

*На правах рукописи*

**Косаренко Роман Иванович**

**ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ УСКОРЕННОГО СТАРЕНИЯ ПОЛИМЕРНОГО  
КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ  
МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНОЙ ТРИБОСИСТЕМЫ**

**Специальность: 05.02.04 – Трение и износ в машинах**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата технических наук**

**Красноярск - 2008**

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Омский танковый инженерный институт  
имени Маршала Советского Союза П.К. Кошерева» МО РФ

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор  
**Машков Юрий Константинович**

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор  
**Суриков Валерий Иванович**

доктор технических наук, доцент  
**Ереско Татьяна Трофимовна**

**Ведущая организация:** ОАО «Научно-исследовательский институт  
технологии, контроля и диагностики железнодорожного транспорта», г. Омск

Защита состоится «19» сентября 2008 г. в 13.00 часов на заседании  
диссертационного совета ДМ212.099.13 при ФГОУ ВПО «Сибирский  
федеральный университет» по адресу: 660074 г. Красноярск, ул. Киренского 26,  
ауд. Г 2-50.

Тел./факс:(3912) 49-82-55; e-mail DM21209913@ mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Сибирского  
федерального университета.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой  
печатью организации, просим направлять в адрес диссертационного совета.

Автореферат разослан «15» августа 2008 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
ДМ212.099.13,  
доктор технических наук, доцент



Э.А. Петровский

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Создание высокоэффективных машин нового поколения, обладающих высокими технико-экономическими характеристиками, отличающимися высокой надежностью и долговечностью, тесно связано с применением новых конструкционных материалов, особенно полимерных. Полимеры и полимерные композиционные материалы (ПКМ) играют прогрессивную роль в развитии всех отраслей машиностроения, дают возможность существенно повысить надежность и долговечность деталей машин и особенно узлов трения. Узлы трения, изготовленные с применением полимерных материалов, имеют меньшую массу, работают практически бесшумно, обладают хорошей демпфирующей способностью, в ряде случаев не требуют смазки, могут работать в вакууме, химически активной и инертной средах, при криогенных и повышенных температурах. Применение деталей из ПКМ позволяет значительно снизить трудоемкость их изготовления за счет современных технологических процессов, что определяет постоянное расширение области применения ПКМ.

ПКМ на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) нашли применение в различных отраслях машиностроения. Этот класс ПКМ широко применяется в металлополимерных узлах трения – трибосистемах в виде подшипников скольжения, направляющих и герметизирующих устройств (ГУ) машин и технологического оборудования. Прогрессивные свойства ПТФЭ и ПКМ на его основе подтверждены многочисленными исследованиями и освещены большим числом публикаций, однако, способность материала сохранять свои свойства в течение длительного времени и не подвергаться старению, освещена недостаточно. Недостаточная износостойкость и долговечность многих металлополимерных узлов трения связана с изменениями структуры и свойств ПКМ вследствие их старения под влиянием внешних энергетических воздействий. Поэтому обеспечение длительной работоспособности металлополимерных трибосистем в течение 10-15 и более лет является одной из актуальных задач трибологии и трибоматериаловедения.

**Объект исследования.** Объектом исследования служили образцы и изделия из ПКМ следующего состава: измельченное углеродное волокно (УВ), скрытокристаллический графит (СКГ), дисульфид молибдена  $\text{MoS}_2$  и ПТФЭ. Образцы в виде круглых колец прямоугольного сечения 10x10 мм и наружным диаметром 70 мм изготавливали по технологии холодного прессования и свободного спекания. Изделия в виде уплотнительных элементов поршней гидropневмоцилиндров изготавливали из образцов - заготовок методом механической обработки (точение).

**Целью работы** является исследование и оценка работоспособности и долговечности металлополимерных герметизирующих устройств на основе изучения характера структурно-фазовых превращений и изменения характеристик механических и триботехнических свойств полимерного

композиционного материала уплотнительных элементов, вызванных ускоренным старением в условиях длительного нагружения всесторонним сжатием при повышенной температуре.

