумчик С.В.	62
Ботвин Г.В.	66	Гавриленко О.О.	62
Бочкарев Д.И.	226	Гавриленко С.Л.	63, 135
Бочкарева Т.А.	50	Гаврилов Д.Г.	63
Бражникова Л.Ю.	132	Гей С.Л.	238
Браницкий Г.А.	50	Генарова Т.Н.	64, 100
Броновец М.А.	13	Герасименко К.О.	52
Бубнов Ю.Н.	160	Герасименко С.А.	65
Будкуте И.А.	30	Герасимов А.И.	65, 66
Будник А.Ф.	212	Герасимов Г.В.	70
Бузник В.М.	27, 104, 234	Герасимов С.А.	67
Буй М.В.	119, 120	Гилеп А.А.	146
Булгаревич С.Б.	51, 115	Глоба А.И.	67
Булкина А.К.	171	Глоба И.Ю.	26
Буркина О.А.	195	Гоголева О.В.	68
Бурмистр М.В.	52, 221	Годлевский В.А.	41, 42
Буря А.И.	39, 52, 200, 214	Головина Е.С.	118
Бусько Н.А.	39, 53	Голод Е.В.	14
Бутовская Г.В.	54, 133	Голуб В.М.	69

Голуб М.В.	69	Джилавдари И.З.	83
Голубович В.В.	70, 217	Длугунович В.А.	26
Гольдаде В.А.	133	Дмитриев Н.Н.	84
Гольцев А.В.	208	Дмитриева Т.В.	84, 85
Гончаренко В.В.	70	Дмитриченко Н.Ф.	86
Гончаренко М.В.	70	Дмитрович А.А.	14, 105, 137
Гончаров В.К.	80	Добродей А.О.	87
Гончарук Г.П.	37	<u>Добычин М.Н.</u>	87, 156
Горбацевич Г.Н.	71	Долгополов К.Н.	143, 144
Горбацевич М.Ф.	93	Долинская Р.М.	88
Горбачёв Д.Л.	72	Дробышевская Н.Е.	215
Горбенко О.М.	104	Дроздов Ю.Н.	88
Гороховатский Ю.А.	73	Дроздова Е.И.	165
Гороховский А.В.	234	Дубкова В.И.	89, 90
Гофман И.В.	73, 112	Дубодел В.П.	176
Гракович Л.П.	46	Дубровский В.В.	91, 92
Гракович П.Н.	74	Евсеева Л.Е.	92
Грахольская Е.В.	75	Егиазаров Ю.Г.	93
Грачек В.И.	75	Егоренков Н.И.	94
Григорьев А.Я.	112, 123, 236	Енютин М.В.	185
Гринюк Е.В.	132	Ермаков С.Ф.	95
Грицак О.А.	76	Ермоленко Е.Н.	93
Гришанова И. А.	25	Ермолович О.А.	60
Гришкова Е.И.	87, 169, 215	Ермольчук Л.В.	218
Грищенко В.К.	39, 53	Ерофеев В.Т.	96, 97
Грищенко В.А.	133	Еськин С.В.	98
Громыко Ж.Н.	38	Жавнерко Г.К.	203
Грудина Н.В.	170	Жарская Т.А.	100
Губанов В.А.	39	Жданук Е.Н.	98
Гудзенко Н.В.	39	Жегздринь Д.И.	105
Гулиев А.М.	147, 149, 228	Желдакова Р.А.	161
Гулиев К.Г.	77	Железный Л.В.	48, 49
Гулиева А.Ф.	59	Жерновский А.В.	199
Гулиева Д.С.	138	Жорник В.И.	99
Гулякова А.А.	73	Жук В.В.	199
Гумаргалиева К.З.	109	Журавлёв М.В.	39
Гуревич О.В.	78	Журавлева М.В.	100
Гуринович Л.М.	79	Заболоцкий М.М.	220
Гусаков Г.А.	80	Загашвили Ю.В.	137
Гусейнов И.А.	157	Загорская С.А.	213
Гусейнова З.Н.	80	Заикин К.Н.	224
Гуцев Д.М.	81	Зайцев А.Л.	43, 64, 100
Давыдов А.А.	82	Замараева А.В.	141
Данзанова Е.В.	66	Зверев Г.А.	27
Данилович Т.Г.	132	Зеленковский В.М.	67
Данишевский В.Н.	95	Злотников И.И.	176, 211
Данченко С.Г.	82	Зозуля А.П.	149
Дворак А.М.	182	Зозуля В.И.	101
Дедюкин А.Е.	65	Зотов С.В.	125, 126
Демид Д.И.	146	Зуб Ю.Л.	169
Демусков М.А.	235	Зубко В.И.	102
Джафаров Р.В.	77	Зубко Д.В.	102

Иванов А.Е.	143	Комарова В.И.	117
Иванов Л.Ф.	81	Комиссаров В.В.	118, 232
Иванова Н.А.	26, 92	Кондаков А.С.	59
Иваночкин П.Г.	103	Коновалов К.Г.	119
Ивахник А.В.	99	Конопацкий А.Н.	229
Ивахник В.П.	99	Константинов В.Г.	95
Ивашкевич О.А.	161	Копаев И.Л.	119, 120
Игнатьева З.В.	139	Коптелова З.В.	216
Игнатьева Л.Н.	27, 104	Коптовец А.Н.	121
Ильин А.Н.	201, 202	Копытков В.В.	122
Ильющенко А.Ф.	14, 105, 106	Коровкин Ю.В.	151
Иноземцева Е.В.	107, 233	Корсаков М.Н.	41
Инютин В.И.	91	Коршунов А.И.	123
Исакова Т.А.	174	Коршунов Е.А.	123
Исакович О.И.	75	Космачев К.С.	26
Ищенко Н.Я.	107, 138, 149	Космачева Т.Г.	26
Кабат О.С.	108	Кособудский И.Д.	98
Казаченко В.П.	182	Костина Т.Ю.	157
Казуров А.В.	27	Котиков Д.А.	54
Калинин Л.А.	160	Кохонов С.К.	204
Калинина И.Г.	109	Кочетова Я.В.	53
Калинка А.Н.	110	Кочкина Н.Е.	124
Каменская Т.Н.	50	Кравцов А.Г.	125, 126
Капцевич В.М.	105	Кравченко В.И.	164
Карапетян А.Н.	180	Кравченко С.Е.	127
Карлина И.А.	117	Кравченко Ю.В.	209
Карпович О.И.	110	Крамаренко Е.И.	111
Карпыза С.А.	106	Красневский Л.Г.	127
Карсим Л.О.	140	Краснер С.Ю.	128
Касимкина М.М.	96	Краснов А.П.	11, 88, 232
Касперович А.В.	111, 155	Крауклис А.В.	70
Кенигфест А.М.	111	Крень А.П.	129
Керимова С.С.	157	Кривогуз Ю.М.	130, 228
Кириллина Ю.В.	200	Криони Н.К.	130
Киршина Н.В.	29	Кропотин О.В.	131
Кирюхин Д.П.	234	Круль Л.П.	132, 133
Климовцова И.А.	133, 183, 184	Крумплевская Л.А.	54
Кобельчук Ю.М.	52	Крутько В.К.	166
Ковалева И.Н.	112, 236	Крутько Н.П.	89, 214
Коваль В.Н.	92, 216	Крутько Э.Т.	67, 98, 100
Коврига В.В.	113, 114	Крылов А.Л.	133
Ковтун В.А.	114, 196	Крымовская С.К.	85
Козаков А.Т.	144	Ксенофонтов М.А.	62, 134
Козориз И.М.	153	Кудина Е.Ф.	58
Кокотин И.В.	39	Кудрицкий В.Г.	150, 236
Колбашов М.А.	162	Кудрявцева Т.Н.	133
Коледа В.В.	32	Кудян С.Г.	135
Колесников В.И.	9, 115, 116	Кузнецов С.А.	42
Колобаева М.М.	117, 171	Кузнецова Т.А.	181
Колосова Е.М.	103	Кузьменкова Н.В.	208
Комаревич В.Г.	90	Кузьмина Г.Н.	170
Комаров А.И.	117	Кузьминский Ю.Г.	136

Куксенова Л.И.	67	Макаренко М.В.	146
Кулаков В.В.	111	Макаренко О.А.	147, 228
Кулиев А.М.	138	Мамедалиева Ф.М.	148
Кулиев Э.М.	148	Мамедов Б.А.	80, 149
Кулик В.И.	137	Мамедов М.М.	149
Кулик К.С.	49	Мамонов С.В.	63
Куликовская В.И.	231	Мануленко А.Ф.	144
Кулифеев А.В.	111	Мардосевич Е.И.	236
Куличкина Е.Е.	206	Маркова Л.В.	32, 90, 149
Кульбицкая Л.В.	90	Мартиросов М.И.	63
Купреев А.В.	138, 150	Мартыненко С.М.	150
Курбанова Н.И.	138	Марцынкевич Р.В.	75
Курбатова М.В.	48	Марченко Е.А.	151
Курлянд С.К.	117, 171	Маршалов В.С.	163
Курявый В.Г.	27, 104	Маршалов М.С.	162
Кусин Р.А.	105	Марьин С.А.	155
Кушников И.С.	31	Марьина Н.А.	155
Кушунина Н.А.	193	Матвеев В.Н.	139
Лазарев А.В.	97	Матковский А.К.	169
Лаптева В.Г.	67	Матрунчик Ю.В.	169
Лапшина Е.М.	163, 226	Матулис В.Э.	161
Латышев В.Н.	162	Матусевич Ю.И.	133
Лашкина Е.В.	60	Машков Ю.К.	131
Лебедев Е.В.	158, 200	Медведев И.Н.	225
Лебедев Н.В.	39	Мезрин А.М.	151
Левкович Н.В.	153	Меликсетян Н.Г.	181
Левченко В.А.	139	Мельников С.Ф.	173
Ленартович Л.А.	140	Мешков В.В.	198
Леонов С.А.	172	Мигаль Ю.Ф.	116
Лесникович А.И.	161	Мигачева О.С.	25
Лешок А.В.	105, 106	Микосянчик О.А.	154
Лизанец В.И.	153	Минкевич Т.С.	89
Лин Д.Г.	210	Мирошников В.Е.	91
Лиопо В.А.	237, 238	Митинов А.В.	164
Липко Е.А.	52	Михайлова Л.В.	237
Лисовский Д.Л.	133	Михайлова О.И.	52
Литвин Б.Л.	140	Михаловский И.С.	152
Лобачев В.А.	29	Михневич А.С.	153
Лобода П.И.	70	Мнацаканов Р.Г.	86, 153, 154
Логвиненко П.Н.	140	Мнищенко Г.Г.	49
Лойко М.А.	160	Можаровский В.В.	155, 229
Ломач В.А.	141	Можейко Ю.М.	45, 195
Лось Г.И.	220	Мозалев В.В.	111
Лукашевич М.Г.	219	Мозгалёв В.В.	111, 155
Лунева Е.И.	142	Мойсейчик А.Н.	32
Лю Чжубо	192	Морозов А.В.	156
Любимов А.Г.	144	Музалев П.А.	98
Любимов Д.Н.	143, 144	Муль В.Ю.	117
Любинин И.А.	48, 49	Мулярчик В.В.	95
Любичева А.Н.	81, 145	Мурадян В.Е.	157
Майстров И.И.	164	Мурычев А.С.	229
Макаренко В.М.	149	Мусская О.Н.	166

