

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
"ВОПРОСЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ"

№ 1(57), 2009

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
МОДИФИЦИРОВАННЫЕ АНТИФРИКЦИОННЫЕ УГЛЕПЛАСТИКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ	
Анисимов А. В., Бахарева В. Е., Рыбин В. В. Модификация антифрикционных полимерных композиционных материалов на различных масштабных уровнях	9
Бахарева В. Е., Анисимов А. В., Савелов А. С., Пеклер К. В., Ильин С. Я., Моркин О. В. Создание макромоодифицированных фторопластом углепластиков для подшипников скольжения рабочих колес поворотно-лопастных гидротурбин.	17
Добычин М. Н., Курбаткин И. Н., Морозов А. В., Никулин А. В., Сачек Б. Я., Савелов А. С., Анисимов А. В. Исследование углепластиков, макромоодифицированных фторопластом.	26
Лысенков П. М. Технологическое формирование поверхности трения как фактор повышения эффективности трибосопряжений.	33
Никитин В. А., Летенко Д. Г., Бахарева В. Е., Анисимов А. В., Савелов А. С., Карлова Е. П. Модификация антифрикционных углепластиков высокодисперсными металлами и металлоуглеродными соединениями.	38
Летенко Д. Г., Никитин В. А., Костерева Т. А., Савелов А. С. Анализ факторов, влияющих на седиментационную устойчивость суспензий на основе полимеров и металлических порошков	46
Кузнецов А. А., Семенова Г. К., Бахарева В. Е., Савелов А. С., Лишевич И. В., Карлова Е. П. Модификация антифрикционных эпоксидных углепластиков дисульфидом молибдена.	52
Неганов В. А., Макаров И. А., Блышко И. В., Савелов А. С., Лишевич И. В., Саргсян А. С. Углеродные наномодификаторы.	57
Крыжановский В. К., Никитина И. В., Ясногородская О. Г., Бахарева В. Е., Савелов А. С., Блышко И. В. Изучение влияния высокодисперсных и наноразмерных неорганических добавок на структурно-физические характеристики эпоксидных матриц и свойства трибопластиков.	66
Велижанин В. С., Малышев И. В., Лобынцева И. В. Применение углепластика ФУТ в насосах типа ЦНС, предназначенных для систем поддержания пластового давления и нефтесбора.	77
Анисимов А. В., Вихарева Т. В., Калинин Г. Ю., Мотовилина Г. Д., Савелов А. С., Влияние структуры и механических свойств контртел из аустенитных сталей на триботехнические характеристики углепластика ФУТ.	81
Сытов В. А., Верстаков А. Е., Воронин А. Е., Чурикова А. А., Анисимов А. В. Технология клеевой сборки подшипников скольжения из антифрикционных углепластиков.	88
Иванов В. Г., Коркош С. В., Анисимов А. В. Триботехнические испытания антифрикционного углепластика ФУТ применительно к упорным подшипникам.	92
Николаев Г. И., Бахарева В. Е., Лобынцева И. В., Анисимов А. В. Подшипники скольжения из углепластиков.	97
ТЕПЛОСТОЙКИЕ АНТИФРИКЦИОННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ	
Лишевич И. В., Бахарева В. Е., Саргсян А. С., Скобелева Е. Л. Теплостойкий антифрикционный углепластик на основе полифениленсульфида	111

