

СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b> .....	3
<b>АНТИФРИКЦИОННЫЕ УГЛЕПЛАСТИКИ</b>	
<i>Николаев Г. И., Бахарева В. Е., Власов В. А., Лобынцева И. В., Анисимов А. В., Петрова Л. В., Симица В. Н.</i> Применение антифрикционных углепластиков в подшипниках скольжения.....	7
<i>Анисимов А. В., Бахарева В. Е., Лобынцева И. В., Петрова Л. В., Чурикова А. А.</i> Бинарные опоры из модифицированных углепластиков для подшипников судовых валопроводов.....	22
<i>Анисимов А. В., Барахтин Б. К., Бахарева В. Е., Петров С. Н., Рыбин В. В., Точильников Д. Г.</i> Модифицирование металлами – эффективный метод повышения износостойкости фенольного углепластика ФУТ при трении по «вязким» коррозионно-стойким сталям .....	27
<i>Анисимов А. В., Барахтин Б. К., Бахарева В. Е., Рыбин В. В.</i> Исследование микроструктуры и механизма изнашивания углепластика ФУТ в паре с коррозионно-стойкой сталью .....	36
<i>Анисимов А. В., Барахтин Б. К., Бахарева В. Е., Петров С. Н., Рыбин В. В.</i> Исследование микроструктуры и механизма изнашивания поверхностей пар трения углепластика – медьсодержащие сплавы .....	44
<i>Анисимов А. В., Барахтин Б. К., Рыбин В. В.</i> Экспериментальное исследование поверхностей контакта в трибопарах полимер – металл.....	51
<i>Анисимов А. В., Бахарева В. Е., Тихонов В. П., Французова С. Б.</i> Влияние структуры и поверхностного пластического деформирования контртел на триботехнические характеристики и износостойкость материалов в парах трения углепластик ФУТ–сталь.....	62
<i>Бахарева В. Е., Блышко И. В., Николаев Г. И., Малыгин А. А., Трифонов С. Г., Соснов Е. А.</i> Применение атомно-силовой микроскопии для исследования поверхности контакта в трибопарах модифицированный углепластик – металл .....	70
<i>Маланюк А. И.</i> Особенности механической обработки антифрикционных углепластиков .....	79
<i>Петров В. М., Иванов О. А., Федосов А. В.</i> Достижение заданных параметров качества поверхности деталей из углепластиков путем механической обработки .....	85
<i>Рашкован И. А., Краснов А. П., Казаков М. Е., Афоничева О. В., Кулачинская О. Б.</i> Трение термопластичных углепластиков в воде .....	100
<b>АНТИФРИКЦИОННЫЕ ОРГАНОПЛАСТИКИ</b>	
<i>Краснов А. П., Тимофеев В. А., Афоничева О. В., Буяев Д. И., Чукаловский П. А., Кузнецов В. В.</i> Роль трибохимически активных связующих в создании нового армированного антифрикционного износостойкого материала .....	105
<i>Анисимов А. В., Бахарева В. Е., Блышко И. В., Гинзбург Б. М., Кирик Е. В., Точильников Д. Г.</i> Характеристики органопластиков на основе фенольной матрицы и оксалонитрилового волокна .....	113
<b>АНТИФРИКЦИОННЫЕ ТЕРМОПЛАСТЫ И РЕЗИНЫ</b>	
<i>Вязанкин В. В., Мотков Л. Л.</i> Исследование пары трения фторопласт 7В-2А – сталь 25Х17Н2Б-Ш на водяной смазке.....	119
<i>Боярко Н.Н., Чернов А.Е., Кацов С.Н.</i> Исследование работоспособности графитофторопластового материала 7В-2А в подшипниках скольжения, работающих на перекачиваемой среде в горизонтальных центробежных насосах малой мощности.....	127
<i>Лысенков П. М.</i> Качественная оценка эффективности пар трения .....	133
<i>Лысенков М. П.</i> Способность некоторых неметаллических материалов формировать бинарную поверхность трения.....	136
<i>Лысенков М. П., Чулкин С. Г.</i> Работоспособность пар трения типа эластомер – эластомер .....	139
<i>Бабенко А. А., Кудряшов Ю. А., Хисамутдинов Р. С., Киселева Л. А., Лазуткин В. М.</i> Экспериментальные исследования роликовых подшипников качения из полимерных материалов....	143

<i>Синицын Е. М., Соков Е. В.</i> Внедрение подшипников качения с резиновыми роликами на циркуляционных насосах типа ОПВ-185 и ДПВ-170 на Калининской АЭС .....	150
<i>Поталицын М. Г., Бабенко А. А., Алехин О. С., Алексеев Н. И., Арапов О. В., Чарыков Н. А.</i> Модифицирование капролона фуллероидными материалами .....	153
<i>Шумаков А. Н., Юдин В. Е., Светличный В. М., Диденко А. Н., Богорад Н. Н., Попова Е. Н., Летенко Д. Г., Фадин Ю. А., Соловьев А. Н.</i> Влияние углеродных нанотрубок на термомеханическое и трибологическое поведение нанокompозитов на основе частично кристаллических полиимидов .....	158
<i>Григорьев А. К., Звягинцев В. Н.</i> Стендовые испытания подшипника скольжения из антифрикционного материала Торплас фирмы «Thordon Bearings Inc.».....	166

