

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
"ВОПРОСЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ"

№ 4(72), 2012

СОДЕРЖАНИЕ

5-я Международная научно-техническая конференция «Полимерные композиты в триботехнике. Проблемы создания и применения. Опыт эксплуатации» ..... 9

**МОДИФИЦИРОВАННЫЕ АНТИФРИКЦИОННЫЕ УГЛЕПЛАСТИКИ,  
СВОЙСТВА, ПРОИЗВОДСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ**

Бахарева В. Е., Николаев Г. И., Орыщенко А. С. Антифрикционные углепластики для узлов трения скольжения..... 15

Горячева И. Г. Математическое моделирование фрикционного взаимодействия деформируемых тел..... 34

Бахарева В. Е., Анисимов А. В., Лишевич И. В. Антифрикционные фенольные углепластики для подшипников скольжения центробежных насосов ..... 46

Велижанин В. С., Перегудов Д. Г., Юрченко С. А. Опыт и перспективы применения полимерных композиционных материалов в насосах системы поддержания пластового давления ..... 54

Морозов А. В., Сачек Б. Я., Мезрин А. М. Оценка триботехнических свойств модифицированных эпоксидных углепластиков в проточной воде ..... 58

Бахарева В. Е., Анисимов А. В., Блышко И. В., Савелов А. С. Модификация термореактивных антифрикционных углепластиков ..... 66

Бахарева В. Е., Анисимов А. В., Лобынцева И. В., Савелов А. С. Макромодификация антифрикционных углепластиков фторопластом – эффективный путь снижения коэффициента трения..... 81

Анисимов А. В., Бахарева В. Е., Савелов А. С. Исследование морфологии поверхности трения и механизма макромодификации углепластиков фторопластом ..... 89

Бахарева В. Е., Анисимов А. В., Ильин С. Я., Моркин О. В., Пеклер К. В. Стендовые триботехнические испытания антифрикционного макромодифицированного фторопластом углепластика УГЭТ-МФ для узлов трения гидротурбин ..... 93

Бахарева В. Е., Цуканов Д. В. Контроль качества подшипников скольжения из антифрикционных углепластиков..... 98

Савелов А. С., Маланюк А. И., Николаев Г. И., Бахарева В. Е., Садиков О. Л., Алыхов А. С. Организация производства подшипников скольжения на основе антифрикционных углепластиков нового поколения ..... 106

Сытов В. А., Верстаков А. Е., Воронин А. Е., Бахарева В. Е., Чурикова А. А., Цуканов Д. В., Сытов В. В. Применение эпоксикаучуковых клеев при изготовлении подшипников скольжения из антифрикционных углепластиков ..... 115

Дроздов Ю. Н., Надеин В. А., Пучков В. Н., Краснов А. П. Самосмазывающиеся композиционные полимерные материалы в демпферах-сейсмоизоляторах..... 120

**ТЕПЛОСТОЙКИЕ АНТИФРИКЦИОННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Бузник В. М., Юрков Г. Ю. Применение фторполимерных материалов в трибологии: состояние и перспективы..... 133

Гофман И. В., Юдин В. Е., Orell O., Vuorinen J., Григорьев А. Я., Ковалева И. Н., Светличный В. М. Влияние степени упорядоченности надмолекулярной структуры теплостойких термопластов конструкционного назначения на их механические и трибологические характеристики в диапазоне температур 20–250°С ..... 150

Бахарева В. Е., Лишевич И. В., Саргсян А. С. Новый термостойкий антифрикционный углепластик на основе полифениленсульфида для узлов трения, работающих без смазки и со смазкой перегретой водой .....	160
Бахарева В. Е., Ковалев И. А., Лишевич И. В., Моногаров Ю. И., Саргсян А. С., Эсперов Д. Г., Энрольд С. С. Применение антифрикционных термостойких углепластиков для подшипников паровых турбин .....	171
Саргсян А. С., Лишевич И. В., Блышко И. В. Антифрикционные термостойкие композиты на основе полициануратов .....	181
Цегельская А. Ю., Самков В. С., Семенова Г. К., Красовский В. Г., Кечежян А. С., Кузнецов А. А. Изучение процесса отверждения бис-циановых эфиров методами ДСК и ИК-спектроскопии ..	185
Хатилов С. А., Серов С. А., Садовская Н. В. Новый класс износостойких материалов, полученных радиационной модификацией политетрафторэтилена в расплаве .....	191
Саргсян А. С., Лишевич И. В., Блышко И. В., Савелов А. С. Разработка и исследование трибологических характеристик антифрикционных дизлектриков .....	203
Шелестова В. А., Гракович П. Н., Данченко С. Г. Композит суперфлуид и его применение в узлах трения .....	210
Седакова Е. Б., Козырев Ю. П. Приложение эмпирического закона изнашивания к вопросам прогнозирования износа композитов на основе политетрафторэтилена .....	217
Сорокин А. Е., Краснов А. П., Зюзина Г. Ф., Баженова В. Б., Клабукова Л. Ф., Щеглов П. А. Влияние гибкости полимерной цепи на трибологические свойства полиарилатов ДВ и ФВ .....	223
Юдин А. С., Буяев Д. И., Краснов А. П., Сачек Б. Я., Афоничева О. В., Баженова В. Б. Дисперсные наполнители в трибологических полимерных армированных волокном материалах. Поисковое исследование .....	231
Чулкин С. Г., Ашейчик А. А., Селин С. Н. Использование композитных материалов в узлах трения нефтяного оборудования – шаровой запорной арматуры и в кабелях-толкателях .....	240
Чулкин С. Г., Жуков В. А., Селин С. Н. Исследование физико-механических свойств модифицированных композитных материалов на основе фенилона и полиэфирэфиркетона, предназначенных для изготовления подшипников скольжения .....	245
<b>МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ, МЕХАНИЗМА ИЗНАШИВАНИЯ И СВОЙСТВ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОЛИМЕРОВ</b>	
Веттегрень В. И., Башкарев А. Я., Васильев К. Д., Ляшков А. И., Мамалимов Р. И., Савицкий А. В., Щербаков И. П. Исследование образования микротрещин в волокнистом композите при ударе и трении .....	251
Мышкин Н. К., Сергиенко В. П., Бухаров С. Н. Исследование склонности металлополимерных фрикционных пар к виброакустической активности методом лазерной доплеровской виброметрии .....	258
Поздняков А. О., Гинзбург Б. М., Лишевич И. В., Попов Е. О., Поздняков О. Ф. Масс-спектрометрические исследования трения полимеров .....	265
Соснов Е. А., Анисимов А. В., Бахарева В. Е., Барахтин Б. К., Малыгин А. А., Лишевич И. В., Саргсян А. С. Влияние природы модификатора на механизм изнашивания антифрикционного углепластика в режиме торцевого трения .....	275
<b>НАНОМОДИФИКАЦИЯ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОЛИМЕРОВ</b>	
Тикунова Е. П., Яблокова М. Ю., Куркин Т. С., Озерин А. Н. Композиционные материалы на основе эпоксидного связующего, модифицированного высокодисперсной алмазной шихтой .....	282
Пихуров Д. В., Зувев В. В. Трибологические свойства полимерных нанокомпозитов, модифицированных фуллероидными материалами .....	290
Данюшина Г. А., Могильницкий В. М., Чебанов Р. А., Данюшин Л. М., Бережной Ю. М. Композиционные материалы на основе полимеров и комплексных соединений металлов .....	296
Шаповалов В. А., Валенков А. М. Триботехнические свойства композиционных покрытий на основе алифатических полиамидов и частиц наноструктурированного углерода .....	300