**Для достижения цели поставлены следующие задачи:**

1. Выполнить анализ причин и основных физико-химических процессов старения, происходящих в материалах уплотнительных элементов трибосистем в условиях длительной эксплуатации и хранения герметизирующих устройств и других узлов трения.

2. Разработать методику проведения ускоренного старения образцов (заготовок) из ПКМ и оценки сохраняемости их механических и триботехнических свойств при длительной выдержке в условиях напряженно-деформированного состояния при повышенной и комнатной температурах.

3. Разработать методику и установку для проведения длительных стендовых испытаний металлополимерных узлов трения - герметизирующих устройств с уплотнительными элементами, изготовленными из ПКМ в исходном состоянии и из ПКМ, подвергнутого ускоренному старению в напряженно-деформированном состоянии всестороннего сжатия.

4. Провести ускоренное старение образцов по плану полного факторного эксперимента, определить степень совместного влияния параметров нагружения (температура, давление сжатия, рабочая среда) на характеристики механических и триботехнических свойств ПКМ.

5. Исследовать влияние режимов нагружения на характер структурно-фазовых превращений в полимерной матрице.

6. Провести сравнительные длительные стендовые испытания металлополимерных узлов трения - герметизирующих устройств в составе плавающего поршня гидропневмоцилиндра, уплотнительные элементы которых изготовлены из ПКМ в исходном состоянии и из ПКМ, подвергнутого испытанию на старение, получить кинетические зависимости износа уплотнительных элементов и работоспособности ГУ гидропневмоцилиндра от наработки.

7. Оценить степень влияния ускоренного старения ПКМ на износ уплотнительных элементов и работоспособность ГУ плавающего поршня.

**Научная новизна работы определяется следующими разработками и результатами:**

1. Разработанной методикой ускоренного старения полимерных композиционных материалов в условиях всестороннего сжатия и повышенных температур, характерных для эксплуатации и хранения герметизирующих устройств, применяемых в транспортных машинах.

2. Впервые полученными зависимостями механических и триботехнических свойств ПКМ от режимов и длительности ускоренного старения.

3. Установленным характером изменений надмолекулярной структуры и фазового состава ПКМ под влиянием ускоренного старения.

4. Разработанной методикой стендовых испытаний и полученными данными о влиянии ускоренного старения на работоспособность герметизирующих устройств и износостойкость уплотнительных элементов.

#### **Практическая значимость полученных результатов:**

1. Методика и установка ускоренного старения могут быть использованы при исследовании процессов старения и оценке срока службы вновь разрабатываемых полимерных композиционных материалов триботехнического назначения.

2. Методика ускоренного старения ПКМ может быть использована для оценки износостойкости и срока службы уплотнительных элементов ГУ при изменении условий эксплуатации и режимов нагружения ГУ в составе транспортной или другой машины.

3. Учитывая высокую сохраняемость свойств ПКМ и возможность задавать ему механические и триботехнические свойства, путем введения в состав полимеров различных модификаторов, представляется перспективным применение ПКМ на основе ПТФЭ в различных металлополимерных трибосистемах, включая герметизирующие устройства машин.

#### **Защищаемые положения и результаты:**

1. Методика ускоренного старения ПКМ, учитывающая влияние основных энергетических факторов, вызывающих старение ПКМ при эксплуатации трибосистем.

2. Методика оценки влияния условий и режимов ускоренного старения на механические и триботехнические свойства ПКМ.

3. Установленный характер изменений структуры и структурно-фазового состояния ПКМ на основе ПТФЭ в условиях ускоренного старения при всестороннем давлении сжатия и повышенных температурах.

4. Методика исследования и оценки влияния ускоренного старения на износостойкость уплотнительных элементов и работоспособность герметизирующего устройства в составе плавающего поршня гидropневмоцилиндра.