## **МЕТАЛЛОКОМПОЗИТЫ И УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

<i>Виноградов С. Е., Рыбин В. В., Шекалов В. И.</i> Влияние фуллероидных наномодификаторов на структуру поверхности трения и особенности изнашивания бронзофторопластовых антифрикционных материалов.....	173
<i>Кулик В. П., Хомов С. Н.</i> Испытания графитобаббита откорректированного состава для торцевых уплотнений гребных валов .....	181
<i>Кулик В. П., Хомов С. Н.</i> Испытания материалов для высокоскоростных подшипников паротурбинных установок.....	186
<i>Козырев Ю. П., Седакова Е. Б.</i> Статистический критерий оценки триботехнических свойств углеродных материалов.....	193
<i>Кодочигов Н. Г., Белов С. Е., Шишкин В. А., Боровков М. Н., Ятманов А. В.</i> Экспериментальные исследования материалов пар трения для резервных подшипников турбомшины модульного гелиевого реактора с газовой турбиной ГТ-МГР .....	199

## **КЛЕИ И ПОКРЫТИЯ**

<i>Сытов В. А., Верстаков А. Е., Воронин А. Е.</i> Системный подход к проблеме создания клеевых соединений в триботехнике .....	204
<i>Дроздов Ю. Н., Зеленская М. Н.</i> Физико-химические процессы в твердом смазочном покрытии при его формировании и трении .....	211

## **ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ В КОНСТРУКЦИЯХ НАСОСОВ**

<i>Багманов А. А., Бажайкин С. Г., Михайлов В. И., Ахметгалиев Р. З.</i> К проблеме применения деталей проточной части высоконапорных центробежных насосов типа ЦНС из пластмасс .....	218
<b>Рефераты публикуемых статей</b> .....	221

## РЕФЕРАТЫ ПУБЛИКУЕМЫХ СТАТЕЙ

УДК 621.822.5:539.538:678.067

**Применение антифрикционных углепластиков в подшипниках скольжения.** Николаев Г. И., Бахарева В. Е., Власов В. А., Лобынцева И. В., Анисимов А. В., Петрова Л. В., Сими́на В. Н. – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 7–21.

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, арматуре трубопроводов, контактных электрических сетей железных дорог, исполнительных механизмах различного назначения, центробежных, шестеренчатых и поршневых насосах.

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

УДК 678.067:621.822:629.12.037

**Бинарные опоры из модифицированных углепластиков для подшипников судовых валопроводов.** Анисимов А. В., Бахарева В. Е., Лобынцева И. В., Петрова Л. В., Чурикова А. А. – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 22–26.

Подшипники судовых валопроводов (дейдвудные подшипники) работают в экстремальных условиях, решение проблемы их надежности и работоспособности с водяной смазкой является одной из самых трудных задач материаловедения. Эта проблема решена путем создания подшипника скольжения – бинарной опоры, состоящей из фенольного углепластика и графитонаполненного фторопласта.

Разработаны две конструкции бинарных опор – в наборном и цельном исполнении. Несущей основой бинарной опоры является углепластик ФУТ, а протекторами – графитонаполненный фторопласт Ф40Г40.

Разработанные бинарные опоры охватывают весь типоразмерный ряд подшипников скольжения судовых валопроводов.

*Ключевые слова:* бинарная опора, углепластик, графитонаполненный фторопласт, дейдвудный подшипник.

УДК 678.067:539.538

**Модифицирование металлами – эффективный метод повышения износостойкости фенольного углепластика ФУТ при трении по «вязким» коррозионно-стойким сталям.** Анисимов А. В., Барахтин Б. К., Бахарева В. Е., Петров С. Н., Рыбин В. В., Точильников Д. Г. – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 27–35.

Износостойкость пары трения углепластик ФУТ – коррозионно-стойкая сталь неудовлетворительна, поэтому существует задача повышения износостойкости углепластика ФУТ при трении по коррозионно-стойким сталям с низкой твердостью («вязким» сталям). Эта задача была решена модифицированием состава фенольного углепластика высокодисперсными металлами. В качестве мезомодификаторов были выбраны порошки металлов различной дисперсности – меди, баббита марки Б-83 и никеля.

Модификация обеспечила адаптацию углепластиков к контртелам с низкими триботехническими характеристиками, например к «вязким» коррозионно-стойким сталям или титановым сплавам. При модификации металлами и сплавами улучшаются все триботехнические характеристики пар трения – снижается линейная интенсивность изнашивания углепластика и контртела, повышается максимальное допустимое контактное давление.