Летенко Д. Г. Методы и средства оперативного неразрушающего контроля модификации материалов и трибосопряжений фуллероидными углеродными наночастицами .....	303
Шилов М. А. Трибологические исследования механизма надмолекулярной самоорганизации при введении в воду неионогенных поверхностно-активных веществ и их композиций с ионогенными и нанотрубками в водосмазываемых узлах трения.....	310
Иванов А. С., Летенко Д. Г., Никитин В. А., Петров В. М., Федосов А. В., Юрьев В. Г. Влияние фуллероидных дисперсий на абразивную износостойкость углепластиков в масляных средах	316
Летенко Д. Г., Юрьев В. Г., Никитин В. А., Петров В. М., Федосов А. В., Иванов А. С. Влияние водных и масляных растворов фуллеренов на абразивную износостойкость углепластиков...	322
<b>АНТИФРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДОВ</b>	
Дерлугян П. Д., Логинов В. Т. Обоснование процесса получения композиционных самосмазывающихся материалов группы «Маслянит» методом химического наноконструирования .....	327
Дерлугян Ф. П., Иванова И. В. Композиционный полимерный тонколистовой материал для работы в трибосопряжениях.....	336
Григорьев А. К., Ермолаев В. А. Неметаллические роликовые подшипники с водяной смазкой. Влияние частоты воздействия нагрузки на величину просадки резинового и капролонового роликов .....	342
Лободенко А. В., Сытар В. И. Исследование влияния термической обработки на структуру и свойства материалов на основе фенилона.....	352
Дерлугян П. Д., Могильницкий В. М., Чебанов Р. А. Испытательный комплекс для трибоисследований опорно-ходовых частей затворов и гидросооружений .....	357
Подшивалов А. В., Зуев В. В., Бронников С. В. Влияние добавок эмульгатора и совместителя на морфологию и механические свойства смеси полиэтилена с полиамидом-6.....	363
<b>НЕОРГАНИЧЕСКИЕ АНТИФРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ</b>	
Кузнецова О. С., Данилович Д. П., Орданьян С. С., Фадин Ю. А. Кинетика изнашивания керамик	370
Боровко В. Н. Искусственные базальты – новые антифрикционные и конструкционные материалы .....	376
Анохин А. И., Африкантов Г. Г., Бугреев А. В., Коробов И. Б., Курицын В. С., Луканов А. В., Шишкин В. А. Исследования коррозионной стойкости и износостойкости опытных образцов подшипниковых материалов в среде воды высоких параметров .....	381
Боровков М. Н., Бугреев А. В., Иляхинский И. А., Курицын В. С., Шишкин В. А. Исследование износостойкости материалов пар трения подшипников скольжения и определение их триботехнических характеристик при сухом трении в среде геля.....	388
Фомичев Д. С., Березина Е. В., Годлевский В. А. Исследование смазочных композиций на основе пластичных смазочных материалов.....	394
<b>Рефераты публикуемых статей.....</b>	<b>403</b>
<b>Авторский указатель .....</b>	<b>429</b>
<b>Научно-технический журнал «Вопросы материаловедения». Оформление статей. Правила для авторов .....</b>	<b>432</b>

## РЕФЕРАТЫ ПУБЛИКУЕМЫХ СТАТЕЙ

УДК 678.067:621.822

**Антифрикционные углепластики для узлов трения скольжения.** Бахарева В. Е., Николаев Г. И., Орыщенко А. С. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 15–33.

Разработаны высокопрочные антифрикционные полимерные углепластики марок УГЭТ, ФУТ, их модификации УГЭТ-ТН, ФУТ-Б, УГЭТ-МФ, ФУТ-МФ, а также новый теплостойкий антифрикционный углепластик марки УПФС для судового и энергетического машиностроения, которые обеспечивают работу узлов трения с водяной смазкой, в том числе перегретой водой. Эти материалы по прочности и износостойкости превосходят традиционные полимерные антифрикционные материалы.

*Ключевые слова:* антифрикционные полимерные углепластики, узлы трения, водяная смазка, прочность, износостойкость.

УДК 519.85:621.891:539.3

**Математическое моделирование фрикционного взаимодействия деформируемых тел.** Горячева И. Г. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 34–45.

Представлены некоторые математические модели, предназначенные для изучения количественных зависимостей характеристик трения от механических свойств взаимодействующих тел, их структуры, макро- и микрогеометрии, нагрузки и скорости относительного скольжения, свойств поверхности и промежуточной среды.

*Ключевые слова:* пара трения, фрикционное взаимодействие, структура, механические свойства, макро- и микрогеометрия, математическая модель.

УДК 678.067:621.891:621.822:621.671

**Антифрикционные фенольные углепластики для подшипников скольжения центробежных насосов.** Бахарева В. Е., Анисимов А. В., Лишевич И. В. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 46–53.

Созданы антифрикционные углепластики марок ФУТ и ФУТ-Б на основе фенолформальдегидного связующего и углеродной ткани УРАЛ для подшипников скольжения центробежных насосов топливно-энергетического комплекса и энергетических установок. Проведенный комплекс исследований показал, что разработанные материалы обеспечивают надежную эксплуатацию встроенных подшипников с температурой перекачиваемой жидкости 4–125°С в составе серийных насосов систем поддержания пластового давления (ППД) и перекачки нефти и нефтепродуктов магистральных нефтепроводов. Отработана технология и организован промышленный выпуск подшипников центробежных насосов. Обобщен 5–10-летний опыт испытаний и эксплуатации центробежных насосов и энергетических установок с подшипниками из углепластиков марок ФУТ и ФУТ-Б.

*Ключевые слова:* центробежный насос, энергетическая установка, нефтепровод, подшипник скольжения, баббит, интенсивность изнашивания, ресурс, перегретая вода, встроенный подшипник, выносной подшипник.

УДК 678.067:621.671

**Опыт и перспективы применения полимерных композиционных материалов в насосах системы поддержания пластового давления.** Велижанин В. С., Перегудов Д. Г., Юрченко С. А. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 54–57.

Изложен опыт применения композиционных материалов ФУТ, УГЭТ, СТЭТ в подшипниках скольжения, щелевых уплотнениях, узле разгрузки центробежных насосов. Описаны результаты применения безабразивной ультразвуковой финишной обработки (БУФО) металла с нанесением геомодификаторов (ГЕО) и их влияние на повышение характеристик насосов ППД. Представлены результаты наблюдений и эксплуатации модернизированных насосов. Совместное применение БУФО + ГЕО стальной втулки в контакте с втулкой из ФУТ понижает виброскорость в подшипнике

скольжения от 3 до 9 раз. Применение ФУТ для изготовления колец щелевых уплотнений также повышает эксплуатационные характеристики насосов. Намечены пути дальнейшей модернизации насосов ППД.

*Ключевые слова:* подшипник скольжения, щелевое уплотнение, модернизация, центробежный насос, геомодификатор, безабразивная ультразвуковая финишная обработка, ФУТ.

УДК 678.067:621.891:620.178.16

**Оценка триботехнических свойств модифицированных эпоксидных углепластиков в проточной воде.** Морозов А. В., Сачек Б. Я., Мезрин А. М. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 58–65.