**Апробация работы.** Основные результаты исследования докладывались и обсуждались на: 2-м Международном технологическом конгрессе «Военная техника, вооружение и технологии двойного применения в 21 веке» (Омск, 2003); 2-й Межрегиональной научно-технической конференции «Многоцелевые гусеничные и колесные машины: разработка, производство, эксплуатация и боевая эффективность, наука и образование» (Броня-2004), (Омск-2004); 25-й Юбилейной международной конференции «Композиционные материалы в промышленности» (Ялта-2005); Международной научно-технической конференции «Качество, инновации, наука, образование» (Омск-2005); 4-м Международном технологическом конгрессе «Военная техника, вооружение и технологии двойного применения в 21 веке» (Омск, 2007).

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 13 работ, в том числе 3 работы в изданиях, рекомендованных ВАК для опубликования материалов диссертаций.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка использованной литературы и приложений. Работа содержит 124 страницы текста, включая 18 рисунков, 16 таблиц и 2 приложения, список литературы (97 наименований).

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность проблемы, связанной с необходимостью обеспечения и повышения работоспособности и ресурса герметизирующих устройств машин и механизмов.

**В первой главе** проведен анализ применения ПКМ в узлах трения различных видов техники, рассмотрены основные виды конструкций герметизирующих устройств, условия их эксплуатации. Проанализированы основные механизмы старения ПКМ, методы повышения их прочности, износостойкости и долговечности. Сформулированы цель и задачи исследования.

Методы повышения физико-механических и триботехнических свойств ПКМ разрабатываются на основе структурной модификации полимеров. Физической основой структурной модификации полимеров являются физико-химические процессы структурообразования на различных уровнях структурной организации: молекулярной, надмолекулярной, межфазной. Одним из перспективных методов повышения износостойкости полимеров является введение в полимерную матрицу наполнителей различной природы, формы и размеров, включая органические, неорганические, волокнистые, дисперсные и наноразмерные, с целью изменения условий процессов кристаллизации и формирования надмолекулярной структуры полимера за счет изменения свойств и концентрации вводимых наполнителей и изменения уровня интенсивности внешнего энергетического воздействия на систему.

Исследованию структурной модификации ПКМ триботехнического назначения и разработке методов повышения износостойкости ПКМ, посвящены работы: В.А. Белого, А.В. Чичинадзе, А.И. Буря, Ю.К. Машкова, В.И. Колесникова, А.А. Охлопковой, А.И. Свириденка, В.И. Сурикова, С.П. Ереско, Н.А. Смирнова, и др.

Известно, что слабым местом в структуре наполненных систем является межфазная граница между полимерной фазой и наполнителем, поскольку разрушение материала, как правило, происходит по межфазным границам, особенно в условиях динамических нагрузок, характерных для работы узлов трения машин.

Механические и триботехнические свойства ПКМ на основе ПТФЭ достаточно изучены в работах вышеназванных и других ученых, при этом

установлено, что в процессе эксплуатации уровень свойств может снижаться вследствие процессов старения, которые изучены недостаточно. Поэтому исследования механизмов старения ПКМ, вызывающих снижение механических и триботехнических свойств ПКМ, в том числе ПКМ на основе ПТФЭ, представляются весьма актуальными.

**Вторая глава** посвящена выбору методов и средств экспериментального исследования механических и триботехнических свойств, разработке метода ускоренного старения и оценки сохраняемости структуры и свойств ПКМ.

В работе предусмотрены следующие методы и средства экспериментального исследования ПКМ и характеристик ГУ:

- 1) исследование механических и триботехнических свойств ПКМ;
- 2) исследование структурно-фазового состояния ПКМ и его изменения при трении и ускоренном старении;
- 3) исследование сохраняемости свойств ПКМ в течение длительного времени в различных условиях внешнего воздействия, включая ускоренное старение;
- 4) исследование износостойкости уплотнительных элементов и работоспособности герметизирующих устройств в составе гидромеханизмов МГКМ.

При исследовании механических свойств определяли следующие характеристики: модуль упругости  $E$ , предел прочности  $\sigma_b$ , относительное удлинение  $\delta$ . Характеристики механических свойств ПКМ определяли по ГОСТ 9550-81 «Пластмассы. Методы определения модуля упругости при растяжении, сжатии и изгибе» Образцы для испытаний изготавливали из заготовок в виде колец прямоугольного сечения методом механической обработки – точение и последующая штамповка в специальном вырубном штампе.