*Ключевые слова:* модификация, высокодисперсные металлы, фенольный углепластик, контртело, коррозионно-стойкая сталь, титан.

УДК 678.067:539.538

**Исследование микроструктуры и механизма изнашивания углепластика ФУТ в паре с коррозионно-стойкой сталью.** Анисимов А. В., Барахтин Б. К., Бахарева В. Е., Рыбин В. В. – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 36–43.

Исследован процесс изнашивания углепластика в трибопаре углепластик ФУТ – аустенитная сталь 08X18H10T твердостью 130 НВ при трении в воде. Установлено, что линейная интенсивность изнашивания углепластика ФУТ при трении по стали 08X18H10T в торец армирующих волокон ниже, чем вдоль волокон. Волокна, ориентированные к поверхности трения торцом, способствуют снижению износа. В то же время для углепластиков, как и для других анизотропных композиционных материалов, коэффициент трения вдоль слоев ткани ниже, чем в торец. Доминирующий механизм износа углепластика ФУТ в этой паре вдоль слоев ткани – расслаивание, пропахивание борозд и абразивный износ частицами переноса металла в торец слоев ткани – только расслаивание. С увеличением контактного давления отслоений волокна от матрицы больше.

*Ключевые слова:* износ, фенольный углепластик, контртело, коррозионно-стойкая сталь.

УДК 678.067:539.538

**Исследование микроструктуры и механизма изнашивания поверхностей пар трения углепластики – медьсодержащие сплавы.** Анисимов А. В., Барахтин Б. К., Бахарева В. Е., Петров С. Н., Рыбин В. В. – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 44–50.

Триботехнические характеристики пары трения углепластик ФУТ–металл существенно зависят от металла контртела. Наиболее высокую износостойкость имеет пара трения углепластик – оловянистая бронза марки Бр.О10Ц2. Исследованы влияние состава сплавов на медной основе на работоспособность пары трения углепластик – металл и микроструктура углепластика.

Установлено, что состав сплавов на основе меди оказывает существенное влияние на износостойкость фенольного углепластика. Положительное влияние сплава на основе меди на триботехнические характеристики углепластика состоит в том, что пленка переноса с контртела может эффективно залечивать дефекты поверхностной структуры углепластика, тем самым снижая интенсивность изнашивания и коэффициент трения. Состав контртела существенно влияет на микроструктуру поверхности трения.

*Ключевые слова:* сплавы на основе меди, бронза, фенольный углепластик, контртело, износ.

УДК 678.067:539.538

**Экспериментальное исследование поверхностей контакта в трибопарах полимер – металл.** Анисимов А. В., Барахтин Б. К., Рыбин В. В. . – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 51–61.

Обобщены результаты экспериментов, проведенных с парами трения из полимерных и металлических материалов. С помощью представлений структурной мезомеханики предпринята попытка объяснить ряд фактов, обнаруженных при исследовании поверхностей трения в составе армированный углепластик – металл.

Сделан ряд заключений относительно процессов пластической деформации в зоне контакта пар трения армированный волокнами углепластик – металл. В парах трения независимо от структуры материала физическая природа изнашивания определяется пластической деформацией. Основной носитель ротационной пластичности – диполь частичных клиновых дисклинаций. Отмечена перспективность использования дисклинационных представлений в описании и объяснении эффектов, сопровождающих явления трения и износа.

*Ключевые слова:* структурная мезомеханика, углепластик, дисклинации, трение и износ.

УДК 678.067:539.538

**Влияние структуры и поверхностного пластического деформирования контртел на триботехнические характеристики и износостойкость материалов в парах трения**

**углепластик ФУТ – сталь.** Анисимов А. В., Бахарева В. Е., Тихонов В. П., Французова С. Б. – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 62–69.

Исследована зависимость износостойкости углепластиков от структуры стального контртела. Проведены исследования триботехнических характеристик углепластика ФУТ в контакте со сталями мартенситной (07X16H4Б, 20X13), мартенситно-ферритной (08X17H6Т) и аустенитной (10X17H13M2Т).

Установлено, что микроструктура и твердость контртел значительно влияют на триботехнические характеристики углепластика. Из исследованных коррозионно-стойких сталей наиболее высокие триботехнические характеристики углепластика ФУТ обеспечены в паре с мартенситными сталями. Выявлена неустойчивость процесса трения в паре углепластик ФУТ – мартенситно-ферритная сталь и неработоспособность пары углепластик ФУТ – аустенитная сталь. Поверхностное пластическое деформирование сталей снижает интенсивность изнашивания углепластика.

*Ключевые слова:* контртело, структура стали, углепластик, аустенит, мартенсит, износ.

УДК 678.067:539.538:620.187

**Применение атомно-силовой микроскопии для исследования поверхности контакта в трибопарах модифицированный углепластик – металл.** Бахарева В. Е., Блышко И. В., Николаев Г. И., Малыгин А. А., Трифонов С. Г., Соснов Е. А. – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 70–78.