Представлены результаты экспериментального исследования триботехнических характеристик углепластиков УГЭТ-Б и УГЭТ-УРАЛ-Т15Р-ЭХО, испытанных на триботестере Т-05 по схеме колодка – ролик в паре с закаленной сталью HRC 60–62 в интервале давлений 15–80 МПа при постоянной скорости скольжения  $V = 1,5$  м/с в проточной воде с расходом  $Q = 1,5$  л/мин. Получены аналитические выражения для расчета коэффициента трения и интенсивности изнашивания в зависимости от контактного давления. Установлено, что в связи с анизотропией структуры углепластика его износостойкость в зависимости от давления может изменяться на два порядка.

*Ключевые слова:* углепластики, износостойкость, коэффициент трения, триботехнические испытания, проточная вода.

УДК 678.067:539.538:621.891

**Модификация терморезистивных антифрикционных углепластиков.** Бахарева В. Е., Анисимов А. В., Блышко И. В., Савелов А. С. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 66–80.

Обобщены результаты многолетних исследований по модификации антифрикционных углепластиков на различных масштабных (иерархических) уровнях: молекулярном, нано-, микро- и макроуровнях. Поверхность трения модифицированных углепластиков исследована методами АСМ и РЭМ. Выбраны модификаторы, оптимальные для каждого масштабного уровня. Выполнен анализ эффективности нано- и микромодификаторов.

*Ключевые слова:* модификация, антифрикционный углепластик, молекулярный, нано-, микро- и макроуровни, износостойкость, трибопара.

УДК 678.067:539.538:621.891

**Макромодификация антифрикционных углепластиков фторопластом – эффективный путь снижения коэффициента трения.** Бахарева В. Е., Анисимов А. В., Лобынцева И. В., Савелов А. С. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 81–88.

Установлено, что макромодификация углепластика фторопластом является примером инжиниринга поверхности композита, т. е. примером технологии, в которой через макромодификацию осуществляется наномодификация. При этом достигается снижение коэффициента трения в 2–3 раза, повышение износостойкости и ресурса эксплуатации подшипников. Предложены бинарные конструкции и технология изготовления высокоскоростных подшипников судовых гребных валов и тяжелонагруженных тихоходных подшипников направляющих аппаратов гидротурбин. Организовано промышленное производство подшипников скольжения из новых модифицированных антифрикционных углепластиков для судостроения и гидротурбостроения.

*Ключевые слова:* антифрикционный углепластик, фторопласт, макромодификация, бинарные опоры, высокоскоростные подшипники, тяжелонагруженные тихоходные подшипники, коэффициент трения.

УДК 678.067:621.891:620.178.16

**Исследование морфологии поверхности трения и механизма макромодификации углепластиков фторопластом.** Анисимов А. В., Бахарева В. Е., Савелов А. С. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 89–92.

Приведены результаты комплексных испытаний эпоксидного углепластика, макромодефицированного фторопластом, включающие триботехнические испытания, анализ химического состава и структуры поверхности трения. Подробно рассмотрена методика испытаний при сухом трении при контактном давлении 2 МПа и скорости скольжения 0,1 м/с на трибометре фирмы Center for Tribology Inc., США, модель UMT-2. При исследовании структуры и состава поверхности трения использовали оптическую, растровую электронную микроскопию и рентгеновский микроанализ. Доказано, что в процессе длительной эксплуатации на сопряженных поверхностях пары трения макромодефицированный углепластик – металл вследствие фрикционного массопереноса образуются пленки вторичных структур, содержащие в том числе и материал трибомодификатора – фторопласта.

*Ключевые слова:* макромодефицированный углепластик, пара трения, контртело, вставки из фторопласта, трибометр, фрикционный перенос.

УДК 678.067:621.891:621.822:620.178.16

**Стендовые триботехнические испытания антифрикционного макромодефицированного фторопластом углепластика УГЭТ-МФ для узлов трения гидротурбин.** Бахарева В. Е., Анисимов А. В., Ильин С. Я., Моркин О. В., Пеклер К. В. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 93–97.

Рассмотрены результаты испытаний моделей подшипников, изготовленных из углепластиков марок УГЭТ и УГЭТ-МФ, на стендах, имитирующих условия подшипников направляющих аппаратов гидротурбин. Приведены конструкции стендов и методики испытаний ОАО «Силовые машины» и ОАО «Центральный котлотурбинный институт им. И. И. Ползунова».

*Ключевые слова:* подшипник, направляющий аппарат гидротурбины, контактное давление, скорость скольжения, коэффициент трения, интенсивность изнашивания.

УДК 678.067:621.822

**Контроль качества подшипников скольжения из антифрикционных углепластиков.** Бахарева В. Е., Цуканов Д. В. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 98–105.

Рассмотрены стадии технологического процесса изготовления подшипников из антифрикционных углепластиков, контроль качества исходных компонентов, пропиточного лака, пропитанной углеродной ткани, подшипников из углепластика. Описаны дефекты подшипников из углепластика. Обращено особое внимание на зависимости прочностных и триботехнических характеристик углепластиков от технологических параметров. Для контроля качества подшипников скольжения из антифрикционных углепластиков предпочтительно использовать ультразвуковые методы. В качестве дополнительных методов контроля перспективно использование емкостных методов и термо-ЭДС.

*Ключевые слова:* подшипники скольжения, углепластики, контроль качества, дефекты, ультразвуковой контроль, визуальный контроль, емкостные методы.

УДК 678.067:621.822

**Организация производства подшипников скольжения на основе антифрикционных углепластиков нового поколения.** Савелов А. С., Маланюк А. И., Николаев Г. И., Бахарева В. Е., Садиков О. Л., Алыхов А. С. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 106–114.

Рассмотрен технологический процесс изготовления подшипников скольжения из наномодефицированных антифрикционных углепластиков марок УГЭТ, ФУТ, УПФС на основе терморезистивных и термопластичных связующих. Приведены данные по лабораторному и технологическому оборудованию, имеющемуся в научно-производственном комплексе ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей». Охарактеризованы участки приготовления модифицированных терморезистивных связующих, пропитки армирующих тканей терморезистивными и термопластичными связующими (получения препрегов), раскроя и намотки препрегов, прессования и механической обработки деталей трения.

*Ключевые слова:* подшипники скольжения, антифрикционные углепластики, препрег, пропитка, намотка, механическая обработка.

УДК 678.067:621.822

**Применение эпоксикаучуковых клеев при изготовлении подшипников скольжения из антифрикционных углепластиков.** Сытов В. А., Верстаков А. Е., Воронин А. Е., Бахарева В. Е., Чурикова А. А., Цуканов Д. В., Сытов В. В. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 115–119.

Рассмотрены вопросы получения работоспособных клеевых соединений. Представлены свойства эпоксикаучуковых клеев, данные по конструкции узлов трения, подготовки поверхности и технологии применения клеев. Установлены зависимости разрушающего напряжения при сдвиге и эластичности эпоксикаучукового клея ЭКАН-3 от времени старения при различных температурах. Описана конструкция комбинированных подшипников скольжения гидротурбин из углепластика и резины и технология изготовления их методом клеевой сборки с применением эпоксикаучуковых клеев различной деформативности.

*Ключевые слова:* эпоксикаучуковый клей, подготовка поверхности, комбинированный подшипник, резиновые «гидрозамки», соединение резины и углепластика, старение клеев.