Методика исследования триботехнических свойств предусматривала испытание образцов в исходном состоянии и после длительной выдержки в условиях всестороннего давления сжатия при повышенной и комнатной температурах согласно плану факторного эксперимента  $2^k = n$ , где  $n$  - число опытов эксперимента,  $k$  - число независимых факторов, влияющих на свойства материала.

Исследование сохраняемости механических и триботехнических свойств используемого ПКМ имеет целью изучение механизма старения и получение надежных данных о времени хранения и эксплуатации, в течение которого материал сохраняет требуемые свойства, и последующего прогнозирования работоспособности и долговечности герметизирующих устройств, уплотнительные элементы, которых изготовлены из ПКМ.

Материалы ГУ должны обладать высокой износостойкостью и хорошими антифрикционными свойствами, невысокой жесткостью при хорошей пластичности и достаточной прочности, оцениваемых по величинам модуля упругости, относительного удлинения и предела прочности, поэтому методика

исследования предусматривает оценку длительной работоспособности металлополимерной пары трения и сохраняемости ПКМ по изменению вышеназванных параметров.

Структурно-фазовое состояние образцов ПКМ в исходном состоянии и его изменение в процессе длительного нагружения исследовали методом рентгеноструктурного анализа с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН-3М.

Для создания условий ускоренного старения ПКМ, близких к эксплуатационным, было сконструировано специальное приспособление (рис. 1), обеспечивающее заданное всестороннее давление сжатия образцов в газообразной или жидкой среде, при повышенной и комнатной температуре, которые можно изменять в определенном диапазоне с достаточной степенью точности.