Мустафаев А.М.	157	Петрачик О.	219
Мустафаев С.А.	186	Петрашенко П.Д.	173
Мустафаева Г.Р.	186	Петрико Е.А.	189
Муха Д.В.	146	Петров П.Т.	146
Мышак В.Д.	158, 200	Петров С.В.	173
Мышкин Н.К.	3, 13	Петрова Г.Н.	41
Мяделец В.В.	111	Петрова Г.П.	171
Мясникова Н.А.	103, 142	Петрова И.М.	194
Нагиева А.А.	77	Петрова П.Н.	174, 175
Надеин В.А.	88	Петроковец Е.М.	127, 175
Назаралиев Х.Г.	149	Петрушеня А.Ф.	190
Наркевич А.Л.	159	Печерский Г.Г.	176, 177
Неверов А.С.	38, 177	Пилиневич Л.П.	178
Невмержицкая Г.Ф.	85	Пилипенко В.В.	213
Никитин А.В.	237	Пилипенко О.И.	178
Никитин Л.Н.	160	Пилипцов Д. Г.	179
Никифоров Л.А.	50	Пинчук Л.С.	133
Николаев В.И.	95	Пискунов С.В.	55
Николайчик А.В.	160	Плескачевский Ю.М.	5
Николайчик И.В.	160	Поболь И.Л.	166
Никольский А.В.	144	Погосян А.К.	180, 181
Никулин А.В.	87	Погоцкая И.В.	61, 181
Никулин С.С.	185	Подденежный Е.Н.	87, 169, 215
Нилов А.С.	137	Поликарпов А.П.	132
Ничик М.Н.	161	Полоник В.Д.	182
Новиков В.В.	47, 162	Пономарева Г.З.	77
Новикова О.О.	47	Попко Е.С.	236
Носов К.С.	163, 226	Попов А.Н.	182
Нуждина Е.Е.	162	Портной В.В.	159
Овчинников Е.В.	164	Потапова Л.Л.	93
Овчинников К.В.	125, 126	Правоторова Е.А.	55
Овчинникова И.Н.	165	Приходченко Л.К.	213
Оганесян К.В.	180	Приходько Г.П.	48
Оджаев В.Б.	219	Приходько И.В.	177
Озерский О.Н.	166	Прокопович В.П.	133, 183, 184
Оксинь А.В.	29	Прокопчук Н.Р.	67, 140, 182
Олешук И.Г.	166	Пугачева И.Н.	185
Опекунов В.В.	167	Пузырев М.В.	80
Островская Л.Е.	134	Путиев К.С.	117
Охлопкова А.А.	57, 168, 175	Пучков В.Н.	88
Павленко А.П.	119, 120	Пучков М.В.	88
Павленок А.В.	169	Пшебельская Л.Ю.	185
Павлюкевич Т.Г.	62	Пырх Т.В.	195
Падохин В.А.	124	Пятин И.Н.	114
Паентко В.В.	169	Рабинский Л.Н.	63
Паренаго О.П.	170	Рагимова С.Н.	186
Парникова А.Г.	168	Радкевич Л.В.	45, 188
Пасовец В.Н.	114	Рахманов С.К.	160
Пашинская В.А.	170	Ребров А.К.	10, 187
Пендик С.С.	114	Рева О.В.	188, 189
Пересторонина З.А.	117, 171	Ревяко М.М.	190, 191
Песецкий С.С.	7, 92, 172	Рзаев Р.С.	149

Ризноокая Н.Н.	83	Соболева Э.Г.	175
Рогачёв А.А.	72, 192	Соколов В.Г.	50, 184
Рогачёв А.В.	72, 179	Соколов Е.А.	157
Рогачев В.Е.	226	Солдатенков И.А.	145
Роговой А.Н.	14	Соловьева С.В.	197
Родионов А.К.	36, 37	Солодовникова Д.Н.	116
Рожков С.С.	192	Соломянский А.Е.	203
Рожкова Н.Н.	192	Сорокин А.Е.	11
Ростанина Н.Б.	193	Сорокин В.Г.	238
Рощин М.Н.	194	Сосновский Л.А.	203
Рубаник В.В.	195	Сосновский С.В.	122, 198
Рубаник В.В. мл.	195	Спиглазов А.В.	110
Руденков А.С.	179	Ставров В.П.	110, 185
Рудницкий В.А.	129	Станишевский А.А.	224
Рыбаков А.А.	30, 195	Станкевич В.М.	153
Рябов С.В.	140	Стародубцева М.Н.	94
Рябченко Т.В.	196	Старостин Н.П.	32, 59
Саввинова М.Е.	37, 197	Степанова Л.И.	204
Савенкова М.А.	116, 142	Стовпник А.В.	205
Савицкий Н.Е.	125	Столяр В.А.	160
Савич В.В.	137	Струк В.А.	71
Савченко В.Ф.	89	Стручкова Т.С.	206
Сальников Л.И.	133	Судник Л.В.	90
Самойлов М.В.	152	Сулим И.Я.	49, 206
Сандлер В.А.	41	Сункуев Б.С.	128
Сарока Д.И.	14, 137	Суриков Д.Г.	224
Сафонов А.И.	187	Сутягин А.Н.	207
Сачек Б.Я.	87, 232	Суховерхов С.В.	104
Свидерская Т.Д.	88	Сырбу С.А.	162
Свинцицкая Н.Н.	30	Сытар В.И.	108, 205
Свириденко А.И.	3	Сыцко В.Е.	208
Селькин В.П.	79, 198	Сычёв А.А.	209
Семененко Е.А.	133	Сычёв А.П.	208, 209
Семенова Е.С.	197	Таврогинская М.Г.	210
Семенюк М.С.	149	Танаева С.А.	92
Сергеев В.И.	114	Тарасевич В.А.	152
Сергеев Д.А.	198	Тарасова Е.Н.	51
Сергеев И.В.	27	Ташлыков И.С.	111
Сергиенко В.П.	34, 199, 220	Телеш Е.В.	78
Силова Т.В.	31	Терехин Д.В.	170
Сильченко Ю.А.	53	Тимошенко В.В.	210, 211
Сирый Е.Н.	158, 200	Тимошенко Н.И.	187
Ситников С.А.	111	Титова Л.В.	214
Скворцов В.Н.	151	Тихомиров Л.А.	157
Скирман Д.В.	221	Тихонов Н.Н.	11
Скороход А.З.	79	Ткаченко А.О.	70
Слепцова С.А.	200	Ткаченко Э.В.	52
Слободюк А.Б.	104	Томас А.А.	212
Смирнов А.В.	74	Торская Е.В.	81
Смирнов В.Ф.	96	Третинников О.Н.	213
Смуругов В.А.	123	Тржецкая Л.О.	30
Соболев Г.П.	201, 202	Тумилович М.В.	178