УДК 678.067:621.892:621.822

**Самосмазывающиеся композиционные полимерные материалы в демпферах-сейсмоизоляторах.** Дроздов Ю. Н., Надеин В. А., Пучков В. Н., Краснов А. П. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 120–132.

Впервые в мировой науке и практике создаются научные основы проектирования опор скольжения, самосмазывающихся, самоустанавливающихся, с реверсивным движением, применяющихся в качестве демпферов-сейсмоизоляторов для мостов, промышленных и гражданских сооружений, а также для нефтегазовых морских платформ, превосходящих по своей несущей и демпфирующей способности известные ранее опоры. Разработан оригинальный экспериментально-расчетный метод определения срока службы фрикционного маятникового подшипника скольжения с использованием зависимостей для определения скорости изнашивания, представленных в обобщенных переменных, представлен также метод оценки коэффициента трения фрикционных маятниковых подшипников. Рассмотрены перспективы получения отечественного антифрикционного самосмазывающегося покрытия с заданными трибологическими свойствами и современное состояние проблемы, а также наиболее перспективные термостойкие полимеры и наполнители и получаемые на их основе комбинированные антифрикционные ткани.

*Ключевые слова:* фрикционные маятниковые подшипники, трибологические характеристики, демпфирование сейсмических воздействий, коэффициенты трения, износ, ресурс, расчеты; самосмазывающиеся композиционные материалы.

УДК 678.7:621.891

**Применение фторполимерных материалов в трибологии: состояние и перспективы.** Бузник В. М., Юрков Г. Ю. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 133–149.

В обзоре показано, что фторполимеры нашли применение во многих отраслях, преимущественно высокотехнологичных. На их основе разрабатываются новые, более сложные материалы, с высокими антифрикционными параметрами. Развитие данного направления невозможно без расширения и углубления исследований в области фторполимерного материаловедения и усиления сотрудничества научных сотрудников с практиками, применяющими эти материалы.

*Ключевые слова:* фторполимеры, синтез фторполимеров, применение фторполимеров.

УДК 678.5:621.891:621.78

**Влияние степени упорядоченности надмолекулярной структуры теплостойких термопластов конструкционного назначения на их механические и трибологические характеристики в диапазоне температур 20–250°C.** Гофман И. В., Юдин В. Е., Orell O., Vuorinen J., Григорьев А. Я., Ковалева И. Н., Светличный В. М. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 150–159.

Исследованы механические характеристики блочных образцов ряда теплостойких термопластов конструкционного назначения в широком диапазоне температур – от комнатной до

250°С. Наряду с промышленно выпускаемыми материалами такими, как полиэфирэфиркетон, полифениленсульфид и полиэфиримид изучен полиимидный термопласт на основе диангида 1,3-бис-(3,3',4,4'-дикарбоксифеноксид)бензола и 4,4'-бис-(4-аминофеноксид)дифенила, разработанный в Институте высокомолекулярных соединений РАН. Изучено трибологическое поведение этих термопластов в процессе трения по стали при вариации температуры – от комнатной до 250°С – и контактного давления. Проанализированы возможности обеспечения максимально широкого температурного диапазона работоспособности термопластичного полимерного материала за счет направленного регулирования степени его структурной упорядоченности.

*Ключевые слова:* термопласты, теплостойкость, механические характеристики, трибология, коэффициент трения, износостойкость, кристалличность.

УДК 678.067:621.891:621.822

**Новый теплостойкий антифрикционный углепластик на основе полифениленсульфида для узлов трения, работающих без смазки и со смазкой перегретой водой.** Бахарева В. Е., Лишевич И. В., Саргсян А. С. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 160–170.

Рассмотрены свойства, получение и применение нового теплостойкого антифрикционного углепластика марки УПФС на основе частично кристаллического полифениленсульфида. Новый углепластик предназначен для узлов трения насосов судовых энергетических установок ТЭЦ, ГРЭС, АЭС, работающих при смазке перегретой водой (до температуры 200°С), а также узлов трения, работающих без смазки.

*Ключевые слова:* полифениленсульфид, углепластик УПФС, перегретая вода, полигетероарилен, термопласт, температура стеклования, температура плавления, насос, энергетическая установка.

УДК 678.067:621.891:621.822

**Применение антифрикционных теплостойких углепластиков для подшипников паровых турбин.** Бахарева В. Е., Ковалев И. А., Лишевич И. В., Моногаров Ю. И., Саргсян А. С., Эсперов Д. Г., Энрольд С. С. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 171–180.

Рассмотрены перспективы применения теплостойких антифрикционных углепластиков марок ФУТ-Б и УПФС на основе терморезистивного фенолформальдегидного связующего и термопласта – полифениленсульфида для опорных поверхностей подшипников паровых турбин. Описан уникальный стенд ОАО «НПО ЦКТИ» для испытаний подшипников паровых турбин и методика испытаний. Приведены результаты стендовых испытаний подшипников диаметром 300 мм со вставками из углепластиков ФУТ-Б и УПФС и баббита в условиях, максимально приближенных к натурным. Испытания показали высокую несущую способность подшипников из углепластика УПФС при минимальном температурном уровне поверхности подшипника (до 60°С). Целесообразно провести испытания на опорном подшипнике диаметром 600 мм (диаметр шейки роторов современных мощных турбоагрегатов). При этом необходимо проверить работоспособность камер гидроподъема, провести испытания на различных нагрузках и различных частотах вращения.

*Ключевые слова:* теплостойкие углепластики, полифениленсульфид, стенд, паровая турбина, опорный подшипник, несущая способность подшипника, расход смазки.

УДК 678.067:621.891

**Антифрикционные теплостойкие композиты на основе полициануратов.** Саргсян А. С., Лишевич И. В., Блышко И. В. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 181–184.

Приведен обзор серии новых теплостойких полимерных композиционных материалов (ПКМ) антифрикционного назначения на основе полициануратных связующих. В качестве связующих использованы мономеры фирмы Lonza, марок LeCy (этилиден-бис-(4-фенилцианат)) и MethylCy (метилден-бис-(2,6-диметилфенил-4-цианат)). Представлены результаты триботехнических и физико-механических испытаний полимерных композиционных материалов.

*Ключевые слова:* циановые эфиры, композиционные материалы, полицианураты, антифрикционные материалы, теплостойкие материалы.

УДК 678.067:678.028:543.42

**Изучение процесса отверждения бис-циановых эфиров методами ДСК и ИК-спектроскопии.** Цегельская А. Ю., Самков В. С., Семенова Г. К., Красовский В. Г., Кечекьян А. С., Кузнецов А. А. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 185–190.

Методами ДСК и ИК-спектроскопии исследована кинетика отверждения бис-циановых эфиров: этилиден-бис-(4-фенилцианата) (LeCy), и метилен бис-(2,6-диметилфенилцианата) (METHYLCy, Lonza) при 120–250°C. Скорость отверждения зависит от подготовки образца (например, вакуумирования), толщины слоя и введенных наполнителей. Процесс ускоряется в присутствии углеткани. Образцы отвержденного LeCy после постотверждения при 300°C имеют температуру размягчения  $T_m = 270^\circ\text{C}$ . Из предварительно приготовленных препрегов методом прессования при 120°C с постотверждением при 250°C получены образцы ПКМ (20 слоев); определены некоторые прочностные характеристики.

*Ключевые слова:* циановые эфиры, отверждение, кинетика, композиционные материалы, полицианураты, дифференциально-сканирующая калориметрия, ИК-спектроскопия.