Кузнецов А. А., Семенова Г. К., Свидченко Е. А. Конструкционные термопласты как основа для самосмазывающихся полимерных композиционных материалов антифрикционного назначения.	116
Веттегрень В. И., Фадин Ю. А., Савицкий А. В., Ляшков А. И. Влияние полимерной матрицы на триботехнические характеристики органопластов.	127
Юдин В. Е., Светличный В. М., Кудрявцев В. В., Бахарева В. Е., Саргсян А. С., Лишевич И. В., Попова Е. Н. Сравнительные исследования вязкоупругих и трибологических характеристик углепластиков на основе теплостойких полимерных связующих.	132
МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ	
Веттегрень В. И., Савицкий А. В., Щербаков И. П., Мамалимов Р. И. Триболюминесценция полимеров и композитов.	141
Поздняков О. Ф., Баскин Б. Л., Лишевич И. В., Седлецкий Р. В., Гинзбург Б. М., Поздняков А. О. Масс-спектрометрическое исследование механической и термической стабильности полимерных композитов.	146
Соснов Е. А., Анисимов А. В., Бахарева В. Е., Трифонов С. А., Малыгин А. А., Блышко И. В., Кирик Е. В., Савелов А. С. Исследование поверхности трения антифрикционных композитов методами растровой электронной и атомно-силовой микроскопии.	154
АНТИФРИКЦИОННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИИ И МАТЕРИАЛЫ НА ИХ ОСНОВЕ	
Краснов А. П., Мить В. А., Афоничева О. В., Саид-Галиев Э. Е., Николаев А. Ю., Васильков А. Ю., Подшибихин В. Л., Наумкин А. Ю., Волков И. О. Трение нанокомпозитов серебросодержащего сверхвысокомолекулярного полиэтилена.	161
Сафонова А. М., Шпилевская Л. Е., Сметанина О. В. Металлоуглеродные волокна и полимерные композиции на их основе.	170
Лысенков М. П. Технологичность неметаллических подшипников коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания.	181
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТРЕНИЯ И ИЗНАШИВАНИЯ	
Добычин М. Н., Морозов А. В., Никулин А. В., Сачек Б. Я., Анисимов А. В. Планирование эксперимента при исследовании триботехнических характеристик фенольных углепластиков.	186
Васильев Ю. Н., Фуголь В. А. Математическая модель трения и изнашивания поликристаллических твердых тел.	194
Козырев Ю. П., Седакова Е. Б. Определение характеристик износостойкости полимерных материалов на примере полиамида ПА-6 и композита Ф4К15М5.	210
Рефераты публикуемых статей.	215
Научно-технический журнал «Вопросы материаловедения». Оформление статей.	
Рекомендации.	233

РЕФЕРАТЫ ПУБЛИКУЕМЫХ СТАТЕЙ

УДК 678.067:539.538

Модификация антифрикционных полимерных композиционных материалов на различных масштабных уровнях. Анисимов А. В., Бахарева В. Е., Рыбин В. В. – Вопросы материаловедения, 2009, № 1(57), с. 9–16.

Предложены способы модификации антифрикционных углепластиков на различных масштабных (иерархических) уровнях – молекулярном, нано-, микро- и макроуровнях. Выбраны модификаторы, оптимальные для каждого масштабного уровня. Установлено, что процесс изнашивания композитов является наномасштабным. Все процессы протекают в поверхностных слоях толщиной от 10 до 500 нм, продукты износа углепластика представляют собой наночастицы размером от 50 до 100 нм.

Ключевые слова: модификация, масштабный уровень, иерархический уровень, наномодификация, микромодификация, макромодификация, фторопласт, дисульфид молибдена, баббит, углерод.

УДК 678.067:539.538:621.822.5

Создание макромоодифицированных фторопластом углепластиков для подшипников скольжения рабочих колес поворотно-лопастных гидротурбин. Бахарева В. Е., Анисимов А. В., Савелов А. С., Пеклер К. В., Ильин С. Я., Моркин О. В. – Вопросы материаловедения, 2009, № 1(57), с. 17–25.

Проблема ресурса подшипников рабочих колес поворотно-лопастных гидротурбин диаметром до 1500 мм является одной из самых актуальных и серьезных проблем гидроэнергетики. Эти подшипники должны работать с водяной смазкой при контактных давлениях 50–80 МПа и скорости скольжения 0,001–0,005 м/с в течение 10–15 лет и сохранять коэффициент трения не более 0,1. Для изготовления подшипников предлагается фенольный углепластик ФУТ, макромоодифицированный фторопластом, обеспечивающий снижение коэффициента трения в 2–3 раза, повышение износостойкости и ресурса эксплуатации подшипников. Разработана механизированная технология изготовления таких крупногабаритных низкоскоростных тяжело нагруженных подшипников. Исследованы состав и структура поверхности трения, установлено, что введение фторопластового протектора приводит к формированию на поверхности углепластика слоя наноразмерных частиц фторопласта, играющих роль смазки с низким коэффициентом трения.

Ключевые слова: подшипники лопастей рабочих колес гидротурбин, макромоодифицированный углепластик, фторопластовые протекторы, бинарные опоры, растровая электронная микроскопия, коэффициент трения скольжения.

УДК 678.067:621.891

Исследование углепластиков, макромоодифицированных фторопластом. Добычин М. Н., Курбаткин И. Н., Морозов А. В., Никулин А. В., Сачек Б. Я., Савелов А. С., Анисимов А. В. – Вопросы материаловедения, 2009, № 1(57), с. 26–32.