Турица Ю.А.	154	Чернюк Н.В.	223
Уголев И.И.	184	Чернявская Т.В.	49
Ульянова Т.М.	214	Черняк И.Н.	105
Урецкая О.В.	215	Черчес Б.Х.	93
Усанов С.А.	146	Чирик С.А.	25, 181, 224
Устинов А.Ю.	27	Чикунов В.В.	224
Устинович Д.Ф.	215	Чмыхова Т.Г.	61
Ушаков Н.М.	98	Чуб А.В.	163, 226
Фальченко З.В.	39	Чупрынский С.А.	62
Фам Хонг Хай	231	Шаехов М.Ф.	25
Федоров А.Л.	175	Шалобаев Е.В.	224
Федоров В.Д.	216	Шамаев В.А.	225
Федоров Ю.Ю.	37	Шаповалов В.А.	28, 29
Федосенко Н.Н.	179	Шаповалов В.М.	56, 226
Филатов С.А.	203	Шаронов А.В.	227
Филимонов О.В.	217	Шатирова М.И.	59
Филимонова О.Н.	185	Шахназарли Р.З.	147, 149, 228
Филипович А.Ю.	218	Шашок Ж.С.	111, 155, 182
Фоменко Р.Н.	218	Шелепова В. П.	221
Фомина Е.К.	132	Шелестова В.А.	82
Фофанов А.Д.	58	Шилько С.В.	228, 229
Фридрих К.	3	Шкурский И.А.	74
Хайбуллин Р.И.	219	Шукело З.В.	188
Хайльмайер М.	70	Шулдыков Р.А.	95, 230
Харченко А.А.	219	Шункевич А.А.	75
Хвостик Г.М.	171	Шустер Л.Ш.	35, 130
Хиженок В.Ф.	127	Шутова Т.Г.	231
Хрол Е.З.	190	Щербаков С.С.	232
Хрол Ю.Н.	191	Щербина Е.И.	88
Худoley А.Л.	224	Щербина Л.А.	30, 195
Худяков В.А.	96, 97	Эфрос Д.Г.	151
Хыдырова М.Ф.	59	Ювченко А.П.	40
Целуев М.Ю.	220	Юдин А.С.	232
Чалабиева А.З.	107	Юдин В.Е.	112
Чан Динь Тоай	231	Юркевич О.Р.	107, 233
Чарковский А. В.	221	Юркин Ю.В.	234
Чебаков М.И.	103	Юрков Г.Ю.	234
Чен М.И.	211	Юрковски Б.	7
Черваков Д.О.	221	Юрченко Г.Р.	169
Черкасов В.Д.	234	Якимович Н.В.	173, 235
Чернов Д.О.	198	Якимцова Л.Б.	132, 236
Черногорова О.П.	165	Ярмоленко М.А.	72, 192
Черноус Д.А.	222	Яценко В.В.	140

Содержание

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ	3
Н.К. Мышкин, А.И. Свириденко, К. Фридрих. Развитие трибологии полимерных материалов (N.K. Myshkin, A.I. Sviridenok, and K. Friedrich. Advances in Tribology of Polymer Materials).....	3
Ванг Хин. Наноккомпозиты с графеном (Wang Xin. Graphene-Based Nanocomposites)	4
Ю.М. Плескачевский, В.Е. Агабеков. Достижения химии как фундаментальные основы материаловедения (Yu.M. Pleskachevsky and V.E. Agabekov. Achievements in Chemistry as Fundamentals for Materials Science)	5
С.С. Песецкий, Б. Юрковски, В.Е. Агабеков. Композиционные материалы на основе полиалкилентерефталатов: состояние и перспективы разработок (S.S. Pessetskii, B. Jurkowski, and V.E. Agabekov. Composite Materials Based on Polyalkylene Terephthalates: State of the Art and Prospects of Developments)	7
В.И. Колесников. Повышение износостойкости металлополимерных трибосистем с использованием нанотехнологий (V.I. Kolesnikov. Wear Resistance Increase in Metal-Polymer Tribosystems using Nanotechnologies).....	9
А.К. Ребров. Осаждение наноразмерных пленок из газовой фазы при термической и каталитической активации (A.K. Rebrov. Deposition of Nanosize Films in the Gaseous Phase under Thermal and Catalytic Activation)	10
А.П. Краснов, В.Н. Адери́ха, О.В. Афоничева, Н.Н. Тихонов, А.Е. Сорокин. Самосмазываемость, «пленки переноса» и формирование третьего тела полимерами (A.P. Krasnov, V.N. Aderikha, O.V. Afonichev, N.N. Tikhonov, and A.E. Sorokin. Self-Lubricity, “Transfer Films” and the Third-Body Formation by Polymers)	11
М.А. Броновец, П.А. Витязь, Н.К. Мышкин. Космическая трибология в программе Союзного государства «Космос-НТ» (M.A. Bronovets, P. A. Vityaz, and N. K. Myshkin. Space Tribology in Program of Allied State “Kosmos-NT”)	13
А.Ф. Ильющенко, А.А. Дмитриевич, Д.И. Сарока, Е.В. Голод, А.Н. Роговой. Исследование композиционных спеченных фрикционных материалов с повышенным содержанием керамических компонентов (A.F. Piyushchenko, A.A. Dmitrovich, D.I. Saroka, E.V. Golod, and A.N. Rogovoi. Investigation of Composite Sintered Frictional Materials with Elevated Content of Ceramic Components)	14
А.В. Бильдюкевич. Физико-химические основы получения и использования капиллярных мембран для водоподготовки (A.V. Bildyukevich. Physico-Chemical Principles of Manufacture and Application of Capillary Membranes for Water Preparation)	15
СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ	18
A. Bubnova, N. Gudzenko, A. Barantsova, and V. Sysyuk. The Properties of Protective Coatings Based on Alkyd and Isocyanate Oligomers	18
I.V. Gofman, I.N. Kovaleva, O. Orell, E.N. Popova, V.E. Yudin, and J. Vuorinen. Improvement of Thermal Stability of the Mechanical and Tribologic Behavior of Thermoplastic Polymer Materials by the Variations of the Degree of Structural Ordering	18
K.Grytsenko, Yu. Kolomzarov, O. Navozenko, O. Tolmachev, Yu. Slominskii, S. Schrader, and T. Galstian. Dye and Polymer Co-Deposition in Vacuum	19
K. Grytsenko, Yu. Kolomzarov, O. Navozenko, E.M. Tolstopyatov, S. Schrader, and T. Galstian. Vacuum Deposited Thin Perfluoropolymer Films: Advanced Applications.....	20

M.M. Hossain. Opto-Electrical Properties of Natural and Synthetic Composite Polymers.....	20
Jiang Qi, Jia Hongbing, Wang Jingy, Fang Eryuan, Jiang Jing, and Feng Wu. Effects of Nucleating Agents on Crystalization Behavior and Mechanical Properties of High-Fluid Polypropylene.....	21
Jing Zhao, Xiaohong Jiang, Feng Wu, Ruiqi Shen, Xin Wang, and Lude Lu. The Effect of Copper Thin Films Prepared by RF Magnetron Sputtering on the Thermal Decomposition of Ammonium Perchlorate	21
M. Madic and M. Radovanovic. Taguchi Based Optimization of Cutting Parameters in Turning of PA-6 Polyamide.....	22
S. Pytko, J. Laska, and K. Furmanik. Application of Polymers in Friction Drives	22
M. Radovanovic and M. Madic. Predictive Modeling of Surface Roughness in Turning of PA-6 Polyamide Using Artificial Neural Networks	23
E.M. Tolstopyatov, P.N. Grakovich, S.K. Rakhmanov, L.N. Nikitin, and A.Yu. Vasilkov. Effect of Mechanical Prehistory on Laser Ablation Characteristics of Polytetrafluoroethylene	23
S.F. Zhandarov, L.F. Ivanov, and E. Mäder. Effect of Inert Interphases on Interfacial Adhesion and Friction between Steel and Ice.....	24
И.Ш. Абдуллин, М.Ф. Шаехов, И. А. Гришанова, О.С. Мигачева. Физико-механические свойства плазмированного высокомолекулярного многофиламентного полиэтилена.....	25
С.О. Абетковская, С.А. Чижик. Температурные зависимости физико-механических свойств жидкостей в микро- и нанобъемах	25
В.Е. Агабеков, Н.А. Иванова, В.А. Длугунович, И.Ю. Глоба, Т.Г. Космачева, И.В. Вощула, К.С. Космачев. Оптические и механические свойства ПВС-пленок, содержащих наночастицы серебра и антистатик.....	26
Н.А. Адаменко, Л.Н. Игнатъева, А.В. Казуров, В.Г. Курявый, Г.А. Зверев, А.Ю. Устинов, В.М. Бузник. Структурные изменения политетрафторэтилена при взрывной обработке.....	27
Н.А. Адаменко, А.В. Казуров, Г.В. Агафонова, И.В. Сергеев. Особенности наноструктурирования в металлофторопластовых композициях при взрывном воздействии.....	27
В.Н. Адериха, В.А. Шаповалов. Неразрушающий метод оценки износостойкости радиационно-сшитого политетрафторэтилена.....	28
В.Н. Адериха, В.А. Шаповалов. О взаимосвязи динамического механического модуля потерь и скорости абразивного изнашивания пластмасс	29
В.М. Александров, Н.В. Киршина, А.В. Оксиль, В.А. Лобачев. Материаловедческие аспекты получения и применения компактно-пористых материалов в энергетике.....	29
Е.Ю. Александрова, А.А. Рыбаков, Л.О. Тржецкая, В.М. Бойко, Н.Н. Свиницкая, И.А. Будкуте, Л.А. Щербина. Разработка технологии получения термостойких волокнистых наполнителей на основе сополимеров акрилонитрила	30
В.В. Алисин, И.С. Кушников, Т.В. Силова. Наноструктурированные полимерные и керамические композиты для работы при сухом трении в подшипнике скольжения в условиях повышенных температур.....	31
О.А. Аммосова, Н.П. Старостин. Математическое моделирование теплового процесса при сварке армированных полиэтиленовых труб.....	32
М.А. Андреев, Л.В. Маркова, А.Н. Мойсейчик, В.В. Коледа. Ионно-лучевые покрытия на основе хрома с добавкой MoS ₂	32