УДК 678.743.41:621.039.531:621.891

**Новый класс износостойких материалов, полученных радиационной модификацией политетрафторэтилена в расплаве.** Хатипов С. А., Серов С. А., Садовская Н. В. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 191–202.

Исследовали механические и трибологические свойства новых материалов, полученных радиационной модификацией политетрафторэтилена (ПТФЭ) в расплаве. Интенсивность изнашивания ПТФЭ при дозах модификации выше 200 кГр снижается более чем на 4 порядка величины (до  $10^{-8}$  мм<sup>3</sup>/Н м). На основе электронно-микроскопического исследования продуктов изнашивания и пленки переноса на контртеле сделан вывод о перемене механизма изнашивания от деляминационного (пластинчатого) у исходного ПТФЭ к фибриллярному для облученного полимера. Опыт применения новых материалов в трибосопряжениях с металлами указывает на значительное повышение рабочего ресурса соответствующего узла.

*Ключевые слова:* политетрафторэтилен, радиационная модификация, трибологические свойства, продукты износа, пленка переноса, механизм изнашивания.

УДК 621.315.61:678.7:621.891

**Разработка и исследование трибологических характеристик антифрикционных диэлектриков.** Сарсян А. С., Лишевич И. В., Блышко И. В., Савелов А. С. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 203–209.

Исследованы электроизоляционные материалы с антифрикционными покрытиями, предназначенные для использования в конструкциях турбогенераторов, допускающих перемещение обмоток и изоляции относительно друг друга. В качестве материалов покрытий использованы фторопласт Ф-4 и полифениленсульфид, нанесенные на стеклоткань Т-11. Исследованы их триботехнические характеристики в диапазоне температур от 20 до 150°C при трении по контртелам из электротехнической меди. Приведены зависимости коэффициента трения и интенсивности изнашивания данных материалов от температуры. Исследован коэффициент трения страгивания. Показана перспективность использования исследованных материалов в конструкции турбогенераторов.

*Ключевые слова:* полифениленсульфид, антифрикционный материал, электроизоляционный материал, фторопласт, электротехнические материалы, полимерные композиционные материалы, теплостойкие материалы.

УДК 678.067:621.891

**Композит суперфлувис и его применение в узлах трения.** Шелестова В. А., Гракович П. Н., Данченко С. Г. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 210–216.

Определены особенности и проблемы получения фторопластовых композитов и их использования в узлах трения. Представлен метод обработки в плазме наполнителя для политетрафторэтилена (ПТФЭ), обеспечивающий улучшение его смачиваемости полимерной матрицей и, как следствие, улучшение структуры и комплекса свойств композита. Проведено

сравнение физико-механических, триботехнических свойств материалов на основе обработанных и исходных углеродных волокон. Рассмотрены особенности свойств композитов группы Флувис и их влияние на эффективность работы при различных условиях эксплуатации. Приведены примеры применения композита Суперфлувис и проанализированы задачи по повышению эффективности его использования.

*Ключевые слова:* фторопласт-4, политетрафторэтилен (ПТФЭ), плазма, композит, флувис, суперфлувис, модуль упругости, предел текучести, коэффициент термического линейного расширения (КТЛР), узел трения, компрессор.

УДК 678.743.41:621.891

**Приложение эмпирического закона изнашивания к вопросам прогнозирования износа композитов на основе политетрафторэтилена.** Седакова Е. Б., Козырев Ю. П. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 217–222.

Рассмотрены различные аспекты применения эмпирического закона изнашивания, как для оценки износостойкости композиционных материалов по результатам определения величин интенсивностей линейного изнашивания отдельных составляющих, так и для оценки триботехнической эффективности наполнения на основе расчета относительной интенсивности линейного изнашивания материала матрицы по отношению к композиту. Получено выражение, позволяющее проводить сравнительный анализ интенсивности линейного изнашивания вновь создаваемых композитов с ранее разработанными композициями.

*Ключевые слова:* композит, полимер, наполнитель, интенсивность линейного изнашивания, триботехнические испытания.

УДК 678.7:539.55:621.891

**Влияние гибкости полимерной цепи на трибологические свойства полиарилатов ДВ и ФВ.** Сорокин А. Е., Краснов А. П., Зюзина Г. Ф., Баженова В. Б., Клабукова Л. Ф., Щеглов П. А. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 223–230.

Было проведено исследование фрикционных свойств двух близких по химическому строению полимеров, имеющих различную гибкость цепи макромолекул, и влияния гибкости и совместимости этих полимеров на формирование свойств прессованной смеси на их основе. Показано, что полная теоретическая совместимость полиарилатов ДВ и ФВ в полимерной смеси приводит к формированию новой структуры, вероятно сополимера, на поверхности образцов, в которой сочетаются свойства двух полиарилатов, а трибологические показатели полимерного материала повышаются. Проведенная работа предоставляет новые возможности для создания полимерных смесей с регулируемыми антифрикционными свойствами.

*Ключевые слова:* полиарилат, поверхность, сополимер полиарилатов, гибкость полимерной цепи.

УДК 678.067-419.8:621.892

**Дисперсные наполнители в трибологических полимерных армированных волокном материалах. Поисковое исследование.** Юдин А. С., Буяев Д. И., Краснов А. П., Сачек Б. Я., Афони-чева О. В., Баженова В. Б. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 231–239.

Исследовано влияние дисперсных наполнителей на трение фенолоформальдегидного композита, армированного термостойким полиоксадиазольным волокном. Выявлены причины, влияющие на различный характер трения угле- и органопластиков. Исследованы наполнители трех типов: наполнители, формирующие опорную поверхность и участвующие в трении как армирующий элемент; изменяющие физико-механические характеристики связующего; модификаторы поверхностных свойств (твердые смазки).

*Ключевые слова:* волокнистые полимерные композиты, дисперсные наполнители, самосмазываемость, полиоксадиазольное волокно.

УДК 678.067:539.4:621.891

**Использование композитных материалов в узлах трения нефтяного оборудования – шаровой запорной арматуры и в кабелях-толкателях.** Чулкин С. Г., Ашейчик А. А., Селин С. Н. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 240–244.

Статья посвящена применению основных типов новых композитных материалов, обладающих высокой конструкционной прочностью, износо- и ударостойкостью, технологичностью, размерной стабильностью на уровне металлических сплавов, но в отличие от металлов способных работать с водяной смазкой. Рассмотрены основные области использования данных материалов, как в России, так и за рубежом. Приведены результаты исследования свойств материалов, применяемых для изготовления подшипников скольжения в судостроении, гидротурбостроении и насосостроении.

*Ключевые слова:* композитный материал, промышленность, транспорт.

УДК 678.7:621.822:621.891:620.178

**Исследование физико-механических свойств модифицированных композитных материалов на основе фенилона и полиэфирэфиркетона, предназначенных для изготовления подшипников скольжения.** Чулкин С. Г., Жуков В. А., Селин С. Н. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 245–250.

Исследованы физико-механические свойства четырех модифицированных композитных материалов, предназначенных для изготовления подшипников скольжения. Описаны методики подготовки образцов и проведения испытаний материалов при статическом изгибе, сжатии, растяжении и на ударный изгиб. Приведены модели испытательного оборудования. Установлено влияние добавок к основе материалов на их прочность. На основании анализа результатов сравнительных испытаний авторами выявлено перспективное направление в создании новых материалов.

*Ключевые слова:* физико-механические свойства, композитный материал, подшипник скольжения.