Приведены результаты комплексных испытаний эпоксидного углепластика, макромоодифицированного фторопластом, включающих 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 использовались оптическая, растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ. Показано, что в процессе длительной эксплуатации на сопряженных поверхностях пары трения макромоодифицированный

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

Технологическое формирование поверхности трения как фактор повышения эффективности трибосопряжений. Лысенков П. М. – Вопросы материаловедения, 2009, № 1(57), с. 33–37.

Представлены результаты аналитического исследования технологических методов повышения эффективности трибосопряжений технического назначения. Показана полезность технологии формирования бинарных поверхностей трения на неметаллических композитных материалах в микрометрическом размерном диапазоне и металлополимерных композиций на макроуровне. Перспективным научным направлением названа разработка общей теории изнашивания бинарных и более сложных поверхностей.

Ключевые слова: трибосопряжение, эффективность, технология, бинарная поверхность, изнашивание.

УДК 678.067:539.538

Модификация антифрикционных углепластиков высокодисперсными металлами и металлоуглеродными соединениями. Никитин В. А., Летенко Д. Г., Бахарева В. Е., Анисимов А. В., Савелов А. С., Карлова Е. П. – Вопросы материаловедения, 2009, № 1(57), с. 38–45.

Представлены результаты исследований триботехнических характеристик полимерных композиционных материалов на основе углепластика, модифицированных мезодисперсными металлическими порошками, а также композиционными модификаторами на основе мезодисперсных металлических порошков и углеродных фуллероидных наночастиц. Проведено исследование структуры и топологии модификаторов и поверхностей трения с использованием оптической и электронной микроскопии и рентгеновской дифрактометрии.

Ключевые слова: триботехника, полимерные композиционные материалы, мезодисперсные металлические модификаторы, углеродные фуллероидные частицы, наномодификация.

УДК 678.5:621.762

Анализ факторов, влияющих на седиментационную устойчивость суспензий на основе полимеров и металлических порошков. Летенко Д. Г., Никитин В. А., Костерева Т. А., Савелов А. С. – Вопросы материаловедения, 2009, № 1(57), с. 46–51.

Представлены результаты исследований влияния концентраций наполнителя (металлического порошка) и наномодификатора на седиментационную устойчивость суспензии на основе эпоксидной смолы; приведены результаты измерения вязкости растворов смолы – ацетон и суспензий на основе этих растворов. Приведена оценка сохранности концентратов в небольших (мл) объемах; разработаны рекомендации по увеличению стабильности жидкофазных суспензий концентратов; опробованы седиментационные методики фракционирования металлических порошков.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, триботехника, углеродные фуллероидные частицы, наномодификация.

УДК 678.5:669.28:539.538

Модификация антифрикционных эпоксидных углепластиков дисульфидом молибдена. Кузнецов А. А., Семенова Г. К., Бахарева В. Е., Савелов А. С., Лишевич И. В., Карлова Е. П. – Вопросы материаловедения, 2009, № 1(57), с. 52–56.

Изучена кристаллическая структура различных молибденитов (дисульфида молибдена MoS_2) с помощью рентгеноструктурного метода ШУРР (широкоугольного рентгеновского рассеяния). Приведены данные о свойствах молибденитов. Показано, что эффективным трибомодификатором антифрикционных углепластиков является высокодисперсный MoS_2 с ламеллярной структурой. Установлено оптимальное содержание MoS_2 в углепластике – 3%. Рекомендован к использованию в качестве модификатора молибденит двух марок – отечественный (марки ДМИ-7) и американский (марки Molicote, производство фирмы Dow Corning).

Ключевые слова: молибденит, дисульфида молибдена MoS_2 , высокодисперсный, ламеллярная кристаллическая структура, широкоугольное рентгеновское рассеяние, рентгеноструктурный метод, растровая электронная микроскопия, коэффициент трения скольжения, линейная интенсивность изнашивания.

УДК 661:66

Углеродные наномодификаторы. Неганов В. А., Макаров И. А., Блышко И. В., Савёлов А. С., Лишевич И. В., Саргсян А. С. – Вопросы материаловедения, 2009, № 1(57), с. 57–65.

Рассмотрены методы получения, структура и характеристики глобулярного нанougлерода GNC и модифицированного аминами GNC-350- NH_2 и никелем GNC-350-Ni. Установлено влияние углеродных наномодификаторов на прочностные и триботехнические характеристики антифрикционных углепластиков марок УГЭТ и ФУТ. Выявлены преимущества использования функционализированных производных глобулярного нанougлерода GNC-350- NH_2 и GNC-350-Ni. Показано, что метод получения глобулярного нанougлерода окислением метана в пламени хлора может служить основой для промышленного производства наноматериалов.