В.Н. Анисимов. Физико-химические особенности создания термопластичных полиуретановых композиционных материалов с повышенной износостойкостью	33
А.Г. Анисович, В.В. Ажаронок, В.В. Биран, В.П. Сергиенко. Влияние высокочастотного магнитного поля на механические и триботехнические свойства полимерных композитов	34
С.Б. Анфиногенов. Расчетно-экспериментальная оценка трибохарактеристик резинотехнических изделий на примере автомобильной шины	34
И.Р. Асланян, Л.Ш. Шустер. Фреттинг-коррозия электролитических NiP покрытий	35
Ф.И. Бабенко, А.К. Родионов. Разработка методики и оценка качества сварных стыковых соединений трубных марок полиэтиленов	36
Ф.И. Бабенко, Ю.Ю. Федоров, А.К. Родионов, М.Е. Саввинова. Расчетно-экспериментальная оценка прочности армированных полиэтиленовых труб в условиях низких температур	37
С.Л. Баженов, Г.П. Гончарук. О трении между нитями в арамидных тканях	37
В.А. Банний, Ж.Н. Громько, А.С. Неверов. Деформационные характеристики пленок на основе полиэтилена, пластифицированного нефтью	38
А.В. Баранцова, В.К. Грищенко, Н.А. Бусько, З.В. Фальченко, Н.В. Гудзенко, А.И. Буря. Защитные покрытия на основе олигодиенов с концевыми функциональными группами	39
О.В. Баринов, М.В. Журавлёв, О.В. Благодатова, И.В. Кокотин, Н.В. Лебедев, В.А. Губанов. Графт сополимеры на основе фторкаучука СКФ-26	39
М.П. Бей, А.П. Ювченко. Вторичные терпеноидные продукты на основе канифоли — модифицирующие добавки к промышленным полимерам	40
Э.Я. Бейдер, Г.Н. Петрова. Полисульфоны, отвечающие требованиям пожаробезопасности	41
Е.В. Березина, В.А. Годлевский, М.Н. Корсаков, В.А. Сандлер. Поляризационный трибометр	41
Е.В. Березина, В.А. Годлевский, С.А. Кузнецов. Оценка супрамолекулярной самоорганизации смазочного материала в зоне трения методом компьютерного молекулярного моделирования	42
Л.Ю. Бильдюкевич, А.Л. Зайцев. Исследование влияния мелкодисперсных абразивных порошков на технологические свойства фенолформальдегидной смолы	43
Д.А. Близнац, П.Н. Богданович. Изнашивание силикатного стекла при высокоскоростном взаимодействии со сталью	44
Ю.Л. Бобарикин, С.В. Авсейков. Исследование влияния скорости волочения на коэффициент контактного трения	44
В.В. Богданова, Л.В. Радкевич, Ю.М. Можейко. Исследование влияния пленкообразующих агентов на свойства огнезащитного нетканого материала	45
С.П. Богданович, Л.Л. Васильев, Л.П. Гракович. Теплопроводные полимерные материалы на основе термоэластопластов	46
А.Н. Болотов, В.В. Новиков, О.О. Новикова. Получение низкотемпературного магнитного масла	47
П.И. Бондаренко. Физико-механические свойства криоструктурированных гелей поливинилового спирта	47
Л.И. Борисенко, Н.В. Борисенко, М.В. Курбатова, И.А. Любинин, Л.В. Железный, Г.П. Приходько. Трибологические свойства новых кремнеземных смазок	48
Л.И. Борисенко, Г.Г. Мнищенко, Н.В. Борисенко, И.Я. Сулим, И.А. Любинин, К.С. Кулик, Л.В. Железный, Т.В. Чернявская. Синтез нанокompозитов диоксидов кремния, титана, церия, циркония и свойства смазок на их основе	49

Т.А. Бочкарева, Л.А. Никифоров. Структурные исследования модифицированного сверхвысокомолекулярного полиэтилена.....	50
Г.А. Браницкий, В.Г. Соколов, Т.А. Азарова, Т.Н. Каменская, Н.А. Белясова, Л.И. Антоновская. Микробиоцидные свойства керамики, модифицированной серебром и серебросодержащими композициями.....	50
С.Б. Булгаревич, М.В. Бойко, Е.Н. Тарасова. Аналогия между прохождением частиц дисперсной фазы через трибозазор при трении скольжения и прохождением света через вещество.....	51
М.В. Бурмистр, Е.А. Липко, В.С. Бойко, Ю.М. Кобельчук, О.И. Михайлова, К.О. Герасименко. Полимерные композиционные материалы на основе модифицированных термореактивных связующих.....	52
А.И. Буря, Э.В. Ткаченко, М.В. Бурмистр. Исследование стойкости органо-пластиков к воздействию соляной кислоты.....	52
Н.А. Бусько, В.К. Грищенко, А.В. Баранцова, Н.В. Бабкина, Ю.А. Сильченко, Я.В. Кочетова. Физико-химические свойства блоксополимеров, полученных на основе полиазиоинициаторов касторового масла.....	53
Г.В. Бутовская, Д.А. Белов, Д.А. Котиков, Л.А. Крумплевская. Исследование фазовой структуры смесей конфигурационных изомеров полилактидов методом ИК Фурье спектроскопии.....	54
И.А. Буяновский, Е.А. Правоторова. К учёту влияния смазочных материалов на поведение автокорреляционных функций трибологических параметров при минимизации объёма испытаний.....	55
А.М. Валенков, С.В. Пискунов. Повышение износостойкости деталей расходомеров методом микродугового оксидирования.....	55
А.М. Валенков, В.М. Шаповалов. Электрохимическая функционализация поверхности микроструктурированных углеродных волокон для получения упрочненных композиционных систем на основе полиамида-12.....	56
Н.Г. Валько, И.И. Алесчик. Исследование влияния рентгеновского излучения и режимов электролиза на осаждение сплавов Zn–Ni методом регрессионного анализа.....	57
С.В. Васильев, А.А. Охлопкова. Разработка полимерных композиционных материалов триботехнического назначения на основе политетрафторэтилена и базальтового волокна.....	57
Н.С. Васильева, Л.А. Алешина, А.Д. Фофанов, Е.Ф. Кудина. Рентгенографические исследования жидкого стекла, полученного при различных условиях.....	58
М.А. Васильева, А.С. Кондаков, Н.П. Старостин. Трёхмерная граничная обратная задача восстановления мощности тепловыделения в подшипниках скольжения.....	59
М.Г. Велиев, О.В. Аскеров, М.И. Шатинова, А.Ф. Гулиева, М.Ф. Хыдырова. Получение термостойких композиций на основе кремнийорганических оксидов.....	59
Н.С. Винидиктова, Е.В. Лашкина, О.А. Ермолович. Исследование совместности компонентов инсектицидных композиционных материалов методом ИК-спектроскопии.....	60
С.С. Волков, С.М. Айзикович, И.В. Погочкая, З.В. Андреева. Метод решения осесимметричной контактной задачи для мягкого функционально-градиентного слоя, лежащего на жестком упругом основании.....	61
Е.Н. Волнянко, Т.Г. Чмыхова. Вторичные продукты нефтепереработки как альтернатива нефтяным базовым маслам.....	61
С.В. Выдумчик, О.О. Гавриленко, М.А. Ксенофонтов, Т.Г. Павлюкевич, С.А. Чупрынский. Высокопроизводительное оборудование для производства фильтрующих элементов.....	62

С.Л. Гавриленко. Математическое моделирование ползучести упруговязко-пластических композитов на основе фторопласта.....	63
Д.Г. Гаврилов, С.В. Мамонов, М.И. Мартиросов, Л.Н. Рабинский. Механические испытания керамических лакокрасочных материалов.....	63
Т.Н. Генарова, А.Л. Зайцев. Исследование структуры поверхности фенолоформальдегидной смолы после химического травления	64
С.А. Герасименко. Формуемость смесей полипропилена и полиэтилена при их экструзионно-прессовой переработке	65
А.И. Герасимов, А.Е. Дедюкин. Определение эксплуатационных характеристик малонаполненных антифрикционных композиционных материалов на основе ПТФЭ.....	65
А.И. Герасимов, Г.В. Ботвин, Е.В. Данзанова. Электромужфтовая сварка полиэтиленовых труб при низких температурах воздуха	66
С.А. Герасимов, М.С. Алексеева, Л.И. Куксенова, В.Г. Лаптева. Влияние структуры азотированного слоя на деформационное упрочнение и износостойкость сталей и сплавов при трении скольжения.....	67
А.И. Глоба, В.М. Зеленковский, Н.Р. Прокопчук, Э.Т. Крутько. Растворимые блоксополиимиды	67
О.В. Гоголева, А.А. Алексеев. Комплексная модификация как способ повышения свойств композитов на основе политетрафторэтилена	68
В.М. Голуб, М.В. Голуб. Техническое состояние и диагностика уплотнений валов гидромашин	69
В.В. Голубович, А.В. Крауклис, И.Ф. Буяков, С.П. Богданович. Структура и свойства полиэтилентерефталата, содержащего удлинитель цепи и углеродные наноматериалы	70
В.В. Гончаренко, П.И. Лобода, М.В. Гончаренко, Г.В. Герасимов, А.О. Ткаченко, М. Хайльмайер. Армирующие спиральные пружины в полимерных композитах	70
Г.Н. Горбацевич, В.А. Струк. Функциональные фторкомпозиты: особенности структуры и технологии	71
Д.Л. Горбачёв, А.А. Рогачёв, М.А. Ярмоленко, А.В. Рогачёв. Наноконпозиционные покрытия на основе полимеров, формируемые из активной газовой фазы.....	72
Ю.А. Гороховатский, А.А. Гулякова. Исследование электрической релаксации в композитных полимерных материалах на основе ударопрочного полистирола методами диэлектрической и термоактивационной спектроскопии.....	73
И.В. Гофман. Особенности механического поведения пленок полимер-неорганических наноконпозиций в области малых деформаций	73
П.Н. Гракович, А.В. Смирнов, И.А. Шкурский. О нормировании свойств серийных композитов на основе фторопласта-4.....	74
Е.В. Грахольская, В.Г. Барсуков. Влияние параметров гребня витка на работоспособность экструдеров с модернизированными червяками.....	75
В.И. Грачек, А.А. Шункевич, О.И. Исакович, Р.В. Марцынкевич. Синтез и исследование свойств новых азотсеросодержащих волокнистых ионитов	75
О.А. Грицак, Ю.Н. Ващенко. Качество и свойства продукта двухстадийного рециклинга из РТИ и шин	76
К.Г. Гулиев, Г.З. Пономарева, Р.В. Джафаров, А.Т. Алыев, А.А. Нагиева. Синтез и свойства сополимеров на основе 1-(п-винилфенил)-2-ацетилциклопропана и стирола	77
О.В. Гуревич, Е.В. Телеш. Ионно-лучевой синтез фторуглеродных диэлектрических покрытий с низкой диэлектрической проницаемостью.....	78