УДК 678.067-419.8:621.891:539.421

**Исследование образования микротрещин в волокнистом композите при ударе и трении.** Веттерген В. И., Башкарев А. Я., Васильев К. Д., Ляшков А. И., Мамалимов Р. И., Савицкий А. В., Щербаков И. П. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 251–257.

Изучена динамика образования микротрещин с разрешением по времени – 10 нс методом механолюминесценции (МЛ). Образцы изготовлены из полифениленсульфида (ПФС), ПФС, модифицированного фуллереном, и композита ПФС, армированного угольными волокнами. МЛ возбуждали ударом по поверхности образцов и трением о стальной вал. Анализ спектров показал, что МЛ возникает при релаксации электронного возбуждения свободных радикалов, которые образуются при разрыве химических связей в угольных волокнах и молекулах ПФС. МЛ имеет вид вспышек, каждая из которых соответствует рождению микротрещины, а ее интенсивность – площади микротрещины.

*Ключевые слова:* антифрикционные полимерные композиты, динамика трещин при изнашивании.

УДК 621.891:620.179.17

**Исследование склонности металлополимерных фрикционных пар к виброакустической активности методом лазерной доплеровской виброметрии.** Мышкин Н. К., Сергиенко В. П., Бухаров С. Н. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 258–264.

Анализируются современные методы исследования виброакустических явлений на металлополимерном фрикционном контакте. Предложены методики определения уровней шума и вибрации трибосопряжений, обусловленных трением. Изучено влияние физико-механических и триботехнических характеристик фрикционных материалов на уровень вибрации и шума в узлах трения. Результаты испытаний реальных узлов трения на натуральных динамометрах подтвердили адекватность используемых методик, а также возможность эффективной борьбы с фрикционным шумом и вибрацией путем выбора оптимального состава и структуры фрикционного материала в паре трения.

*Ключевые слова:* трение, фрикционные автоколебания, шум, вибрация, фрикционные материалы, методы измерений.

УДК 678.7:621.891:543.42

**Масс-спектрометрические исследования трения полимеров.** Поздняков А. О., Гинзбург Б. М., Лишевич И. В., Попов Е. О., Поздняков О. Ф. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 265–274.

Рассмотрены относительные вклады термо- и механодеструкции в процесс трения полимерных материалов. Сопоставлены масс-спектры летучих продуктов термо- и трибодеструкции полиметилметакрилата, полистирола, политетрафторэтилена, полиоксиметилена, полиэфирэфиркетона, полифениленсульфида. Обсуждена кинетика их образования. Разработанная методика масс-спектрометрических исследований трения полимеров позволяет проводить интерпретацию механизмов трения на молекулярном уровне с учетом трибологических параметров конкретного трибосопряжения.

*Ключевые слова:* масс-спектрометрия, термодеструкция, механодеструкция, износостойкость, летучие продукты, мономер, полимер.

УДК 678.067:621.891

**Влияние природы модификатора на механизм изнашивания антифрикционного углепластика в режиме торцевого трения.** Соснов Е. А., Анисимов А. В., Бахарева В. Е., Барахтин Б. К., Малыгин А. А., Лишевич И. В., Саргсян А. С. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 275–281.

С использованием атомно-силовой микроскопии изучено влияние природы высокодисперсного модификатора (баббит Б-83,  $\text{MoS}_2$ ) на триботехнические характеристики, морфологию поверхности трибоконтакта и механизм изнашивания эпоксидных углепластиков. Показано, что введение модификатора снижает интенсивность изнашивания углепластика в 2–10 раз, а механизм изнашивания углепластика определяется природой модификатора.

*Ключевые слова:* эпоксидный углепластик, дисперсный модификатор, микроструктура поверхности, атомно-силовая микроскопия, механизм изнашивания.

УДК 678.686

**Композиционные материалы на основе эпоксидного связующего, модифицированного высокодисперсной алмазной шихтой.** Тикунова Е. П., Яблокова М. Ю., Куркин Т. С., Озерин А. Н. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 282–289.

Получены наноконпозиционные материалы на основе эпоксидного связующего и ультрадисперсной алмазной шихты. Проведены механические испытания немодифицированных и наномодифицированных отвержденных эпоксидных матриц. По сравнению с немодифицированной матрицей композиционный материал, содержащий 0,05 мас. % алмазной шихты, показал увеличение значений разрывной прочности на 127%, предела прочности при изгибе – на 24%, и параметра  $G_{1c}$ , характеризующего вязкость разрушения, – на 67%. Сдвиговая прочность на границе раздела между матрицей с содержанием алмазной шихты 0,05 мас. % и углеродным моноволокном оказалась на 80% выше, чем на границе раздела немодифицированная матрица/углеродное моноволокно. Методом ДСК исследована зависимость температуры стеклования отвержденных эпоксидных матриц от содержания алмазной шихты.

*Ключевые слова:* эпоксидная смола, отверждение, алмазная шихта, наномодифицированное эпоксидное связующее, наноконпозиционные материалы, физико-механические характеристики, адгезионная прочность.

УДК 678.675:621.891

**Трибологические свойства полимерных наноконпозитов, модифицированных фуллероидными материалами.** Пихуров Д. В., Зуев В. В. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 290–295.

Исследовано влияние фуллероидных (фуллерен  $\text{C}_{60}$  и фуллероидная сажа, используемая для получения фуллеренов) и углеродных волокон на трибологические и механические свойства

полимерных нанокомпозитов на основе полиамида-6 при различном способе создания композиций (полимеризация *in situ* и смешение в экструдере). Показано, что полимеризация *in situ* как метод создания полимерных композиций обеспечивает большее повышение механических характеристик и снижение коэффициента трения по сравнению со смешением в экструдере. Использование наночастиц как наполнителей оказывается эффективным методом снижения коэффициента трения.

*Ключевые слова:* фуллерен C<sub>60</sub>, полиамид 6, нанокомпозиты, трибологические свойства.

УДК 678.675:621.891

**Композиционные материалы на основе полимеров и комплексных соединений металлов.** Данюшина Г. А., Могильницкий В. М., Чебанов Р. А., Данюшин Л. М., Бережной Ю. М. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 296–299.

Рассмотрено влияние содержания смеси (меркупраль и дитизон) в качестве наполнителя полиамида-12 на физико-механические характеристики изделий, полученных из разработанных композиционных материалов. Разработанные материалы имеют коэффициент трения 0,08–0,16 при скорости скольжения от 0,07 до 1,0 м/с и нагрузках 10,0 МПа.

*Ключевые слова:* полиамид, меркупраль, дитизон, коэффициент трения, структура, твердость.

УДК 678.675:621.891

**Триботехнические свойства композиционных покрытий на основе алифатических полиамидов и частиц наноструктурированного углерода.** Шаповалов В. А., Валенков А. М. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 300–302.

Получены композиционные покрытия на основе полиамида 6 и частиц наноструктурированного углерода. Изучены триботехнические и структурно-морфологические свойства покрытий. Установлен оптимальный состав композиции и технологические параметры формирования покрытий.

*Ключевые слова:* частицы наноструктурированного углерода, полиамид 6, композиционные покрытия, триботехнические свойства, поверхность, концентрация наполнителя.

УДК 661.66:621.891:620.179

**Методы и средства оперативного неразрушающего контроля модификации материалов и трибосопряжений фуллероидными углеродными наночастицами.** Летенко Д. Г. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 303–309.