Впервые в практике исследований антифрикционных полимерных материалов определены микроструктура и фазовый состав поверхности трения фенольного углепластика марки ФУТ с использованием метода атомно-силовой микроскопии (АСМ). Интерес представляют не только сами результаты, полученные новым методом, но и сравнение их с результатами, полученными на растровом электронном микроскопе (SEM) и рентгеновском спектроскопе.

На основании проведенных исследований установлено, что совместное использование методов АСМ и SEM для исследования микроструктуры углепластика, образующейся в процессе трения, позволяет получить с высокой степенью достоверности информацию о процессах изнашивания углепластиков и влиянии модификаторов на эти процессы. Показана возможность использования метода АСМ для исследования таких сложных объектов, какими являются композиционные углеродные материалы.

*Ключевые слова:* атомно-силовой и электронный микроскопы, углепластик, трение, износ.

УДК 678.067:539.538:621.91

**Особенности механической обработки антифрикционных углепластиков.** Маланюк А. И. – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 79–84.

Рассмотрены основные особенности механической обработки антифрикционных эпоксидных (УГЭТ) и фенольных (ФУТ) углепластиков. Разработаны рекомендации по выбору материала режущего инструмента, его геометрических параметров, режимов резания при точении углепластиков. Соблюдение данных рекомендаций позволяет получать изделия из углепластиков высокой точности и снижает вероятность возникновения неустраняемых дефектов.

*Ключевые слова:* углепластик, механическая обработка, стружкообразование, скорость резания.

УДК 678.067:621.91

**Достижение заданных параметров качества поверхности деталей из углепластиков путем механической обработки.** Петров В. М., Иванов О. А., Федосов А. В. – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 85–99.

Композиционные углепластики обладают особыми антифрикционными свойствами. Данные свойства выражаются в повышенной износостойкости поверхностей деталей пар трения. Эти свойства могут оказать отдельное влияние на производительность процессов механической обработки, связанной с образованием заданной формы методами удаления слоя материала. В настоящее время наиболее распространенными являются методы, связанные с резанием материала: токарной обработки, сверления, фрезерования. Окончательная, финишная обработка стандартным абразивным инструментом не дает желаемого результата. Поэтому необходим комплексный подход, включающий анализ (требований чертежа по точности и качеству обработки, способу получения заготовки и предварительной технологии образования формы – технологической наследственности); выбор метода дальнейшей обработки (схему резания,

технологическое оборудование, режущий инструмент, смазочную и охлаждающую технологическую среду, режимы обработки); выбор способа контроля параметров точности и качества обработанных поверхностей и размеров. Благодаря этому подходу можно достичь заданных производительности и качества механической обработки.

*Ключевые слова:* углепластики, антифрикционные свойства, повышенная износостойкость, комплексный подход, качество механической обработки.

УДК 678.067:539.538

**Трение термопластичных углепластиков в воде.** Рашкован И. А., Краснов А. П., Казаков М. Е., Афоничева О. В., Кулачинская О. Б. – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 100–104.

Рассматриваются аспекты применения термопластичных углепластиков в качестве антифрикционных материалов. На примере полиамидных и полипропиленовых композиций, хаотично-армированных короткими углеродными волокнами, анализируются особенности их трения, недостатки и преимущества. Обсуждаются экспериментальные результаты изучения трения в воде угленаполненных полиамидов. Установлено, что при экспозиции в воде угленаполненных антифрикционных ПА-6 происходит стабилизация размеров и улучшение трибологических свойств. Лучшие трибологические показатели получены для УПА-6/30-АФ.

Рекомендуется провести стендовые испытания угленаполненных антифрикционных ПА-6 в узлах трения, эксплуатирующихся в контакте с водой.

*Ключевые слова:* термопластичные углепластики, антифрикционные материалы, угленаполненные полиамиды, трение в воде.

УДК 678.067:539.538

**Роль трибохимически активных связующих в создании нового армированного антифрикционного износостойкого материала.** Краснов А. П., Тимофеев В. А., Афоничева О. В., Буяев Д. И., Чукаловский П. А., Кузнецов В. В. – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 105–112.

Наиболее интересной является возможность использования в армированных материалах термостойких жесткоцепных полимеров в виде волокон, находящихся в предельно термофрикционно стабильном состоянии.

Исследовано влияние химической природы связующего на триботехнические свойства модельных материалов, армированных термостойкими волокнами на основе поли-1-3-4-оксадиазола и хлопчато-бумажного волокна. Связующее – резольная фенолформальдегидная смола (ФФС).

Проведенное исследование трибохимических процессов позволило обосновать возможность использования термостойких полигетероариленов в качестве основы высокоизносостойких органопластов нового поколения.