Ключевые слова: глобулярный нанougлерод GNC, окисление метана, электронная микроскопия, рентгеноструктурный анализ, наноразмерность, первичная углеродная глобула, коэффициент трения скольжения, линейная интенсивность изнашивания, модифицирование аминогруппами GNC-350- NH_2 , модифицирование никелем GNC-350-Ni.

УДК 678.5:539.538

Изучение влияния высокодисперсных и наноразмерных неорганических добавок на структурно-физические характеристики эпоксидных матриц и свойства трибопластиков. Крыжановский В. К., Никитина И. В., Ясногородская О. Г., Бахарева В. Е., Савелов А. С., Блышко И. В. – Вопросы материаловедения, 2009, № 1(57), с. 66–76.

Приведены результаты исследований наномодифицированных эпоксидных полимеров. В качестве модельного объекта использовали эпоксидно-фенольный блок(со)олигомер ЭНБС, а в качестве промышленного – полимеры на основе смолы ЭХД, отвержденной дихлордиаминодифенилметаном (ДХ) и армированные углеродными тканями. В результате проведенных исследований установлено влияние различных по составу, дисперсности и содержанию наномодификаторов на физико-химические, физико-механические и инверсионные свойства полимеров, причем подтверждено отсутствие химического взаимодействия наномодификаторов с эпоксидными полимерами. Показано, что модификация смолы ЭХД + ДХ углеродными нанонаполнителями с аминогруппами и с атомами Ni на поверхности частиц способствует формированию в густосетчатом полимере более равномерной и плотной топологической организации, что приводит к увеличению теплостойкости, прочности, твердости и упругости этих материалов, повышению их триботехнических характеристик.

Ключевые слова: трибопластики, эпоксидные матрицы, наночастицы, олигомерные матрицы, эпоксидно-фенольный блок(со)олигомер, отвердитель дихлордиаминодифенилметан, фуллерен, GNC- глобулярный нанодисперсный углерод, рентгеноструктурный углерод, инфракрасная спектроскопия, дериватография, терморелаксация, ИК-Фурье спектры.

УДК 678.067: 621.822

Применение углепластика ФУТ в насосах типа ЦНС, предназначенных для систем поддержания пластового давления и нефтесбора. Велижанин В. С., Малышев И. В., Лобынцева И. В. – Вопросы материаловедения, 2009, № 1(57), с. 77–80.

Обобщен опыт применения фенольного углепластика ФУТ в подшипниковом узле насосов типа ЦНС с различными расходно-напорными характеристиками производительностью от 25 до 240 м³/ч и диапазоном напора от 700 до 2100 м, скорость скольжения от 12,5 до 38 м/с в перекачиваемых средах: пресной, сточной, подтоварной водах, «сеномане», нефти. Насосы с подшипниками из углепластика ФУТ (более 80 единиц) предназначены для систем ППД (поддержания пластового давления) и нефтесбора. Преимущество материала ФУТ перед материалами с повышенной коррозионно-эрозионной стойкостью, твердостью и износостойкостью состоит в постепенном износе без критических разрушений основных узлов насоса, которые происходят обычно при разрушении твердосплавных подшипников, после чего восстановление насоса на месте эксплуатации невозможно.

Ключевые слова: фенольный углепластик ФУТ, насос, встроенный подшипник скольжения, системы ППД (поддержания пластового давления) и нефтесбора, выносной баббитовый подшипник скольжения.

УДК 678.067:669.15–194.56:621.891

Влияние структуры и механических свойств контртел из аустенитных сталей на триботехнические характеристики углепластика ФУТ. Анисимов А. В., Вихарева Т. В., Калинин Г. Ю., Мотовилина Г. Д., Савелов А. С. – Вопросы материаловедения, 2009, № 1(57), с. 81–87.