Представлены примеры использования фуллероидных углеродных наночастиц (ФУН) при разработке и производстве новых триботехнических материалов, а также методы создания и использования приборов и систем неразрушающего контроля производственных процессов, при использовании ФУН. Приведены экспериментальные данные по аномальному росту электропроводности электролита в присутствии дисперсий фуллероидного наноматериала. С применением электронной микроскопии, рентгеноструктурного и дисперсионного анализа осуществлено описание этих наноструктур. Предложен механизм переноса заряда, объясняющий появление дополнительной проводимости возникновением (при определенных концентрациях дисперсий) перколяционной фрактальной сетки из наночастиц в окружении сольватных оболочек.

*Ключевые слова:* фуллероидные наночастицы, наномодификация, суспензии, проводимость, фуллеренол.

УДК 621.892:621.822:539.538

**Трибологические исследования механизма надмолекулярной самоорганизации при введении в воду неионогенных поверхностно-активных веществ и их композиций с ионогенными и нанотрубками в водосмазываемых узлах трения.** Шилов М. А. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 310–315.

Представлены результаты исследования неионогенных присадок поверхностно-активных веществ (ПАВ) и их сочетания с ионогенными. Выявлено положительное влияние комбинации ПАВ<sub>4</sub> + ПАВ<sub>5</sub> + нанотрубки, самоорганизующейся при их 1% массовом введении в воду, на величину коэффициента трения и линейного износа водосмазываемых подшипниковых пар.

Трибологические испытания подтверждены физико-химическими исследованиями надмолекулярного состояния ПАВ. Показано, что водные растворы ПАВ образуют надмолекулярные ансамбли в смазочном слое, за счет которых повышается эффективность смазывания контактирующих поверхностей. Отмечается качественная корреляция между трибологическими характеристиками смазочного слоя и его физико-химическими особенностями.

*Ключевые слова:* трибология, мезоморфизм, износ, трение, жидкий кристалл, мезоген, адсорбция, деструкция, сорбция, самоорганизация, надмолекулярная упаковка.

УДК 678.067:661.66:621.892:620.178.16

**Влияние фуллероидных дисперсий на абразивную износостойкость углепластиков в масляных средах.** Иванов А. С., Летенко Д. Г., Никитин В. А., Петров В. М., Федосов А. В., Юрьев В. Г. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 316–321.

Приведены экспериментальные данные по исследованию абразивного износа углепластиков марок УГЭТ и ФУТ в масляных средах. Показана зависимость износа от концентрации фуллероидных наночастиц в смазывающей среде. Предложена модель, описывающая действие наномодификатора в трибоконтакте. Представлены сравнительные результаты гравитационного анализа и линейного износа образцов, испытанных в равных условиях с разными вариантами СОТС. Полученные результаты свидетельствуют, что минимальный линейный износ и потери массы соответствуют наноструктурированному составу. Показано, что усиление антифрикционного эффекта происходит за счет суммарного действия объемной фрактальной сетки из смешанного нанокремнистого материала фуллероидного типа (HFNCM) – способной сдерживать десорбцию полимера и диссипировать тепловую энергию из локальной зоны трибоконтакта. Формирование такой сетки возможно при определенных условиях и концентрациях HFNCM (в нашем случае близкой  $10^{-3}$  мас. %).

*Ключевые слова:* фуллероидные наноструктуры, композиционный материал, абразивный износ; шлифование; мощность, наномодификация, углепластик, фуллеренол.

УДК 678.067:621.892:620.178.16

**Влияние водных и масляных растворов фуллеренов на абразивную износостойкость углепластиков.** Летенко Д. Г., Юрьев В. Г., Никитин В. А., Петров В. М., Федосов А. В., Иванов А. С. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 322–326.

Приведены экспериментальные данные по исследованию абразивного износа углепластиков марок УГЭТ и ФУТ в водных и масляных средах. Показана зависимость износа от концентрации фуллерена или фуллеренола в смазывающей среде. Разработана и реализована оригинальная методика исследования абразивного износа. В экспериментах измерялись: размер сошлифованной части материала и эффективная мощность шлифования. Установлено, что модификация во всех случаях способствует снижению износа, однако износ образцов типа УГЭТ существенно отличается от износа образцов типа ФУТ, что связано с различием полимерных матриц, использованных в одном и другом типе углепластика. Показано, что фуллерены и их водорастворимые производные – фуллеренолы способны оказывать активное действие на поверхность трения углепластиков, снижая их износ и коэффициент трения в зоне трибоконтакта, причем максимальный эффект достигается в определенном концентрационном интервале.

*Ключевые слова:* фуллероидные наноструктуры, композиционный материал, абразивный износ; шлифование; мощность, наномодификация, углепластик, фуллеренол.

УДК 678.7:621.892

**Обоснование процесса получения композиционных самосмазывающихся материалов группы «Маслянит» методом химического наноконструирования.** Дерлугян П. Д., Логинов В. Т. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 327–335.

Сформулированы основополагающие принципы и концепции процесса формирования самосмазывающихся композиционных полимерных материалов, основанных на процессах высокой пластификации полимеров и введении в систему полимер – пластификатор многофункциональных твердосмазочных добавок и наполнителей с целью придания композиту требуемых технических характеристик. Созданные методом химического конструирования антифрикционные самосмазывающиеся материалы предназначены для эксплуатации в качестве

подшипников скольжения, скользящих направляющих и уплотнений в узлах трения машин и механизмов, работающих в различных средах и климатических условиях.

*Ключевые слова:* самосмазывающийся материал, пластификация, твердые слоистые смазки, наполнители, трение, подшипники скольжения.

УДК 678.7-415:621.891

**Композиционный полимерный тонколистовой материал для работы в трибосопряжениях.** Дерлугян Ф. П., Иванова И. В. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 336–341.

Предлагаемый метод создания композиционного полимерного тонколистового материала (КПТМ), основанный на принудительном внедрении композита в поры ткани, позволил создать антифрикционный самосмазывающийся материал с улучшенными теплофизическими свойствами по сравнению с исходным полимером. Применение метода химического наноконструирования композиционных материалов, технологической схемы очередности и условий совмещения компонентов, а также введение наполнителей, добавок и пластификаторов позволило снизить коэффициент трения и обеспечить высокую износостойкость в широком диапазоне скоростей и нагрузок. Разработанный КПТМ можно рекомендовать для эксплуатации в узлах трения, работающих в экстремальных условиях при скоростях скольжения до 5,0 м/с и нагрузках до 100 МПа. Допустимое значение  $PV$  – 3–5 МПа·м/с. Значение коэффициента трения при этом находится в пределах 0,06–0,12.

*Ключевые слова:* коэффициент трения, полимерный материал, трибосопряжение.

УДК 678:621.822:620.178

**Неметаллические роликовые подшипники с водяной смазкой. Влияние частоты воздействия нагрузки на величину просадки резинового и капролонового роликов.** Григорьев А. К., Ермолаев В. А. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 342–351.

Дано описание путей создания и опыта использования неметаллических роликовых подшипников с водяной смазкой в дейдвудных устройствах судов. Стендовые статические испытания роликового подшипника с двухслойными резиновыми роликами показали, что степень деформации резинового и капролонового роликов зависит от частоты нагружения.

*Ключевые слова:* подшипник, ролик, вал, резина, капролон, нагрузка, деформация.