*Ключевые слова:* армированный композит, антифрикционный материал, фенолформальдегидное связующее, трибохимический процесс, износостойкость.

УДК678:539.538

**Характеристики органопластиков на основе фенольной матрицы и оксалонового волокна.** Анисимов А. В., Бахарева, В. Е., Блышко И. В., Гинзбург Б. М., Кирик Е. В., Точильников Д. Г. – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 113–118.

Исследованы триботехнические характеристики и водопоглощение антифрикционных полимеров с фенольной матрицей, армированных оксалоновой тканью и композициями с различным сочетанием оксалоновых волокон, хлопка и графита при трении по стали без смазывания и при смазывании водой в широком диапазоне контактных давлений при скорости скольжения 1 м/с.

Проведено сравнение триботехнических характеристик органопластиков и известных антифрикционных полимерных материалов – капролона и тордона («Thordon Bearings Inc.»). Установлено, что органопластики по несущей способности, износостойкости и коэффициенту трения превосходят капролон и тордон. Исследования водопоглощения органопластиков показали, что они набухают в воде. Это обстоятельство затрудняет их широкое применение в ответственных узлах трения.

*Ключевые слова:* органопластик, хлопок, графит, трение, водопоглощение.

УДК 678.067.7:539.538

**Исследование пары трения фторопласт 7В-2А – сталь 25Х17Н2Б-Ш на водяной смазке.** Вязанкин В. В., Мотков Л. Л. – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 119–126.

Представлены общие сведения о наполненном фторопласте марки 7В-2А, исследованы особенности его поведения в воде, его физико-механические характеристики, а также вопросы обработки, деформируемости материала. Приведены результаты исследований триботехнических характеристик пары трения фторопласт 7В-2А – сталь 25Х17Н2Б-Ш в зависимости от нагрузки, температуры и коэффициента взаимного перекрытия.

Пара трения графитофторопластовый материал 7В-2А – сталь 25Х17Н2Б-Ш рекомендуется для использования в серийных герметичных электронасосах и главных циркуляционных насосах АЭС при температурах воды до 200°C. Температура воды 250–300°C для материала 7В-2А является недопустимой в связи с значительным снижением прочности и износостойкости.

Материал 7В-2А не может применяться для тяжело нагруженных и крупногабаритных подшипников в связи с низкой прочностью и недостаточной технологичностью.

*Ключевые слова:* графитофторопласт, температура, коэффициент взаимного перекрытия, триботехнические характеристики.

УДК 621.67:621.822.5:678.067.7

**Исследование работоспособности графитофторопластового материала 7В-2А в подшипниках скольжения, работающих на перекачиваемой среде в горизонтальных центробежных насосах малой мощности.** Боярко Н.Н., Чернов А.Е., Кацов С.Н. – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 127–132.

Рассмотрены результаты экспериментальных исследований работоспособности встроенных в насосы типа Кс80-100 и Кс80-150-6 гидродинамических опорных подшипников скольжения втулочного типа, смазываемых перекачиваемой насосом водой. В качестве антифрикционного материала использовался графитофторопластовый материал марки 7В-2А.

Работоспособность антифрикционного графитофторопластового материала в качестве статорных втулок в переднем и заднем встроенных опорных подшипниках скольжения была проверена при проведении ресурсных испытаний насоса Кс80-100 в течение 1000 ч. По полученным в результате испытаний фактическим значениям показателей износостойкости сочетания материалов пары трения (материал 7В-2А – сталь 30Х13, 38-42 HRC), материал 7В-2А отнесен к 1-му классу износостойкости и для него выполнено расчетное определение предполагаемого ресурса работы, который составил 5300 ч.

По результатам проведенных испытаний материал 7В-2А рекомендован для применения в качестве антифрикционного материала во встроенных конструкциях подшипниковых опор скольжения при смазке водой с нагрузочно-скоростными параметрами:  $p v = 30 \text{ кг} \cdot \text{м} / \text{см}^2 \cdot \text{с}$ .

*Ключевые слова:* подшипники скольжения, графитофторопластовый материал, центробежные насосы малой мощности.

УДК 678:539.538

**Качественная оценка эффективности пар трения.** Лысенков П. М. – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 133–135.

Эффективность пар трения всегда рассматривается с двух позиций. С одной стороны, это способность пары трения препятствовать перемещению одной детали по поверхности другой детали. Вторая область исследований ответственна за долговечность. Объектом исследования в этом случае выступает износ каждой из деталей, формирующих пару трения.

На всех стадиях развития человечества предпринимались попытки оценить эффективность самых разнообразных пар трения. Для этого использовались многочисленные методики, корректность которых не очевидна.

Современным направлением в этой области представляется широкое использование качественных оценок, базирующихся на экспериментальных данных применительно к различным материалам и условиям эксплуатации.

*Ключевые слова:* трение, пара, эффективность, качественная оценка.