О.В. Гуревич, Е.В. Телеш. Формирование и исследование тонких плёнок фторо-пласта	78
Л.М. Гуринович, А.З. Скороход, В.П. Селькин. Выбор материалов для изготовления мембран диафрагмовых клапанов методом литья под давлением	79
Г.А. Гусаков, М.В. Пузырев, В.К. Гончаров, Л.В. Баран. Влияние частоты следования лазерных импульсов на механические и трибологические характеристики алмазоподобных углеродных пленок, осаждаемых лазерно-плазменным методом	80
З.Н. Гусейнова, Я.М. Билалов, Б.А. Мамедов. Влияние добавки селена на свойства полиэтилен-полипропилен-эластомерной композиции	80
Д.М. Гуцев, Л.Ф. Иванов, Е.В. Торская, А.Н. Любичева. Триботехнические характеристики Ni-P покрытий модифицированных SiO ₂ и ПТФЭ	81
А.А. Давыдов. О влиянии нанодисперсных добавок на огнестойкость безгалогенных полиамидных материалов.....	82
С.Г. Данченко, В.А. Шелестова. Свойства фторопластовых композитов с повышенным содержанием модифицированных углеродных волокон	82
И.З. Джилавдари, Н.Н. Ризноокая. Метод и устройство измерения сверхмалого трения в процессах предварительного качения	83
Н.Н. Дмитриев. Явление анизотропного трения и его математическое описание	84
Т.В. Дмитриева, В.И. Бортницкий. Механохимические процессы в гетерогенных системах полимер — поверхность твердого тела.....	84
Т.В. Дмитриева, С.К. Крымская, Г.Ф. Невмержицкая. Влияние функциональной добавки на реологические и диспергирующие свойства полимерсодержащих композиций на основе полиакриловой кислоты.....	85
Н.Ф. Дмитриченко, Р.Г. Мнацканов, О.Н. Билякович, Е.В. Богайская. Оценка смазочного действия трансмиссионных масел в условиях длительной эксплуатации	86
А.О. Добродей, Е.Н. Подденежный, Е.И. Гришкова. Применение наноструктурированных порошков граната, легированного церием, для создания удаленных фотопреобразователей белых светодиодных ламп.....	87
М.Н. Добычин, А.В. Никулин, Б.Я. Сачек. Исследование триботехнических характеристик материалов на основе диоксида циркония в паре с титановым сплавом ВТ-9.....	87
Р.М. Долинская, Т.Д. Свицерская, Е.И. Щербина. Модификация каучуков специального назначения олигомерами	88
Ю.Н. Дроздов, В.А. Надеин, В.Н. Пучков, А.П. Краснов, М.В. Пучков. Подшипники скольжения — сейсмоизоляторы с композиционными самосмазывающимися материалами	88
В.И. Дубкова, Н.П. Крутько, Т.С. Минкевич, Н.А. Беясова, В.Ф. Савченко. Полимерная композиция для защиты металла от биокоррозии с участием сульфатвосстанавливающих бактерий и накопления заряда статического электричества.....	89
В.И. Дубкова, Л.В. Судник, Л.В. Кульбицкая, Л.В. Маркова, В.Г. Комаревич. Рентгеноструктурные и электронно-микроскопические исследования композиции сверхвысокомолекулярного полиэтилена с шихтой алмазосодержащей.....	90
В.В. Дубровский, В.И. Инютин, В.Е. Мирошников. Композиционный материал для нащпальных прокладок	91
В.В. Дубровский, В.Н. Коваль, Н.А. Иванова, С.С. Песецкий. Структура и свойства композитов на основе ПЭТ и его смесей с полиалкилентерефталатами, армированных короткими стекловолокнами	92
Л.Е. Евсеева, С.А.Танаева. Теплофизические свойства композиционных наноструктурных керамических материалов	92

Ю.Г. Егизаров, М.Ф. Горбачевич, Е.Н. Ермоленко, Л.Л. Потапова, А.Ю. Володин, Б.Х. Черчес. Палладийсодержащие катализаторы на основе полимерных волокнистых анионитов.....	93
Н.И. Егоренков, М.Н. Стародубцева. Термоэластография нанонеоднородных поверхностей.....	94
С.Ф. Ермаков, В.В. Мулярчик, В.Г. Константинов, В.Н. Данишевский, Р.А. Шулдыков, А.Л. Богданов. Технология получения пластичных смазочных материалов на гидратированных кальциевых мылах с использованием промежуточных, побочных продуктов нефтепереработки и мультифункциональных стабилизаторов структуры.....	95
С.Ф. Ермаков, В.И. Николаев, А.В. Белецкий. Антифрикционные свойства биокмпозитов на основе сыворотки крови.....	95
В.Т. Ерофеев, М.М. Касимкина, А.Д. Богатов, В.Ф. Смирнов, В.А. Худяков. Биодеструкция строительных материалов и изделий.....	96
В.Т. Ерофеев, А.В. Лазарев, А.Д. Богатов, В.А. Худяков. Исследование эпоксидных композитов.....	97
С.В. Еськин, П.А. Музалев, И.Д. Кособудский, Н.М. Ушаков. Просветляющее наноструктурированное покрытие на основе частиц серебра, стабилизированных в полимерной матрице ПММА.....	98
Е.Н. Жданук, Э.Т. Крутько. Изучение источников образования алифатических амидов в процессе производства капролактама.....	98
В.И. Жорник, А.В. Ивахник, В.П. Ивахник. Влияние наноразмерной алмазно-графитовой добавки на эволюцию структуры дисперсной фазы пластичных смазок в процессе трения.....	99
М.В. Журавлева, Э.Т. Крутько, Т.А. Жарская. Новые пленкообразующие композиты на основе эпоксидиановой смолы.....	100
А.Л. Зайцев, Т.Н. Генарова. Структура и энергетика взаимодействия кислородсодержащих соединений с поверхностью (100) железа.....	100
В.И. Зозуля. Опыт внедрения полимерных композитных материалов в поршневых компрессорных установках.....	101
В.И. Зубко, Д.В. Зубко. Влияние содержания и типа наполнителя на электрические свойства полимерных композиций на основе вторичных материалов.....	102
П.Г. Иваночкин, Н.А. Мясникова, Е.М. Колосова, М.И. Чебаков. Разработка и проектирование подшипников скольжения из бинарных материалов.....	103
Л.Н. Игнатьева, О.М. Горбенко, В.Г. Курявый, С.В. Суховерхов, А.Б. Слободюк, В.М. Бузник. Свойства низкотемпературной фракции, выделенной из нанодисперсного политетрафторэтилена.....	104
А.Ф. Ильющенко, А.А. Дмитрович, А.В. Лешок. Современное состояние исследований спеченных металлокерамических фрикционных композиционных материалов и изделий.....	105
А.Ф. Ильющенко, В.М. Капцевич, М.А. Андреев, Р.А. Кусин, И.Н. Черняк, Д.И. Жегздринь. Новые процессы получения пористых материалов на основе металлических порошков с улучшенными свойствами для газостатических подшипников и пневмотранспорта сыпучих сред.....	105
А.Ф. Ильющенко, А.В. Лешок, С.А. Багнычев, С.А. Карпыза. Оценка влияния количества металлокерамических фрикционных дисков на эффективность торможения погрузчика «АМКОДОР».....	106
Е.В. Иноземцева, О.Р. Юркевич. Технологическая совместимость некоторых термопластов.....	107

Н.Я. Ищенко, А.З. Чалабиева. Синтез водорастворимой эпоксидной смолы и получение композиционных материалов на ее основе	107
О.С. Кабат, В.И. Сыгар. Триботехнические композиты на основе фенилона С2 и кремнеземистых материалов.....	108
И.Г. Калинина, К.З. Гумаргалиева. Влияние растворителей различной природы на формирование структуры полиэтилена в условиях его переосаждения	109
А.Н. Калинин, О.И. Карпович, А.В. Спиглазов, В.П. Ставров. Композиционные материалы и формованные изделия из смешанных полимерных отходов: технологический и технико-экономический аспекты.....	110
А.В. Касперович, И.С. Ташлыков, О.Г. Бобрович, Ж.С. Шашок, В.В. Мозгалёв, В.В. Мяделец. Ионно-ассистированное осаждение покрытий на основе Мо и Ti на эластомер	111
А.М. Кенигфест, Е.И. Крамаренко, В.В. Кулаков, В.В. Мозалев, А.В. Кулифеев, С.А. Ситников. Получение, структура и свойства фрикционного углерод-керамического материала класса C/SiC	111
И.Н. Ковалева, А.Я. Григорьев, И.В. Гофман, В.Е. Юдин. Влияние нагрузки на коэффициент трения теплостойких термопластов	112
В.В. Коврига, Н.В. Бисерова. Разработка технологии и системы оценки качества полиэтиленовых водоводов большого диаметра для межрегиональных сетей водоотведения.	113
В.В. Коврига, И.Н. Пятин, В.И. Сергеев, С.С. Пендик. Разработка метода оценки сопротивления раздиру матрицы армирующим элементом	114
В.А. Ковтун, В.Н. Пасовец. Механизм улучшения прочностных свойств нанонаполненных композиционных материалов с медной порошковой матрицей.....	114
В.И. Колесников, С.Б. Булгаревич, М.В. Бойко. Оценка коэффициента трения взаимного проскальзывания кристаллических зерен железа по слоям атомосегрегантов на зернограничных поверхностях	115
В.И. Колесников, М.А. Савенкова, Ю.Ф. Мигаль, Д.Н. Солодовникова. Фосфоровольфраматы одновалентных металлов — антифрикционные присадки для смазочных материалов.....	116
М.М. Колобаева, И.В. Баранец, И.А. Карлина, В.Ю. Муль, З.А. Пересторонина, К.С. Путиев, С.К. Курлянд. Разработка способов поверхностной модификации резин с целью повышения ресурса работоспособности резино-технических изделий (РТИ)	117
В.И. Комарова, А.И. Комаров. Влияние введенных в смазку углеродных нанотрубок на триботехнические свойства и структуру МДО-покрытий	117
В.В. Комиссаров, Е.С. Головина. Экспериментальное исследование влияния смазки на процессы трения при контактно-механической усталости	118
К.Г. Коновалов. Методы оценки износостойкости полимерных подошвенных материалов	119
И.Л. Копаев, А.П. Павленко, М.В. Буй. Влияние метода формования на износостойкость и механические свойства керамики.....	119
И.Л. Копаев, А.П. Павленко, М.В. Буй. Износостойкая глазурь для керамических деталей трения.....	120
А.Н. Коптовец, А.А. Бобылёв. Компьютерное моделирование взаимодействия нормальных и тангенциальных фрикционных колебаний в колодочно-колесных тормозах	121
В.В. Копытков, С.В. Сосновский. Установка для исследования кавитационной эрозии полимерных и металлических материалов	122