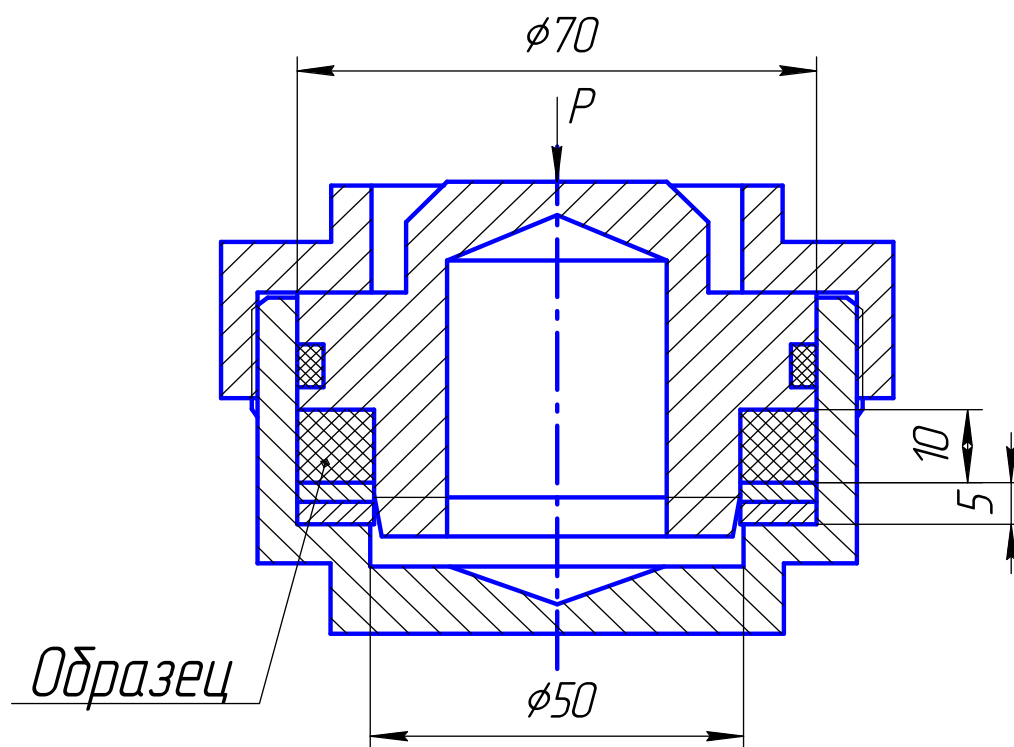


Рис.1. Универсальное приспособление для испытания образцов ПКМ

Приспособление состоит из корпуса с внутренней полостью цилиндрической формы, резьбовой крышки, цилиндрической оправки для установки образцов. При сборке устройства, внутренняя полость корпуса заполняется рабочей средой. Для создания необходимого давления на образец, устройство помещается под пресс и нагружается силой  $P$  через оправку и в таком положении фиксируется резьбовой крышкой. После испытания, заключающегося в выдержке образцов в условиях всестороннего сжатия в течение заданного времени, устройство разбирается, из кольцевых образцов



изготавливают стандартные образцы для исследования механических и триботехнических свойств. Создание необходимой температуры внутри приспособлений обеспечивается путем помещения их в нагревательную установку, специально сконструированную и изготовленную для этой цели. Внешний вид приспособлений, исследуемых образцов ПКМ и нагревательной установки показаны в диссертации.

Исследование влияния ускоренного старения в условиях всестороннего давления сжатия, температуры и вида рабочей среды (газ, жидкость), оцениваемое по изменению механических и триботехнических свойств ПКМ, проводилось по плану факторного эксперимента  $2^3 = 8$  в два этапа. Длительность 1-го этапа составляла 2200 часов выдержки образцов в приспособлениях при заданном давлении и температуре при каждом из восьми режимов (опытов). Общая продолжительность опытов составляла 52800 часов. С целью сокращения продолжительности эксперимента было изготовлено 8 приспособлений и 2 нагревательные установки, что позволило вести одновременно по 4 опыта и сократить продолжительность 1-го этапа до 175 суток, т.е. примерно до полугода. Практически одновременно вели эксперимент 2-го этапа продолжительностью 4400 часов для каждого режима. Эксперименты 2-го этапа продолжались более одного года.

**В третьей главе** рассматриваются результаты исследования влияния ускоренного старения на структуру и свойства полимерного композиционного материала.

В табл.1 приведены результаты исследования механических свойств образцов ПКМ, подвергнутых ускоренному старению в течение 2200 и 4400 часов. Как видно из таблицы, в процессе выдержки под давлением в течение 2200 часов при температуре 20°C произошло незначительное увеличение предела прочности в среднем на 1 %, а при 100°C – уменьшение в среднем на 8 %. Модуль упругости повысился при 20°C в среднем на 13 %, при 100°C – на 16 %. Относительное удлинение увеличивается в среднем на 43 и 68 % соответственно.

При выдержке в течение 4400 часов предел прочности в среднем снижается на 10 % по сравнению с прочностью исходных образцов. Наибольшее влияние на предел прочности испытываемого материала оказывают максимальное давление сжатия и температура 100°C. Однако и в этих случаях наибольшее снижение предела прочности составляет всего 11,2 %. Относительное удлинение испытываемых образцов увеличилось в среднем на 30 %. Следовательно, в этих условиях происходит повышение пластичности ПКМ и снижение модуля упругости в среднем на 11,6 %.

Полученное повышение пластичности и снижение модуля упругости способствует сохранению и улучшению герметизирующей способности композиционного материала.