УДК 678:539.538

**Способность некоторых неметаллических материалов формировать бинарную поверхность трения.** Лысенков М. П. – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 136–138.

Эффективность трибосопряжений с использованием бинарных поверхностей трения послужила импульсом для создания полимерных материалов, в которых предположительно может быть реализована бинарная поверхность на микроуровне.

Предпринята попытка на основе результатов специальных экспериментов ответить на вопросы, формируется ли бинарная поверхность при трении наполненных полимеров по металлическому контртелу и каковы количественные параметры бинарной поверхности на микроуровне.

*Ключевые слова:* трение, бинарная поверхность, микроуровень.

УДК 678:539.538

**Работоспособность пар трения типа эластомер – эластомер.** Лысенков М. П., Чулкин С. Г. – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 139–142.

Рассмотрены результаты исследования пары трения эластомер – эластомер, которая редко встречается в практике машиностроения. В качестве материалов, образующих пару трения, рассмотрены наполненная и ненаполненная резина средней твердости, а также наполненные и ненаполненные литые полиуретаны.

Приводится статистический анализ полученных экспериментальных данных применительно к зафиксированному коэффициенту трения при работе пары трения без смазки.

По результатам исследований делается вывод о том, что все изученные пары трения нельзя отнести к классу антифрикционных.

*Ключевые слова:* пара трения, эластомер, коэффициент трения.

УДК 621.822.6:539.538:678.067

**Экспериментальные исследования роликовых подшипников качения из полимерных материалов.** Бабенко А. А., Кудряшов Ю. А., Хисамутдинов Р. С., Киселева Л. А., Лазуткин В. М. – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 143–149.

Приведены результаты работ по усовершенствованию конструкции роликовых подшипников качения для дейдвудных устройств. Показаны преимущества новой конструкции с роликами из опытных резиноподобных материалов в условиях работы в среде с содержанием абразивных включений в паре с валом из коррозионно-стойкой стали. Приведены результаты сравнительных стендовых испытаний.

Анализируя результаты испытаний, можно утверждать, что пара трения вал из коррозионно-стойкой стали и роликовый подшипник с комбинированными резиновыми роликами совместимы и могут длительное время надежно работать при частоте вращения до 950 об/мин.

Можно сделать вывод, что применение подшипника с резиновыми комбинированными роликами предложенной авторами конструкции значительно улучшит эксплуатационные характеристики валопровода в целом, что, несомненно, отразится на коммерческой привлекательности проекта для вновь строящихся и ремонтируемых судов.

*Ключевые слова:* роликовые подшипники качения, абразивные включения, резиноподобные материалы, дейдвудные устройства.

УДК 62–714.76:621.822.6

**Внедрение подшипников качения с резиновыми роликами на циркуляционных насосах типа ОПВ-185 и ДПВ-170 на Калининской АЭС.** Сеницын Е. М., Соков Е. В. – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 150–152.

Показана возможность существенного повышения ресурса направляющих подшипников циркуляционных насосов при смазке водой путем совершенствования их конструкции и замены трения скольжения на трение качения.



*Ключевые слова:* направляющий подшипник скольжения, подшипник качения, ролик, вал, водяная смазка, срок службы, суммарная наработка.

УДК 678.675`126

**Модифицирование капролона фуллероидными материалами.** Поталицын М. Г., Бабенко А. А., Алехин О. С., Алексеев Н. И., Арапов О. В., Чарыков Н. А. – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 153–157.

Разработана технология получения различных модификаций капролона, содержащих фуллерены и фуллереновую сажу. Полученные образцы обладают существенно улучшенными по сравнению с немодифицированным капролоном физическими и химическими свойствами – повышенной твердостью по Бринеллю, ударной вязкостью, сопротивлением истиранию, температурами размягчения и плавления, пониженным содержанием мономера, влагопоглощением. Модификации позволяют в существенной степени варьировать также и некоторые электрофизические характеристики капролона – удельное объемное (поверхностное) сопротивление, диэлектрическое сопротивление и тангенсы диэлектрических потерь.

*Ключевые слова:* фуллерены, фуллереновая сажа, капролон, модификация, электрическая проводимость, износостойкость.

УДК 678.745.2:539.538

**Влияние углеродных нанотрубок на термомеханическое и трибологическое поведение нанокompозитов на основе частично кристаллических полиимидов.** Шумаков А. Н., Юдин В. Е., Светличный В. М., Диденко А. Н., Богорад Н. Н., Попова Е. Н., Летенко Д. Г., Фадин Ю. А., Соловьев А. Н. – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 158–165.

Исследовано влияние углеродных нанотрубок на механические свойства нанокompозитов на основе кристаллизующихся термопластичных полиимидов и показано, что нанотрубки могут являться нуклеирующим агентом, ускоряющим процесс кристаллизации полиимида из состояния расплава. Изучены трибологические характеристики полученных нанокompозитов.

*Ключевые слова:* углеродные нанотрубки, кристаллизация, полиимиды.