УДК 678.7:621.78:621.891

**Исследование влияния термической обработки на структуру и свойства материалов на основе фенилона.** Лободенко А. В., Сытар В. И. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 352–356.

Статья посвящена исследованию влияния термической обработки на физико-механические и триботехнические свойства материалов на основе фенилона. В качестве объекта исследования выбрана полимерная композиция на основе фенилона, в состав которой входит мелкодисперсный графит и низкомолекулярный кремнийорганический каучук (СКТН). Термическую обработку образцов проводили в среде полидиметилсилоксана (ПМС), которая заключается в нагревании полимера до температуры, близкой к температуре размягчения полимера, с последующим медленным охлаждением.

В результате исследований установили, что термообработка фенилона и композитов на его основе в ПМС способствует улучшению триботехнических свойств материалов на основе фенилона. Доказано, что термообработка графитонаполненного фенилона, модифицированного СКТН, более эффективна, чем немодифицированного композита.

*Ключевые слова:* фенилон, термическая обработка, триботехнические свойства.

УДК 621.891:620.178.16

**Испытательный комплекс для трибоисследований опорно-ходовых частей затворов и гидросооружений.** Дерлугян П. Д., Могильницкий В. М., Чебанов Р. А. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 357–362.

Процесс дооснащения универсальной стендовой установки трения УСУТ-2 современным научным оборудованием с обеспечением прикладных работ методологией триботехнических исследований обеспечил расширение функциональных возможностей стенда УСУТ-2. Результаты испытаний перспективного композиционного антифрикционного материала позволяют рекомендовать его для опорно-ходовых узлов трения механизмов гидросооружений.

*Ключевые слова:* стендовая установка трения, композиционный антифрикционный материал, узлы трения механизмов.

УДК [678.742.2+678.675]:539.25:539.4

**Влияние добавок эмульгатора и совместителя на морфологию и механические свойства смеси полиэтилена с полиамидом-6.** Подшивалов А. В., Зуев В. В., Бронников С. В. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 363–369.

Изучена морфология смеси полиэтилена низкой плотности (ПЭНП) и полиамида-6 (ПА-6) в соотношении 75%/25% с добавками эмульгатора – органически модифицированной глины (20А) и совместителя – блок-сополимера стирола, этиленбутена и стирола с привитым малеиновым ангидридом (SEBS-g-MA). Показано, что в процессе смешения полимеров частицы фазы ПА-6 диспергируются, а затем коалесцируют в фазе ПЭНП. Установлено, что введение эмульгатора в количестве не менее 5‰ улучшает диспергирование частиц ПА-6 и подавляет процесс их коалесценции, что способствует улучшению механических свойств смеси на растяжение. В то же время совместное использование эмульгатора и совместителя также улучшает диспергирование частиц ПА-6, но не препятствует их коалесценции, что способствует улучшению ударных механических свойств смеси.

*Ключевые слова:* морфология, смесь полимеров, совместитель, эмульгатор, термодинамика необратимых процессов.

УДК 666.3/.7:621.891

**Кинетика изнашивания керамики.** Кузнецова О. С., Данилович Д. П., Орданьян С. С., Фадин Ю. А. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 370–375.

Описан новый метод измерения износа без остановки процесса трения, основанный на явлении акустической эмиссии. Приведены зависимости изнашивания для пары трения карбид кремния – карбид кремния без смазочного материала и в воде. Установлено, что изнашивание керамики происходит путем последовательного формирования и разрушения поверхностных слоев. Механизмы изнашивания на стадии приработки и катастрофического изнашивания имеют одинаковую физическую природу и обусловлены процессом объединения подповерхностных трещин.

*Ключевые слова:* трение, износ, акустическая эмиссия, карбид кремния, приработка, стадии изнашивания, трение без смазочного материала, трение в воде.

УДК 666.193.2:621.891

**Искусственные базальты – новые антифрикционные и конструкционные материалы.** Боровко В. Н. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 376–380.

На основе достижений современного материаловедения показана возможность получения новых перспективных конструкционных материалов – искусственных базальтов. В отличие от базальтопластов искусственные базальты не требуют применения связующих в виде полимерных смол. Тонкие пленки получают за счет направленной кристаллизации и ориентационной укладки аморфной фазы. Многослойные изделия из искусственных базальтов будут превосходить многие дорогостоящие металлические суперсплавы и обладать высоким триботехническими качествами.

*Ключевые слова:* базальтопласты, искусственные базальты, кристаллизация в тонких пленках, формование многослойных изделий.

УДК 621.822:621.891:620.193.2

**Исследования коррозионной стойкости и износостойкости опытных образцов подшипниковых материалов в среде воды высоких параметров.** Анохин А. И., Африкантов Г.

Г., Бугреев А. В., Коробов И. Б., Курицын В. С., Луканов А. В., Шишкин В. А. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 381–387.

Изложены наиболее важные требования, предъявляемые к материалам узлов трибосопряжений, для работы в среде воды. Представлена программа исследования коррозионной стойкости и износостойкости опытных образцов кандидатных подшипниковых материалов в среде воды, проводимых на испытательной базе ОАО «ОКБМ Африкантов».

*Ключевые слова:* износостойкость, кинетический коэффициент трения, интенсивность изнашивания, материал пары трения, температура, осевая нагрузка, скорость скольжения, узел трения.

УДК 621.891:621.822:620.178.16

**Исследование износостойкости материалов пар трения подшипников скольжения и определение их триботехнических характеристик при сухом трении в среде гелия.** Боровков М. Н., Бугреев А. В., Иляхинский И. А., Курицын В. С., Шишкин В. А. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 388–393.

Проведены исследования триботехнических характеристик материалов пар трения резервных подшипников турбомшины модульного гелиевого реактора с газовой турбиной в условиях сухого трения в среде гелия. Испытания материалов и покрытий были осуществлены на трибометре TR20 M 40. Выбраны лучшие сочетания пар трения, которые рекомендованы для натуральных испытаний в макетах резервных подшипников при штатных удельных нагрузках и скоростях скольжения.

*Ключевые слова:* износостойкость, кинетический коэффициент трения, интенсивность изнашивания, гелий, материал пары трения, температура, осевая нагрузка, скорость скольжения, узел трения штифт – диск.

УДК 621.892:620.178.16

**Исследование смазочных композиций на основе пластичных смазочных материалов.** Фомичев Д. С., Берёзина Е. В., Годлевский В. А. – Вопросы материаловедения, 2012, № 4(72), с. 394–401.

Исследованы пластичные смазочные материалы (ПСМ) с мелкодисперсными твердыми трибоактивными присадками органической природы – производные гетероциклических соединений. Наличие упорядоченных надмолекулярных структур смазочной среды обуславливает повышенную склонность к самоорганизации граничного смазочного слоя в объеме и на поверхности. Исследовали физико-химические свойства смазочных композиций различными методами. Методом поляризационной микроскопии оценивали фазовое состояние и температуры фазовых переходов мезоморфных структур пластичных смазочных материалов. Влияние температуры образцов на их реологические характеристики изучали с помощью основного графического метода анализа неньютоновского потока – графика вязкости в зависимости от скорости сдвига. Трибологические свойства смазочных композиций изучали стандартными методиками на машине трения СМЦ-2. В качестве определения взаимосвязи между полученными результатами на машине трения и при реологических испытаниях выявляли корреляцию между параметрами данных процессов.

*Ключевые слова:* фталоцианины, мезогенные соединения, трибологические исследования, реология.