Характеристики механических свойств образцов ПКМ после выдержки под давлением сжатия в течение 2200 и 4400 часов

Условия нагружения образцов (режим)				Предел прочности при растяжении $\sigma_r$ , МПа		Относительное удлинение при разрыве $\epsilon_r$ , %		Модуль упругости при растяжении $E_r$ , МПа	
№ п/п	$T, ^\circ\text{C}$	$P$ , МПа	Среда	2200	4400	2200	4400	2200	4400
	1	2	3						
Образцы в исходном состоянии				23,5	26,8	64,0	87,5	245,6	318,9
1	20	4,0	жидк.	25,2	24,2	91,1	108,3	247,8	254,0
2	20	4,0	газ	25,5	24,2	112,5	111,5	256,1	253,2
3	20	16,0	жидк.	25,9	24,3	78,3	95,0	254,2	314,2
4	20	16,0	газ	25,5	23,6	85,8	113,3	361,8	322,9
5	100	4,0	жидк.	23,4	23,9	105,8	102,5	334,9	311,0
6	100	4,0	газ	23,9	24,3	115,8	132,2	283,6	269,9
7	100	16,0	жидк.	23,2	24,0	102,5	122,5	280,6	290,2
8	100	16,0	газ	22,4	23,8	108,3	120,5	246,7	240,7

Результаты исследования триботехнических свойств образцов, прошедших ускоренное старение в течение 2200 ч., 4400 ч. и образцов в исходном состоянии приведены в табл. 2. Они показывают, что средний износ образцов после выдержки под нагрузкой в течение 2200 часов уменьшается на 25 %, момент трения увеличивается в среднем на 12 %. Температура трения во всех режимах изменяется в среднем в пределах  $\pm 10$  %. При увеличении продолжительности выдержки образцов до 4400 часов, массовый износ повышается в среднем на 22 %, момент трения увеличивается в среднем на 13%.

Скорость изнашивания образцов, выдержанных под нагрузкой в течение 2200 часов, меньше эталонной в среднем на 25 %, что указывает на способность ПКМ улучшать свои триботехнические свойства в условиях внешнего энергетического воздействия в течение 3 месяцев (2200 ч.). При этом влияние

среды и повышенного давления на образцы проявляется в меньшей степени. Увеличение продолжительности нагружения в два раза до 4400 часов приводит к увеличению скорости изнашивания по сравнению с эталоном от 11 % до 22 %.

Таблица 2

Характеристики триботехнических свойств образцов ПКМ после выдержки в приспособлениях в течение 2200 и 4400 часов

Условия нагружения образцов (режим)				Момент трения Мтр, Н·м		Температура трения Т, °С		Массовый износ Δm, г	
№ п/п	Т, °С	Р, МПа	Среда	2200	4400	2200	4400	2200	4400
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Образцы в исходном состоянии				3,42	4,07	59	59,1	0,021	0,009
1	20	4,0	жидк.	4,18	5,22	65	60,9	0,017	0,011
2	20	4,0	газ	3,84	4,54	58	55,9	0,021	0,010
3	20	16,0	жидк.	4,31	4,25	67	55,2	0,014	0,008
4	20	16,0	газ	4,24	4,52	61	63,6	0,016	0,008
5	100	4,0	жидк.	4,27	4,16	46	64,3	0,012	0,011
6	100	4,0	газ	3,26	4,07	39	58,2	0,015	0,009
7	100	16,0	жидк.	3,36	4,7	42	68,5	0,013	0,010
8	100	16,0	газ	3,63	5,3	40	61,2	0,015	0,010

Обработка полученных результатов методами математической статистики показывает совместное влияние трех факторов на износостойкость ПКМ.

Полученные уравнения регрессии, с учетом значимости коэффициентов, для скорости изнашивания имеют вид:

Для первого этапа исследования;

$$Y = 25,862 + 2,062X_1 - 2,56X_2 - 2,5X_1X_2 + 14,9X_2X_3 + 3,9X_1X_2X_3.$$

Для второго этапа исследования:

$$Y = 16,03 - 0,762X_1 + 0,612X_2 - 0,937X_3 + 0,9X_1X_2 + 5,3X_1X_3 + 8,7X_2X_3.$$

Анализ уравнений позволяет сделать следующие выводы:

1. Наибольшее влияние на скорость изнашивания оказывает совместное воздействие повышенных температуры и давления в процессе старения.
2. Повышение давления и температуры может вызывать как повышение, так и снижение скорости изнашивания в зависимости от длительности нагружения при ускоренном старении.