А.И. Коршунов, Е.А. Коршунов, А.Я. Григорьев. Влияние дополнительных методов обработки на свойства плазменных покрытий.....	123
А.И. Коршунов, Е.А. Коршунов, В.А. Смуругов. Исследование структуры и свойств многокомпонентных газотермических покрытий	123
Н.Е. Кочкина, В.А. Падохин. Механохимический способ формирования нанокompозитов на основе биополимера и слоистого силиката	124
А.Г. Кравцов, С.В. Зотов, К.В. Овчинников, Н.Е. Савицкий, М.В. Барановский. Полимерный фильтроэлемент для фильтров тонкой очистки молока.....	125
А.Г. Кравцов, К.В. Овчинников, С.В. Зотов. Электретный эффект в волокнах из компатибилизированных смесей полимеров.....	126
С.Е. Кравченко, Е.М. Петроковец, В.Ф. Хиженок. Оценка долговечности дорожных покрытий на основе анализа усталостной прочности асфальтовяжущего при асимметричном цикле нагружения	127
Л.Г. Красневский. Роль трибологии в развитии автоматических трансмиссий автомобилей.....	127
С.Ю. Краснер, Б.С. Сункуев. Исследование процесса резания ниток.....	128
С.Ю. Краснер, Б.С. Сункуев. Оптимизации параметров процесса резания ниток.....	128
А.П. Крень, В.А. Рудницкий. Измерение термоупругих характеристик полимерных материалов методом индентирования.....	129
Ю.М. Кривогуз. Функционализация сополимеров этилена и винилацетата в процессе реакционной экструзии	130
Н.К. Криони, Л.Ш. Шустер. Влияние твердых смазочных покрытий на совместимость трущихся поверхностей при высоких температурах	130
О.В. Кропотин, Ю.К. Машков. Оптимизация конструкций герметизирующих устройств и выбора применяемых полимерных композиционных материалов	131
Л.П. Круль, Е.В. Гринюк, Л.Б. Якимцова, Е.К. Фомина, Т.Г. Данилович, Л.Ю. Бражникова, А.П. Поликарпов. Гелеобразование в водных растворах функционализированных полиакриламидов	132
Л.П. Круль, В.П. Прокопович, Г.В. Бутовская, И.А. Климовцова, Е.А. Семеновко, Ю.И. Матусевич, О.А. Веревка, Д.Л. Лисовский, Л.И. Сальников. Термостабилизированные композиции на основе полиэтилена с добавками полидисульфидов для получения радиационно-модифицированных электроизоляционных материалов	133
А.Л. Крылов, Т.Н. Кудрявцева, В.А. Грищенко, Л.С. Пинчук, В.А. Гольдаде. Инновационные текстильные изделия со специальными свойствами на основе наномодифицированных методом крейзинга полиэфирных волокон	133
М.А. Ксенофонов, Л.Е. Островская, В.С. Васильева. Газонаполненные полиуретановые композиты	134
С.Г. Кудян, С.Л. Гавриленко. Анализ механических свойств полимерных материалов на основе ПЭНД в условиях рециклинга	135
Ю.Г. Кузьминский, М.В. Борисенко. Применение 0-D моделирования для оценки гемодинамических параметров.....	136
В.И. Кулик, А.С. Нилов, Ю.В. Загашвили, А.А. Дмитриевич, В.В. Савич, Д.И. Сарока. Исследование триботехнических свойств углеволокнистых композиционных материалов с карбидокремниевой матрицей.....	137
А.В. Купреев. Исследование триботехнических свойств совмещенных фенольно-каучуковых связующих фрикционных композитов	138
Н.И. Курбанова, Н.Я. Ищенко, А.М. Кулиев, Д.С. Гулиева. Реологические свойства модифицированных бинарных смесей диеновых эластомеров.....	138

В.А. Левченко, В.Н. Матвеев, И.А. Буяновский, З.В. Игнатьева, А.Н. Большаков. К вопросу о противозадирных свойствах углеродных нанопокровитель-ориентантов в режиме граничной смазки.....	139
Л.А. Ленартович, Н.Р. Прокопчук, В.В. Яценко. Влияние модифицирования поверхности наполнителей на свойства полимерных композиционных материалов.....	140
П.Н. Логвиненко, С.В. Рябов, Б.Л. Литвин, Л.О. Карсим. Диспергирующие свойства водных эмульсий оксиэтилированных рапсового масла, фосфатидного концентрата и водных композиций полиэтиленгликоль – ПАВ.....	140
В.А. Ломач, А.В. Замаева, В.А. Банний. Ослабление энергии СВЧ-излучения несвязанной водой при фазовых переходах.....	141
Е.И. Лунева, М.А. Савенкова, Н.А. Мясникова. Модифицированные смазочные материалы для моторно-осевых подшипников локомотивов.....	142
Д.Н. Любимов, К.Н. Долгополов, Н.К. Вершинин, А.Е. Иванов. Структура трибоплазмы сопряжения «политетрафторэтилен–сталь».....	143
Д.Н. Любимов, К.Н. Долгополов, А.Т. Козаков, А.В. Никольский. Улучшение эксплуатационных свойств смазочных материалов применением добавок глинистых минералов.....	144
А.Г. Любимов, А.Ф. Мануленко. Применение технологических отходов полипропилена в производстве ориентированной полипропиленовой нити.....	144
А.Н. Любичева, И.А. Солдатенков. К вопросу идентификации закона изнашивания вязкоупругих материалов по результатам стандартных испытаний на износ.....	145
М.В. Макаренко, Д.И. Демид, П.Т. Петров, С.А. Усанов. Получение и тестирование <i>in vitro</i> рафтообразующих и нейтрализующих свойств композиционного антацидного препарата.....	146
М.В. Макаренко, Д.В. Муха, А.А. Гилеп, С.А. Усанов. Полимерные композиционные криогели в качестве матриц для фармацевтически активных соединений.....	146
О.А. Макаренко, Р.З. Шахназарли, А.А. Азимзаде, А.М. Гулиев. Функционализация смесей полипропилена с полиэтиленом и сополимерами олефинов.....	147
Ф.М. Мамедалиева, Т.А. Асланов, Э.М. Кулиев. Эпоксидная полимерная композиция.....	148
Б.А. Мамедов, Р.З. Шахназарли, Р.С. Рзаев, Х.Г. Назаралиев, Н.Я. Ищенко, М.М. Мамедов, А.М. Гулиев. Синтез олигодигидроксифениленов и использование их при получении электропроводящих резин.....	149
Л.В. Маркова, В.М. Макаренко, А.П. Зозуля, М.С. Семенюк. Исследование вязкостных свойств смазочных материалов.....	149
С.М. Мартыненко, А.В. Купреев, В.Г. Кудрицкий. Методы ускоренных триботехнических испытаний полимерных материалов и композитов.....	150
Е.А. Марченко, Ю.В. Коровкин, В.Н. Скворцов, Д.Г. Эфрос. Некоторые закономерности формирования вторичных структур при трении модифицированного полиамида.....	151
А.М. Мезрин. Расчёт ресурса подшипника скольжения с учетом изменения геометрии тел вследствие изнашивания.....	151
И.С. Михаловский, В.А. Тарасевич, М.В. Самойлов. Триглицеридные наноструктурированные коллоиды для создания экобезопасных смазочных материалов ...	152
А.С. Михневич, В.М. Станкевич, П.Ю. Апель, Н.В. Левкович. Анизотропия прочности и микроползучести тонких полимерных пленок и трековых мембран на их основе.....	153
Р.Г. Мнацаканов, В.И. Лизанец, И.М. Козориз, О.В. Безвершенко. Влияние концентрации рапсового масла на противоизносные свойства базового масла.....	153