Приведены результаты триботехнических испытаний по экспресс-методике фенольных углепластиков ФУТ с контртелами из аустенитных сталей: традиционной – марки 08Х18Н10Т и новых высокопрочных сталей марок НС-5Т и 04Х20Н6Г11М2АФБ. Установлено, что максимально допустимые рабочие давления в трибоконтакте для пар ФУТ – НС-5Т и ФУТ – 04Х20Н6Г11М2АФБ в 1,5–1,6 раза выше, чем пары ФУТ – 08Х18Н10Т и коррелирует с пределом текучести сталей. Линейная интенсивность изнашивания для пар ФУТ – НС-5Т и ФУТ – 04Х20Н6Г11М2АФБ в 3–5 раз выше, чем пары с традиционной сталью 08Х18Н10Т. Аустенитные азотсодержащие стали марок НС-5Т и 04Х20Н6Г11М2АФБ могут быть рекомендованы в качестве контртел для узлов трения скольжения с антифрикционными углепластиковыми. Результаты исследования поверхности трения и микроструктуры приповерхностных слоев сталей показали, что после испытаний азотсодержащие стали имеют деформированный поверхностный слой, толщина которого ограничивается диаметром 2–3 зерен аустенита, что обуславливается наличием упрочняющих выделений – карбидов.

Ключевые слова: аустенитные стали, триботехнические испытания, микроструктура, приповерхностный слой, трибоконтакт, пара трения, контртело.

УДК 678.067:621.822.5

Технология клеевой сборки подшипников скольжения из антифрикционных углепластиков. Сытов В. А., Верстаков А. Е., Воронин А. Е., Чурикова А. А., Анисимов А. В. – Вопросы материаловедения, 2009, № 1(57), с. 88–91.

Разработана конструкция многослойного подшипника скольжения, в котором антифрикционные характеристики обеспечиваются углепластиком, а вибродемпфирующие – резиной. Создан и успешно эксплуатируется на Юмагузинской ГЭС комбинированный подшипник с резиновыми гидрозамками, в котором резина является амортизирующим, и антифрикционным элементом. Установлено, что технология клеевой сборки является надежным и экономичным способом соединения деталей. Надежное крепление обеспечивается при использовании эпоксикаучуковых клеев марок ЭКАН-3 и КДС-174-1 и акрилонитрильной резины марки 8470.

Ключевые слова: комбинированный подшипник, технология клеевой сборки, резиноуглепластиковый подшипник, гидрозамки, направляющий подшипник вала, эпоксикаучуковый клей.

УДК 678.067:621.891:621.822.2

Триботехнические испытания антифрикционного углепластика ФУТ применительно к упорным подшипникам. Иванов В. Г., Коркош С. В., Анисимов А. В. – Вопросы материаловедения, 2009, № 1(57), с. 92–96.

Рассмотрены результаты триботехнических испытаний фенольного углепластика ФУТ по стали 20Х13 в воде при скорости скольжения 12 м/с, контактных давлениях от 2 до 6 МПа и коэффициенте взаимного перекрытия элементов трибопары 0,5. Испытания проводили в условиях работы упорных подшипников во ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» на машине торцевого трения. Установлено, что углепластик ФУТ работоспособен в этих условиях до $PV = 72 \text{ МПа} \cdot \text{м/с}$. Подчеркнута роль правильного выбора конструкции подшипника и обеспечения условий теплоотдачи.

Ключевые слова: упорный подшипник, коэффициент взаимного перекрытия, коэффициент трения, линейный износ.

УДК 621.822.5:539.538:678.067

Подшипники скольжения из углепластиков. Николаев Г. И., Бахарева В. Е., Лобынцева И. В., Анисимов А. В. – Вопросы материаловедения, 2009, № 1(57), с. 97–110.

В ЦНИИ КМ «Прометей» создан новый класс антифрикционных полимерных композиционных материалов – углепластиков, превосходящих по своим характеристикам традиционные антифрикционные полимерные материалы. Углепластики по своему составу и условиям работы делятся на две группы – фенольные для высокоскоростных (до 40 м/с) и эпоксидные для низкоскоростных тяжело нагруженных (до 60 МПа) узлов трения. Они предназначены для изготовления подшипников скольжения судов, гидротурбин и насосов, работающих с водяной смазкой и любыми другими жидкостями. Опыт эксплуатации подшипников скольжения из углепластиков показал их высокую работоспособность в узлах трения судовых механизмов и систем, гидротурбин, в тяжелом машиностроении, арматуры трубопроводов, контактных электрических сетей железных дорог, исполнительных механизмов различного назначения, центробежных, шестеренчатых и поршневых насосов.

Ключевые слова: углепластик, узел трения, судостроение, гидротурбиностроение, насосостроение.

УДК 678.067:678.073:539.538

Теплостойкий антифрикционный углепластик на основе полифениленсульфида. Лишевич И. В., Бахарева В. Е., Саргсян А. С., Скобелева Е. Л. – Вопросы материаловедения, 2009, № 1(57), с. 111–115.