УДК 620.178.16:621.822.5:678

**Стендовые испытания подшипника скольжения из антифрикционного материала Торплас фирмы «Thordon Bearings Inc.».** Григорьев А. К., Звягинцев В. Н. – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 166–172.

Объектом испытаний является антифрикционный материал Торплас канадской фирмы «Tordon Bearings Inc.». Цель испытаний – возможность использования антифрикционного материала Торплас в подшипниках скольжения с водяной смазкой.

Приведены результаты статических и динамических испытаний подшипника скольжения из материала Торплас в паре с валом диаметром 200 мм из коррозионно-стойкой стали. Установлено, что материал Торплас при смазке водой обладает низким коэффициентом трения во всем диапазоне заданных нагрузок и окружных скоростей. При отношении длины подшипника к диаметру вала 1,25 подшипник скольжения может работать без принудительной системы смазки. Материал выдержал испытания на ударную нагрузку в течение времени, определенного программой испытаний.

По результатам стендовых испытаний материал Торплас может быть рекомендован для использования в подшипниках скольжения при смазке их водой, не содержащей твердых абразивных частиц.

*Ключевые слова:* стенд, подшипник скольжения, вал, окружная скорость, коэффициент трения, режим, нагрузка.

УДК 678.067:539.538

**Влияние фуллероидных наномодификаторов на структуру поверхности трения и особенности изнашивания бронзофторопластовых антифрикционных материалов.** Виноградов С. Е., Рыбин В. В., Шекалов В. И. – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 173–180.

Проведены сравнительные исследования поверхности бронзофторопластовых образцов, модифицированных и не модифицированных фуллероидными наномодификаторами, после их испытаний в составе пары трения бронзофторопласт – сталь методами оптической, электронной и растровой электронной микроскопии. Установлено, что преобладает абразивный механизм износа антифрикционного материала. Усталостное выкрашивание и адгезионный износ не наблюдаются. Размеры частиц модификаторов составляют порядка 1 мкм, что приводит к развитой удельной поверхности и обеспечивает заметное увеличение износостойкости бронзофторопласта при их небольших концентрациях. В результате разогрева в процессе трения и вследствие значительного превышения коэффициента линейного расширения политетрафторэтилена по сравнению с бронзой происходит выделение политетрафторэтилена из внутренних пор бронзы на поверхность контакта между трущимися поверхностями. Форма и размеры выделений модифицированного политетрафторэтилена близки к форме и расчетным величинам зазоров между частицами бронзы, что свидетельствует об их незначительной деформации, в то время как выделения немодифицированного политетрафторэтилена значительно больше по размерам, имеют продолговатую и неправильную форму. Введение модификаторов влияет на реологические характеристики политетрафторэтилена, повышая температуру перехода из упругопластического в вязкопластическое состояние, в результате чего скорость его удаления из контактной зоны меньше скорости его выделения из пор за счет нагрева, что обеспечивает пластическую смазку трущихся поверхностей и снижает их износ.

*Ключевые слова:* бронзофторопластовые антифрикционные материалы, поверхность трения, фуллероидные наномодификаторы,.

УДК 62–762:669.65`784.018.24:539.538

**Испытания графитобаббита откорректированного состава для торцевых уплотнений гребных валов.** Кулик В. П., Хомов С. Н. – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 181–185.

Представлены результаты физико-механических, триботехнических, коррозионных и натуральных стендовых испытаний графитобаббита марки ППГ-Б83 применительно к парам трения торцевых уплотнений судовых гребных валов.

Показано, что исследованный материал обладает высоким уровнем триботехнических свойств и теплопроводности, размерной стабильностью, коррозионной стойкостью в морской воде, достаточной прочностью. Он обеспечивает работу уплотнений гребных валов в паре со сталью 08X18H10T, оксидированным титановым сплавом и детонационным покрытием  $Al_2O_3 + 5\%Cr_2O_3$  на всех режимах эксплуатации. Это делает возможным применение материала ППГ-Б83 в торцевых уплотнениях гребных валов взамен графитобаббита ЭГО-1-Б83, который более не производится.

*Ключевые слова:* торцевые уплотнения гребных валов, графитобаббит, триботехнические свойства, совершенствование состава.

УДК 62–762:669.65`784.018.24:539.538

**Испытания материалов для высокоскоростных подшипников паротурбинных установок.** Кулик В. П., Хомов С. Н. . – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 186–192.

Исследованы триботехнические свойства пары трения молибден – углерод-углеродный композиционный материал.

Лабораторные испытания на трение проведены с учетом условий работы материалов в высокоскоростных подшипниковых узлах паротурбинных установок – в режиме граничного (среда – вода), сухого и полусухого трения.

Согласно полученным данным, пара трения молибден – углерод-углеродный композиционный материал является перспективной для дальнейших исследований. Необходимо проведение испытаний в натуральных или близких к эксплуатационным условиям.