С целью изучения физических причин изменения механических и триботехнических свойств ПКМ проводили исследование структурно-фазового состояния образцов в исходном состоянии и после длительного нагружения. Всего исследовали 10 образцов: один образец – чистый ПТФЭ, один образец ПКМ – в исходном состоянии и 8 образцов ПКМ, подвергнутых испытаниям длительной выдержкой под различным давлением сжатия ( $P$ ) при различных температурах ( $T$ ) в масляной среде и газе, согласно плану факторного эксперимента. Снимали рентгенограммы с образцов ПКМ в исходном состоянии (рис. 2) и после ускоренного старения.

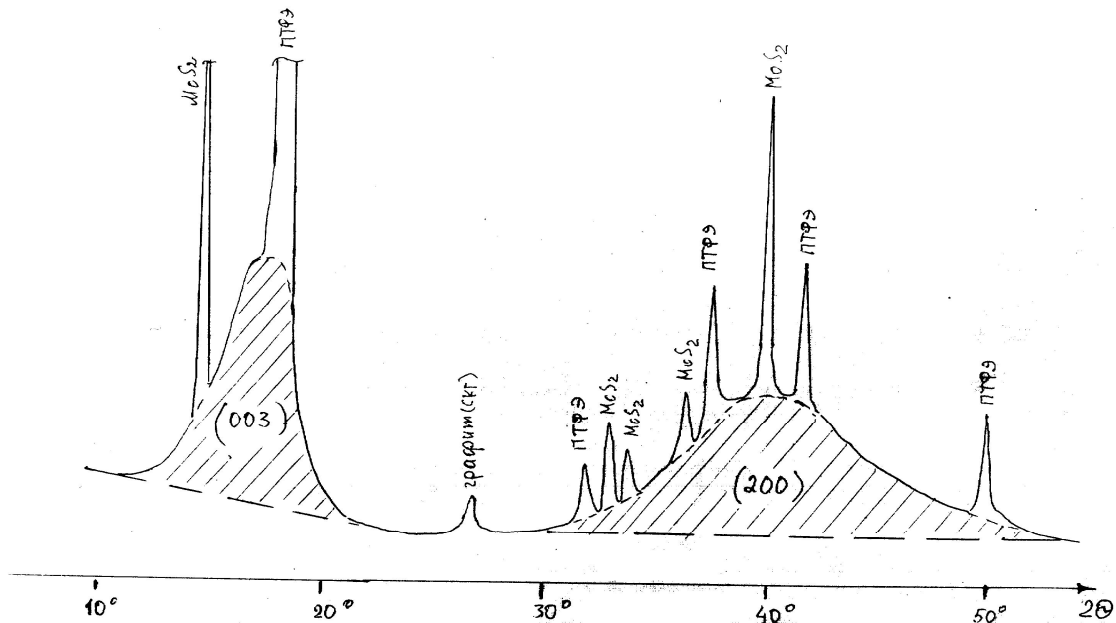


Рис.2. Рентгенограмма композита с исходной структурой

Рентгенограммы композита содержат рефлексы наполнителей:  $MoS_2$  и СКГ. С использованием рентгенограмм, рассчитаны параметры надмолекулярной структуры для образцов в исходном состоянии и подвергнутых выдержке под давлением в течение 4400 часов (табл. 3). Образцы

расположены в порядке возрастания параметра нагружения  $K$ . При этом  $K = P t T$  (кПа·ч·К), где  $P$ -давление,  $t$ -время нагружения,  $T$ -температура.

Результаты исследования фазового состава и расчета параметров надмолекулярной структуры показали следующее:

- степень кристалличности уменьшается в процессе длительного нагружения почти на 10 % и практически не зависит от величины нагрузочного коэффициента в исследуемом интервале нагружения;
- испытания на старение приводят к незначительному до (7 %) увеличению среднего межслоевого расстояния  $S_{ам}$  в аморфной фазе матрицы, которое слабо зависит от нагрузочного коэффициента;