Рассмотрена возможность применения в трибопарах, эксплуатирующихся при повышенных температурах или в перегретой воде при температурах 180–200 °С и выше, антифрикционного теплостойкого углепластика на основе частично кристаллического полифениленсульфида. Для получения углепластика применяли технологию пропитки из расплава на пропиточной машине, разработанной совместно с Физико-техническим институтом им. А. Ф. Иоффе. Исследованы физико-механические, температурные и антифрикционные свойства углепластика. Температурные характеристики углепластика исследовали методом дифференциальной сканирующей калориметрии. Исследования антифрикционных свойств проводили по экспресс-методике на машине трения ИИ-5018. Также изучена поверхность трения антифрикционных углепластиков на основе различных полимерных связующих методом растровой электронной микроскопии. Показано, что применение полифениленсульфида в качестве термостойкого связующего является перспективным направлением для создания термостойких антифрикционных полимерных композиционных материалов.

Ключевые слова: полифениленсульфид, термостойкие термопласты, пропитка из расплава, метод дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), трибологические испытания, линейная интенсивность изнашивания, коэффициент трения.

УДК 678.067:678.073:539.538

Конструкционные термопласты как основа для самосмазывающихся полимерных композиционных материалов антифрикционного назначения. Кузнецов А. А., Семенова Г. К., Свидченко Е. А. – Вопросы материаловедения, 2009, № 1(57), с. 116–126.

Выполненный анализ отечественной и зарубежной литературы позволяет уверенно прогнозировать быстрый рост рынка антифрикционных ПКМ на основе термопластичных матриц. Рассмотрены структура и свойства перспективных термопластов, таких как сложные полиэфиры терефталевой кислоты, полиамиды 6, 66, 46, полифталамиды, полиариламиды, полиацетали, поликарбонат, полифениленоксид, фторопласты, полисульфоны, полиэфиркетоны, жидкокристаллические полимеры, полиимиды.

Ключевые слова: полимеры, композиционные материалы, матрица, инженерные или конструкционные термопласты, суперконструкционные термопласты, полиарилены, полигетероарилены, термопластичные полифторолефины.

УДК 678.067:539.538

Влияние полимерной матрицы на триботехнические характеристики органопластов. Веттегрень В. И., Фадин Ю. А., Савицкий А. В., Ляшков А. И. – Вопросы материаловедения, 2009, № 1(57), с. 127–131.

Измерены коэффициенты сухого трения полимерных матриц, волокон, одномерных и двумерных волокнистых композитов о сталь. Установлено, что коэффициент трения покоя μ_0 матриц и волокон, температура стеклования T_g которых ниже комнатной T_R , больше коэффициента трения скольжения μ_s , в противном случае $\mu_0 \approx \mu_s$. При $T_g > T_R$ коэффициент сухого трения волокнистых композитов определяется коэффициентом трения концов волокон и их концентрацией.

Ключевые слова: антифрикционные полимерные композиты, коэффициент сухого трения.

УДК 678.067:678.073:539.538:539.55

Сравнительные исследования вязкоупругих и трибологических характеристик углепластиков на основе теплостойких полимерных связующих. Юдин В. Е., Светличный В. М., Кудрявцев В. В., Бахарева В. Е., Саргсян А. С., Лишевич И. В., Попова Е. Н. – Вопросы материаловедения, 2009, № 1(57), с. 132–140.

Получены и исследованы вязкоупругие свойства (модули упругости и потерь, вязкость межслоевого разрушения) углепластиков, а также их трибологические характеристики (коэффициент трения и износостойкость) при сухом трении в широком диапазоне температур. В качестве связующих для углепластиков были выбраны аморфные и частично кристаллические термопласты с повышенной термо- и теплостойкостью: линейный частично кристаллический полифениленсульфид и разработанные в ИВС РАН полиимиды. Показано, что повышение теплостойкости, а также кристаллизруемость полимерного связующего способствуют улучшению трибологических характеристик углепластиков, особенно при повышенных ($\sim 150^\circ\text{C}$) температурах.

Ключевые слова: углепластик, полифениленсульфид, полиимиды, аморфные и частично кристаллические термопласты, теплостойкость, вязкость межслоевого разрушения, модули упругости и потерь.

УДК 678.067:539.538

Трибололюминесценция полимеров и композитов Веттегрень В. И., Савицкий А. В., Щербаков И. П., Мамалимов Р. И. – Вопросы материаловедения, 2009, № 1(57), с. 141–145.