*Ключевые слова:* триботехнические свойства, трение, износ, молибден, углерод-углеродный композиционный материал.

УДК 621.67:621.822.5:678.067.7

**Статистический критерий оценки триботехнических свойств углеродных материалов.** Козырев Ю. П., Седакова Е. Б. – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 193–198.

Проведены стандартные триботехнические испытания углеродных материалов, пропитанных металлами, обладающими пластичными свойствами. При испытаниях варьировались скорость и нагрузка. Результаты испытаний аппроксимировались универсальной зависимостью, учитывающей ряд физических параметров. Предложен критерий подбора оптимальной аппроксимирующей зависимости, который позволяет выбрать многофакторную функцию, связывающую износ материала с внешними условиями.

*Ключевые слова:* износ, углеродные материалы, триботехнические испытания, дисперсия, аппроксимация,  $pv$ -фактор, частицы износа.

УДК 62–762:669.65`784.018.24:539.538

**Экспериментальные исследования материалов пар трения для резервных подшипников турбомшины модульного гелиевого реактора с газовой турбиной ГТ-МГР.** Кодочигов Н. Г., Белов С. Е., Шишкин В. А., Боровков М. Н., Ятманов А. В. – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 199–203.

Исследованы материалы пар трения для резервных подшипников турбомшины модульного гелиевого реактора с газовой турбиной. Одним из важнейших компонентов опорной системы ротора турбомшины ГТ-МГР являются резервные подшипники, которые предназначены для удержания ротора при отказе электромагнитных подшипников. Резервные подшипники турбомшины – подшипники скольжения, работающие при высоких скоростях скольжения и больших осевых и радиальных нагрузках.

В осевых резервных подшипниках контакт осуществляется торцом по торцу, в радиальных – втулка по обойме. Роторные части в них являются металлическими, статорные – композитными.

Все испытанные материалы пар трения показали хорошие триботехнические характеристики, приемлемые для применения их в условиях эксплуатации резервных подшипников ТМ установки ГТ-МГР.

*Ключевые слова:* износостойкость, коэффициент трения, интенсивность изнашивания, гелий, материал пар трения, температура, удельная нагрузка, скорость скольжения, узел торцевого трения.

УДК 678.049.16:539.538

**Системный подход к проблеме создания клеевых соединений в триботехнике.** Сытов В. А., Верстаков А. Е., Воронин А. Е. – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 204–210.

Рассмотрены вопросы получения работоспособных клеевых соединений. Представлены: структура адгезионной системы, свойства эпоксикаучуковых адгезивов, рассмотрены вопросы конструкции, подготовки поверхности и технологии применения адгезивов. Показано, что только правильный выбор и исполнение всех составляющих и технологических операций структуры адгезионной системы получают работоспособное клеевое соединение.

*Ключевые слова:* адгезионная система, эпоксикаучуковый адгезив, подготовка поверхности, конструкция, технология.

УДК 678.067:539.538

**Физико-химические процессы в твердом смазочном покрытии при его формировании и трении.** Дроздов Ю. Н., Зеленская М. Н. – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 211–217.

Методом ИК-спектроскопии рассмотрено взаимодействие композиционного антифрикционного наполнителя с эпоксидным связующим в твердом смазочном покрытии. Показано, что композиционный наполнитель активизирует окислительно-восстановительные процессы, образует со связующим химические связи, вызывает структурирование связующего. Трение усиливает эти процессы.

*Ключевые слова:* твердые смазочные покрытия, трение, структурирование, окислительно-восстановительные процессы.

УДК 678.5:621.67

**К проблеме применения деталей проточной части высоконапорных центробежных насосов типа ЦНС из пластмасс.** Багманов А. А., Бажайкин С. Г., Михайлов В. И., Ахметгалиев Р. З. – Вопросы материаловедения, 2006, № 2(46), с. 218–220.

Приведены некоторые технические данные, особенности конструкции и эксплуатации центробежных секционных насосов типа ЦНС для закачки воды в нефтяные пласты.

Указано, что большинство насосов типа ЦНС имеют низкий коэффициент быстроходности  $n_s$ . К.п.д. насосов зависит в основном от чистоты поверхности каналов проточной части насоса и величины щелевых зазоров в уплотнениях рабочих колес. Применение рабочих колёс из стального литья не обеспечивает требуемую чистоту поверхности каналов. Большая масса ротора и значительная длина приводят к прогибу вала и ограничивают установление требуемых величин щелевых зазоров рабочих колес. Для снижения массы ротора и как следствие – уменьшения прогиба вала, а также повышения чистоты поверхности проточных каналов насоса предложено применение различных типов пластмасс в конструкции рабочих колес насоса.

Рассматриваются варианты конструкции и технологии изготовления рабочих колес из пластмасс для насосов типа ЦНС.

*Ключевые слова:* высоконапорные центробежные насосы, коэффициент быстроходности, применение пластмасс.