Р.Г. Мнацаканов, О.А. Микосянчик, Ю.А.Турица, В.В. Волосовский. Влияние изменения микротвердости поверхностных слоев металла на кинетику износа контактных поверхностей	154
В.В. Можаровский, С.А. Марьин, Н.А. Марьина. Создание автоматизированных методик выбора физико-механических характеристик полимерных композитов для труб	155
В.В. Мозгалёв, Ж.С. Шашок, А.В. Касперович. Вязкоупругие свойства резин при квазистатическом растяжении	155
А.В. Морозов, М.Н. Добычин. Экспериментальное исследование влияния свойств резиновых компаундов на коэффициент трения скольжения	156
В.Е. Мурадян, Л.А. Тихомиров, Е.А. Соколов, Т.Ю. Костина. Трибологические свойства эпоксидных композитов с добавкой углеродных наноматериалов	157
А.М. Мустафаев, Г.Х. Велиева, И.А. Гусейнов, С.С. Керимова. Модифицирование полибромсодержащих ненасыщенных полиэфиров трехлучевыми триглицидиловыми олигоэфирами	157
В.Д. Мышак, Е.Н. Сырык, В.П. Бойко, Е.В. Лебедев. Получение композиционных материалов на основе функционализированных сополимеров этилена с виниацетатом	158
А.Л. Наркевич, В.В. Портной. Профильные изделия из стеклоармированного вторичного полиэтилентерефталата	159
Л.Н. Никитин, А.Ю. Васильков, В.А. Столяр, Ю.Е. Вопилов, Ю.Н. Бубнов, Л.А. Калинин, С.К. Рахманов. Композиционные материалы медицинского назначения на основе пористых фторполимеров, модифицированных кетопрофеном и наночастицами металлов	160
А.В. Николайчик, М.А. Лойко, И.В. Николайчик. Новые нанокomпозиционные лакокрасочные материалы	160
М.Н. Ничик, С.В. Войтехович, В.Э. Матулис, Р.А. Желдакова, А.И. Лесникович, О.А. Ивашкевич. Квантовохимические и биологические исследования наночастиц серебра, стабилизированных 1-фенилтетразол-5-тиолом	161
В.В. Новиков, В.Н. Латышев, М.С. Маршалов, Е.Е. Нуждина, М.А. Колбашов. Свойства масел с присадками жидких кристаллов при сверлении	162
В.В. Новиков, В.Н. Латышев, С.А. Сырбу, М.А. Колбашов. О механизме смазочного действия соединений холестерина с химически активными латеральными заместителями	162
К.С. Носов, Е.М. Лапшина, А.В. Чуб, В.С. Маршалов. Влияние фракционного состава минерального наполнителя на механические свойства полимер-песчаных композитов	163
Е.В. Овчинников, В.И. Кравченко, А.В. Митинов, И.И. Майстров. Нанодисперсные присадки к смазочным материалам	164
Е.В. Овчинников, В.И. Кравченко, А.В. Митинов, И.И. Майстров. Структурирование смазочных материалов под воздействием электрического поля	164
И.Н. Овчинникова, Е.И. Дроздова, О.П. Черногорова. Трибологические характеристики и износостойкость композиционных материалов, полученных из смеси порошков металла и фуллерита	165
О.Н. Озерский. Анализ явления «stick-slip» в трибометрии	166
И.Г. Олешук, И.Л. Поболь, В.К. Крутько, О.Н. Мусская. Трибологические свойства покрытий гидроксипатит — полимер на основе из титановых сплавов	166
В.В. Опекунов. Пористые стеновые и теплоизоляционные материалы для энергоэффективного строительства	167

А.А. Охлопкова, А.Г. Парникова. Фторполимерные нанокompозиты для узлов трения техники Севера	168
А.В. Павленок, Е.Н. Подденежный, Е.И. Гришкова. Получение оксидных наноструктурированных порошков с использованием СВЧ-излучения	169
В.В. Паентко, А.К. Матковский, Ю.В. Матрунчик, Г.Р. Юрченко, Е.В. Воробьева, Ю.Л. Зуб. Композиты на основе кремнезема, содержащие холинэстеразу ...	169
О.П. Паренаго, Г.Н. Кузьмина, Д.В. Терехин. Механизм формирования трибоактивных наночастиц MoS_3	171
В.А. Пашинская, Н.В. Грудина. Модифицирование свойств антифрикционных композиций на основе полиамида б	170
З.А. Пересторонина, А.К. Булкина, Г.П. Петрова, И.В. Баранец, М.М. Колобаева, Г.М. Хвостик, С.К. Курлянд. Влияние компатибилизатора на физико-механические свойства смеси полиолефин – полярный каучук	171
С.С. Песецкий, С.А. Леонов. Выдувные и экструзионные полиамидные материалы для изделий легковых автомобилей	172
П.Д. Петрашенко, С.Ф. Мельников, Н.В. Якимович. Выделение свободного фенола при изготовлении композитов на фенольных смолах	173
С.В. Петров. Алмазоподобные покрытия на резиновых уплотнениях	173
П.Н. Петрова, Т.А. Исакова. Использование ультразвука для повышения механических и триботехнических свойств композитов на основе ПТФЭ	174
П.Н. Петрова, А.А. Охлопкова, А.Л. Федоров. Исследование модифицирующего влияния различных видов моторных масел на триботехнические свойства ПТФЭ и композитов на его основе	175
Е.М. Петроковец, В.Н. Беломестных, Э.Г. Соболева. Особенности термомодеформационного поведения ауксетичных материалов	175
Г.Г. Печерский, В.П. Дубодел, И.И. Злотников. Применение нефтешлама при разработке битумно-полимерных защитных составов	176
Г.Г. Печерский, И.В. Приходько, А.С. Неверов. Создание и исследование полимерных антикоррозионных композиционных материалов	177
Л.П. Пилиневич, М.В. Тумилович. Порошковые материалы с анизотропной поровой структурой, применяемые для создания опор пневмо- и гидropодшипников ...	178
О.И. Пилипенко. Конструирование и оптимизационный расчёт цепной передачи для непараллельных валов из полимерных композитов	178
Д.Г. Пилипцов, А.В. Рогачёв, Н.Н. Федосенко, А.С. Руденков. Ионно-плазменные композиционные покрытия на основе углерода: синтез, структура, механические свойства	179
А.К. Погосян, А.Н. Карапетян, К.В. Оганесян. Модифицирование гетероцепных полимеров минералами Армении	180
А.К. Погосян, Н.Г. Меликсетян. Применение безасбестовых полимерных материалов Бастенит в парах жидкостного трения	181
И.В. Погоцкая, С.А. Чижик, Т.А. Кузнецова. Статическая силовая спектроскопия наноструктурированных пленок Ленгмюра-Блоджетт	181
В.Д. Полоник, Н.Р. Прокопчук, Ж.С. Шашок. Прочностные свойства эластомерных композиций, модифицированных фторированным углеродом	182
А.Н. Попов, В.П. Казаченко, А.М. Дворак. Модифицирование поверхности резин углеродными покрытиями	182
В.П. Прокопович, И.А. Климовцова, И.А. Башмаков. Разработка трудногорючих полимерных композиций, включающих новые фосфор-, кремний органические соединения	183

В.П. Прокопович, И.А. Климовцова, В.Г. Соколов, И.И. Уголев, О.М. Аншаков. Синтез и исследование полимерных композиционных сцинтилляторов на основе стирола.....	184
И.Н. Пугачева, С.С. Никулин, О.Н. Филимонова, М.В. Енютина. Повышение устойчивости полимерных композитов на основе бутадиен-стирольного каучука.....	185
Л.Ю. Пшебельская, В.П. Ставров. Изделия из полимерных материалов как продукт-инновация: затраты на создание, эффект и риск.....	185
С.Н. Рагимова, С.А. Мустафаев, М.Г. Велиев, Г.Р. Мустафаева. Новые композиции присадок к моторным маслам на основе солей и сложных эфиров нефтяных нафтеновых кислот бакинских нефтей	186
А.К. Ребров, А.И. Сафонов, Н.И. Тимошенко. Вакуумное газоструйное осаждение фторполимерных пленок с наночастицами серебра	187
А.К. Ребров, А.И. Сафонов, Н.И. Тимошенко. Газоструйный метод осаждения серебряных наноразмерных пленок и наночастиц.....	187
О.В. Рева, В.В. Богданова, З.В. Шукело, Л.В. Радкевич. Придание огнестойкости полиэфирным волокнам методом химической микросборки.....	188
О.В. Рева, Е.А. Петрико, В.В. Богданова. Интермедиативные реагенты для химической привязки неорганических функциональных слоев к инертным полимерам	189
М.М. Ревяко, А.Ф. Петрушеня. Экологически чистый древесно-полимерный слоистый материал.....	190
М.М. Ревяко, Е.З. Хрол. Консолидация частиц полимерных материалов при ротационном формовании	190
М.М. Ревяко, Ю.Н. Хрол. Статистическое управление процессами переработки полимерных композиционных материалов	191
А.А. Рогачёв, М.А. Ярмоленко, Лю Чжубо. Молекулярная структура и морфология покрытий полиэтилена, осажденных из активной газовой фазы.....	192
Н.Н. Рожкова, С.С. Рожков. Вклад наноразмерных составляющих шунгитового наполнителя в функциональные свойства полимерных композиционных материалов	192
Н.Б. Ростанина, Н.А. Кушунина. Программный комплекс ACUSL: моделирование структуры слоистых акустических материалов	193
М.Н. Рошин, В.В. Алисин², А.А. Владиславлев, И.М. Петрова. Оценка усталостной прочности стали ЗОХГСА после лазерной наплавки металлокерамического покрытия с ультратонкой упрочняющей фазой.....	194
В.В. Рубаник, В.В. Рубаник мл., О.А. Буркина. Термокинетическая ЭДС в никелиде титана.....	195
А.А. Рыбаков, Т.В. Пырх, Л.А. Щербина, Ю.М. Можейко. Биodeградируемый полимер для производства композитов.....	195
Т.В. Рябченко, В.А. Ковтун. Влияние гранулометрического состава двухкомпонентной порошковой системы медь-ПТФЭ на напряженное состояние композита	196
М.Е. Саввинова, Е.С. Семенова, С.В. Соловьева. Выбор технологического способа введения наполнителя в трубный полиэтилен марки ПЭ80Б	197
В.П. Селькин, С.В. Сосновский. Методика и оборудование для исследования абразивного износа в щелевых уплотнениях центробежных насосов.....	198
Д.А. Сергеев, Д.О. Чернов, В.В. Мешков. О методике моделирования образования площади упругого контакта шероховатых поверхностей.....	198
В.П. Сергиенко, С.Н. Бухаров, В.В. Жук, А.В. Жерновский. Современные Методы исследования и подходы к улучшению виброакустических характеристик фрикционных узлов машин.....	199