Продемонстрированы возможности трибо- и фотолюминесценции для изучения механизма изнашивания полимеров и полимерных композитов. Установлено, что анализ формы вспышек триболюминесценции позволяет наблюдать за динамикой трещин при изнашивании, а также определять химическое строение матрицы. Анализ спектров фотолюминесценции порошков, образующихся при изнашивании, позволяет изучать строение продуктов разрушения композитов.

Ключевые слова: антифрикционные полимерные композиты, динамика трещин при изнашивании, химическое строение продуктов разрушения композитов.

УДК 678.067:620.18

Масс-спектрометрическое исследование механической и термической стабильности полимерных композитов. Поздняков О. Ф., Баскин Б. Л., Лишевич И. В., Седлецкий Р. В., Гинзбург Б. М., Поздняков А. О. – Вопросы материаловедения, 2009, № 1(57), с. 146–153.

Приведены примеры использования фрактоэмиссии ФЭМС для изучения явлений, развивающихся в ходе термомеханических воздействий на полимерные композиционные материалы (ПКМ). Рассмотрены результаты исследований ПКМ разнообразной природы: сферопластики (СП), углеродные волокна (УВ) и углепластики, в том числе антифрикционные фенольные углепластики (ФУТ). Установлено, что с помощью метода фрактоэмиссии в сочетании с анализом термодеструкционных спектров (ТДМС) можно получить информацию о процессах зарождения, локализации и развития повреждений в ПКМ.

Ключевые слова: масс-спектрометрия, фрактоэмиссия, субмикротрещина, сферопластики, антифрикционные углепластики, углеродные волокна, термодеструкционные спектры, термостабильность.

УДК 678.067:539.538:620.187

Исследование поверхности трения антифрикционных композитов методами растровой электронной и атомно-силовой микроскопии. Соснов Е. А., Анисимов А. В., Бахарева В. Е., Трифонов С. А., Малыгин А. А., Блышко И. В., Кирик Е. В., Савелов А. С. – Вопросы материаловедения, 2009, № 1(57), с. 154–160.

Проведен комплекс исследований триботехнических характеристик, морфологии поверхности трения и термоокислительной устойчивости органопластика марки АРЭТ на основе синтетического термостойкого волокна "Оксалон" (полифенилен-1,3,4-оксадиазол) и эпоксидной матрицы. Выявлены преимущества и недостатки органопластика марки АРЭТ перед углепластиком марки УГЭТ. Органопластик марки АРЭТ работоспособен в узлах сухого трения при скоростях скольжения до 1,0 м/с в отличие от углепластика марки УГЭТ, который работоспособен на скоростях до 0,1 м/с. Также в отличие от углепластика УГЭТ органопластик набухает при эксплуатации в воде, что ограничивает его использование в узлах трения, смазываемых водой.

Ключевые слова: органопластик, углепластик, термоокислительная устойчивость, морфология, атомно-силовая микроскопия, сухое трение.

УДК 678.067:678.742.2:539.538

Трение нанокомпозитов серебросодержащего сверхвысокомолекулярного полиэтилена. Краснов А. П., Мить В. А., Афоничева О. В., Саид-Галиев Э. Е., Николаев А. Ю., Васильков А. Ю., Подшибихин В. Л., Наумкин А. Ю., Волков И. О. – Вопросы материаловедения, 2009, № 1(57), с. 161–169.

Разработаны и исследованы серебросодержащие нанокомпозиты, полученные в процессе комплексной модификации сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) GUR-1050. В процессе комплексной модификации СВМПЭ вначале подвергается обработке в среде сверхкритического диоксида углерода с получением нанопористого полимера. Затем в результате совмещения полученного нанопористого СВМПЭ с сереброорганическим соединением и последующей термической обработки получаем серебросодержащий нанокомпозит. Исследовано

влияние количества серебра в композите – от следов до 0,4% – на характер изменения трибологических показателей и свойства поверхности. Результаты свидетельствуют, что композиты, содержащие наносеребро в количестве 0,2 и 0,4%, имеют лучшие трибологические показатели по сравнению с образцами исходного СВМПЭ и образцом, содержащим следы наносеребра.

Ключевые слова. нанокompозиты, сверхвысокомолекулярный полиэтилен, нанопористость, наносеребро, трибологические свойства.

УДК 678.067:661.66

Металлоуглеродные волокна и полимерные композиции на их основе. Сафонова А. М., Шпилевская Л. Е., Сметанина О. В. – Вопросы материаловедения, 2009, № 1(57), с. 170–180.