Е.Н. Сирьк, В.П. Бойко, В.Д. Мышак, Е.В. Лебедев, А.И. Буря. Механо-химическая поверхностная активация шинной резины и получение резинопластов	200
С.А. Слепцова, Е.С. Афанасьева, Ю.В. Кириллина, Ф.Д. Васильева. Свойства и структура полимерсиликатных нанокомпозитов на основе ПТФЭ	200
Г.П. Соболев, А.Н. Ильин. Необходимость определения предела текучести фторопласта-4.....	201
Г.П. Соболев, А.Н. Ильин. О надмолекулярной структуре фторполимеров.....	202
А.Е. Соломянский, Г.К. Жавнерко, В.Е. Агабеков, С.А. Филатов. Триботехнические характеристики композиционных пленок Ленгмюра–Блоджетт из меллисиновой кислоты	203
Л.А. Сосновский. ТРИБОФАТИКА — для трибологии.....	203
Л.И. Степанова, Т.И. Бодрых, С.К. Кохонов. Композиционные покрытия на основе никеля и высокодисперсных частиц политетрафторэтилена или полианилина	204
А.В. Стовпник, В.И. Сытар. Влияния природы модификаторов на свойства триботехнических композиций фенилона	205
Т.С. Стручкова, Е.Е. Куличкина. Свойства и структура полимерных нанокомпозитов на основе политетрафторэтилена.....	206
И.Я. Сулим. Исследование гидрофобных свойств нанокомпозитов SiO_2 и $\text{ZrO}_2/\text{SiO}_2$ с адсорбированным полидиметилсилоксаном.....	206
А.Н. Сутягин. Использование режущего инструмента с наноструктурированными покрытиями при высокоскоростной обработке	207
В.Е. Сыцко, Н.В. Кузьменкова. Получение окрашенных химических волокон для защиты ценных бумаг.....	208
А.П. Сычѳв, А.В. Гольцев, А.И. Воропаев. Исследование механических свойств стальных образцов до и после взаимодействия с композиционными фрикционными материалами.....	208
А.П. Сычѳв, Ю.В. Кравченко, А.А. Сычѳв. Повышение долговечности трибосопряжения пятник-подпятник грузового вагона.....	209
М.Г. Таврогинская, Е.В. Воробьева, Д.Г. Лин. Влияние химической природы соединений переходных металлов на окислительную стойкость полиэтиленовых пленок, ингибированных фенольным антиоксидантом	210
В.В. Тимошенко, М.Г. Таврогинская. Исследование равномерности распределения диоксида кремния в композиционной системе на основе смеси вторичных полиолефинов.....	210
В.В. Тимошенко, И.И. Злотников, М.И. Чен. Влияние микроволнового излучения на свойства и структуру отвержденных фенолоформальдегидных смол	211
А.А. Томас, А.Ф. Будник. Технологические аспекты процесса прессования углефторопластового композита	212
О.Н. Третинников, С.А. Загорская. Низкотемпературная кристаллизация полимерной матрицы в композитах поливиниловый спирт–неорганическая соль при их формировании из водных растворов.....	213
О.Н. Третинников, В.В. Пилипенко, Л.К. Приходченко. Поверхностная модификация полиолефинов фотоиндуцированной прививочной полимеризацией акриловой кислоты в водной среде с преадсорбцией фотоинициатора	213
Т.М. Ульянова, Н.П. Крутько, А.И. Буря, Л.В. Титова. Структура и свойства композитов на основе фенилона с наноструктурным наполнителем Al_2O_3	214
О.В. Урецкая, Н.Е. Дробышевская, Е.И. Гришкова, Е.Н. Подденежный. Стеклокристаллические люминофорные покрытия на основе наноструктурированных порошков $\text{YAG}:\text{Ce}$	215

Д.Ф. Устинович. Исследование мощности шлифования полимерно-абразивными дисковыми щетками.....	215
В.Д. Федоров, П.В. Васильев, Т.П. Валенчиц, З.В. Коптелова, В.Н. Коваль. Об армировании шинных резин короткими волокнами.....	216
О.В. Филимонов, В.В. Голубович. Ударопрочные смесевые композиционные материалы на основе вторичного ПЭТ	217
А.Ю. Филипович, Л.В. Ермольчук. Эпоксидные связующие для полимерных композиционных материалов.....	218
Р.Н. Фоменко. Исследование трибологических характеристик режущего инструмента с наноструктурированными покрытиями	218
А.А. Харченко, М.Г. Лукашевич, В.В. Базаров, О. Петрачик, Р.И. Хайбуллин, В.Б. Оджаев. Электронно-транспортные и магнитные свойства металлополимерных композитов, полученных имплантацией ионов кобальта в полиимид.....	219
М.Ю. Целуев, В.П. Сергиенко, М.М. Заблоцкий, Г.И. Лось. Моделирование тепловых режимов работы маслоохлаждаемой фрикционной пары	220
А.В. Чарковский, В.П. Шелепова, Д.В. Скирман. Особенности разработки трикотажных наполнителей для конструкционных пластиков	221
Д.О. Черваков, П.И. Баштаник, М.В. Бурмистр. Конструкционные материалы на основе модифицированного полипропилена.....	221
Д.А. Черноус. Расчет свойств армированных полимеров, содержащих межфазный слой.....	222
Н.В. Чернюк. Модифицирование материалов эндопротеза тазобедренного сустава ...	223
С.А. Чижик, А.Л. Худолей, В.В. Чикунов, А.А. Станишевский. Проектирование микротрибометра на основе камертонного датчика.....	224
Е.В. Шалобаев, К.Н. Заикин, Д.Г. Суриков. Особенности выбора вида сопряжения и расчета точности металлополимерных и полимерных зубчатых передач	224
В.А. Шамаев, И.Н. Медведев. Модифицированная древесина нового поколения для деталей трения	225
В.М. Шаповалов, Д.И. Бочкарев, В.Е. Рогачев, Е.М. Лапшина, К.С. Носов, А.В. Чуб. Использование полимерных композитов в производстве шпал для магистральных и подъездных путей.....	226
А.В. Шаронов. Полимерные композиционные материалы с волокнистыми наполнителями из базальтовых и полиоксадиазольных волокон. преимущества и области применения.....	227
Р.З. Шахназарли, А.А. Азимзаде, А.М. Гулиев, Ю.М. Кривогуз, О.А. Макаренко. Прививка винилциклопропанкарбоновой кислоты к полипропилену и получение наполненных композитов	228
С.В. Шилько. Механика адаптивных материалов и конструкций в решении прикладных задач триботехники и биомеханики.....	228
С.В. Шилько, В.В. Можаровский, А.Н. Конопацкий, А.С. Мурычев. Исследование деформирования металлополимерных труб и их уплотнений при экстремальных силовых воздействиях.....	229
Р.А. Шулдыков, А.Л. Богданов. Исследование триботехнических свойств смазочных материалов, модифицированных жидкокристаллическими производными холестерина.....	230
Т.Г. Шутова, В.И. Куликовская, Фам Хонг Хай, Чан Динь Тоай. Исследование адсорбции к-каррагинана на золоте и модифицированной полиэтиленмином поверхности методом кварцевого микровзвешивания.....	230
С.С. Щербаков, В.В. Комиссаров. Влияние циклических напряжений от внеконтактной нагрузки на изменение характеристик трения.....	232

А.С. Юдин, А.П. Краснов, Д.И. Буяев, О.В. Афоничева, Б.Я. Сачек, В.Б. Баженова. Роль дисперсного наполнителя в самосмазывающихся материалах армированных волокнами.....	232
О.Р. Юркевич, Е.В. Иноземцева. К оценке межслоевой адгезии в комбинированных покрытиях на основе термопластов.....	233
Ю.В. Юркин, В.Д. Черкасов, В.В. Авдонин. Методика прогнозирования динамических свойств полимерных композитов при различных температурах.....	234
Г.Ю. Юрков, В.М. Бузник, А.В. Гороховский, Д.П. Кирюхин, Ю.Е. Вопилов. Новый композиционный материала трибологического назначения на основе полититаната калия и политетрафторэтилена.....	234
Н.В. Якимович, С.Н. Бухаров, М.А. Демусков. Звукопоглощающие материалы на основе природных волокон для шумопонижающих конструкций транспортных средств.....	235
Л.Б. Якимцова, Е.С. Попко. Набухание гидрогелей на основе сополимеров акриламида с 2-акриламид-2-метилпропансульфонокислотой и 2-акриламид-2-метилпропансульфонатом натрия в растворах низкомолекулярных электролитов.....	236
А.Я. Григорьев, В.Л. Басинюк, Е.И. Мардосевич, В.Г. Кудрицкий, И.Н. Ковалева. Методики наземных и орбитальных испытаний материалов в эксперименте «Трибокосмос».....	236
В.А. Лиопо, А.В. Никитин, Л.В. Михайлова, С.В. Авдейчик. Процессы формирования кластерных структур в полимерных нанокompозитах.....	237
В.Г. Сорокин, С.Л. Гей, В.А. Лиопо. Методика оценки размерных параметров наночастиц в дисперсных смесях.....	238
Авторский указатель.....	239
СОДЕРЖАНИЕ.....	247

Электронное
научное издание

Международная научно-техническая конференция
«ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ И ТРИБОЛОГИЯ»
(ПОЛИКОМТРИБ–2011)

Тезисы докладов

Ответственные за выпуск:

В.А. Смуругов, А.М. Великанова, С.М. Мартыненко, В.В. Терехов