Проведено комплексное исследование физико-химических свойств (выход конечного продукта, рентгенофазовый состав, содержание металлов, плотность, прочность, удельное электросопротивление, намагниченность, смачивание полимерными связующими) металлоуглеродных волокон (MeУВ), содержащих металлы подгруппы железа и полученных в одинаковых температурно-временных условиях процесса карбонизации в интервале 400–900 °С. Показано, что введение в состав углеродных волокон никеля, кобальта и железа позволяет придать им новые свойства и расширить их области применения. Показана перспективность использования MeУВ в качестве наполнителя полимерных матриц при получении углепластиков с антифрикционными, электропроводящими и магнитными свойствами.

Ключевые слова: углеродные волокна, металлоуглеродные волокна, карбонизация, температура термической обработки, рентгенофазовый анализ, прочность, удельная намагниченность, удельное электросопротивление, коэффициент трения, композиционные материалы.

УДК 678.067:621.822:621.891

Технологичность неметаллических подшипников коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания. Лысенков М. П. – Вопросы материаловедения, 2009, № 1(57), с. 181–185.

Представлены результаты аналитического исследования возможности применения неметаллических подшипников скольжения в опорах коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания. Показаны триботехнические преимущества некоторых пар трения типа металл–неметалл перед трибосопряжениями металл–металл. Предложен перспективный инновационный проект, ориентированный на практическое использование неметаллических подшипников.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, пара трения, технология, бинарная поверхность, задир, ремонт.

УДК 678.067:620.178

Планирование эксперимента при исследовании триботехнических характеристик фенольных углепластиков. Добычин М. Н., Морозов А. В., Никулин А. В., Сачек Б. Я., Анисимов А. В. – Вопросы материаловедения, 2009, № 1(57), с. 186–193.

Приведены результаты триботехнических испытаний фенольных углепластиков – базового марки ФУТ и модифицированного баббитом Б-83 марки ФУТ-Б – на трибометре фирмы CENTER FOR TRIBOLOGY Inc., США, модель UMT-2. В качестве контртела использовали сталь 20Х13, коэффициент взаимного перекрытия $K = 0,84$. При обработке данных спланированного полного факторного эксперимента (ПФЭ) типа 2^2 с вариацией двух факторов P и V на двух уровнях с использованием методов регрессионного анализа получены аналитические зависимости для коэффициента трения f и интенсивности изнашивания I от режимных параметров P и V .

Ключевые слова: пассивный эксперимент, планирование эксперимента, нагрузочный параметр, математическая модель, параметр оптимизации.

УДК 678:621.891:51

Математическая модель трения и изнашивания поликристаллических твердых тел. Васильев Ю. Н., Фуголь В. А. – Вопросы материаловедения, 2009, № 1(57), с. 194–209.

На основе термодинамического анализа кругового процесса образования и нарушения контакта в закрытой системе разработана математическая модель трения и изнашивания поликристаллических твердых тел при сухом трении и трении с граничной смазкой. При проведении кругового процесса в закрытой системе работа, подведенная к системе, равна теплоте, диссипированной в окружающее пространство. При расчете трения с граничной смазкой принимали, что зазор на контакте является микропорой с подвижной стенкой, адсорбция в которой из газовой фазы описывается уравнением Дубинина–Радушкевича. Противодавление смазочного слоя находили интегрированием уравнения Пойнтинга, описывающее условие равновесие двух фаз сосуществующих при разных давлениях и одинаковой температуре. Сопоставление расчетных и экспериментальных значений подтвердило адекватность предлагаемой модели.

Ключевые слова: закрытая термодинамическая система, количественная теория трения скольжения, качения и трения с граничной смазкой, химическое и механическое равновесие на контакте, адсорбция в зазоре на контакте, микропора, уравнение для расчета трения из независимых данных.

УДК 621.892

Определение характеристик износостойкости полимерных материалов на примере полиамида ПА-6 и композита Ф4К15М5. Козырев Ю. П., Седакова Е. Б. – Вопросы материаловедения, 2009, № 1(57), с. 210–214.

Проведены исследования износа полиамида и полимерного композита в широком диапазоне нагрузок. Показана применимость для аппроксимации экспериментальных данных эмпирического закона изнашивания. Определены диапазоны преимущественного действия усталостного и адгезионного механизмов износа. Выполнен сравнительный анализ износостойкости испытанных материалов на основе характеристик эмпирического закона.

Ключевые слова: антифрикционные полимерные материалы, полиамид, механизм износа, аппроксимация, эмпирический закон.