Таблица 3

Параметры надмолекулярной структуры и фазовый состав композита

№ обр.	$K$ , кПа·ч·К	среда	Параметры кристаллической ячейки		Среднее межслоевое расстояние $S_{ам}$ , нм	Степень кристаллизации $\alpha$ , %	$\beta^\circ$
			$a_{кр}$ , нм	$c_{кр}$ , нм			
исх.	–	–	0,56	1,56	1,46	83	0,25
9	3,46	газ	0,56	1,56	1,58	78	0,24
10	3,46	масло	0,56	1,58	1,52	76	0,24
5	4,10	газ	0,56	1,58	1,58	75	0,25
6	4,10	масло	0,56	1,58	1,64	73	0,25
7	13,83	газ	0,56	1,61	1,58	75	0,26
8	13,83	масло	0,56	1,60	1,54	76	0,25
3	16,41	газ	0,57	1,54	1,48	74	0,25
4	16,41	масло	0,56	1,56	1,56	73	0,25
Средние значения			0,56	1,57	1,56	75	0,25

- в процессе испытания параметры кристаллической ячейки матрицы композита не изменяются, в кристаллической решетке не возникает микронапряжений.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что незначительное изменение механических и триботехнических свойств ПКМ в процессе ускоренного старения объясняется незначительным изменением основных параметров надмолекулярной структуры полимерной матрицы и отсутствием в ней микронапряжений, что позволяет прогнозировать длительную работоспособность изделий из ПКМ в аналогичных условиях эксплуатации и хранения.

В четвертой главе приводится методика, а также рассматриваются результаты стендовых испытаний гидропневматического накатника танковой пушки, в котором уплотнительные элементы плавающего поршня изготовлены из исследуемого ПКМ (рис. 3). Испытания имели целью получить оценки достигнутого уровня долговечности, износостойкости материала и работоспособности герметизирующего устройства плавающего поршня с уплотнительными элементами из ПКМ в исходном состоянии и из ПКМ, прошедшего длительные испытания на старение.

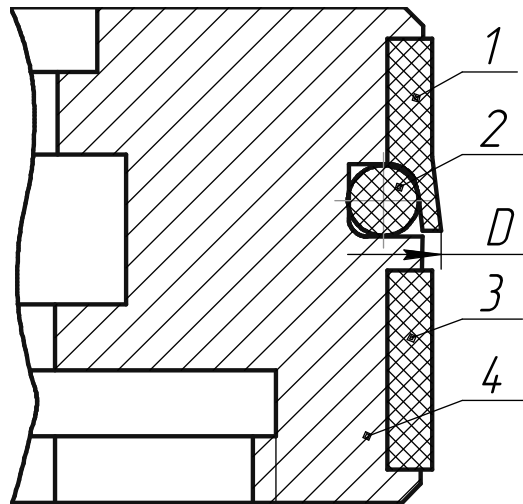


Рис. 3. Плавающий поршень гидропневматического устройства: 1 – уплотнительный элемент; 2 – резиновый эспандер; 3 – направляющая втулка; 4 – корпус поршня

На первом этапе исследовали зависимость объема перетечек рабочей жидкости и износа уплотнительных элементов от количества циклов (двойных ходов) плавающего поршня. После каждых 200 циклов измеряли объем перетечек и диаметр  $D$  уплотнительных элементов и строили графики зависимостей перетечек и износа уплотнительных элементов от наработки - количества циклов двойных ходов поршня (рис. 4, 5).

Из графика на рис. 4 видно, что до наработки 600 циклов наблюдается нелинейность исследуемой зависимости, а при дальнейшем испытании объем перетечек увеличивается пропорционально количеству циклов или пути трения при прямом и обратном ходе поршня.

На втором этапе исследовали те же зависимости для уплотнительных элементов из ПКМ, выдержанного в напряженно-деформированном состоянии в течение 4400 часов.

Из графика на рис. 5 видно, что объем перетечек незначительно увеличился по сравнению с первым этапом примерно на 5,6 %, что находится в пределах ошибки измерения. При этом все 10 исследуемых герметизирующих

устройства плавающего поршня сохранили работоспособное состояние по установленному критерию.

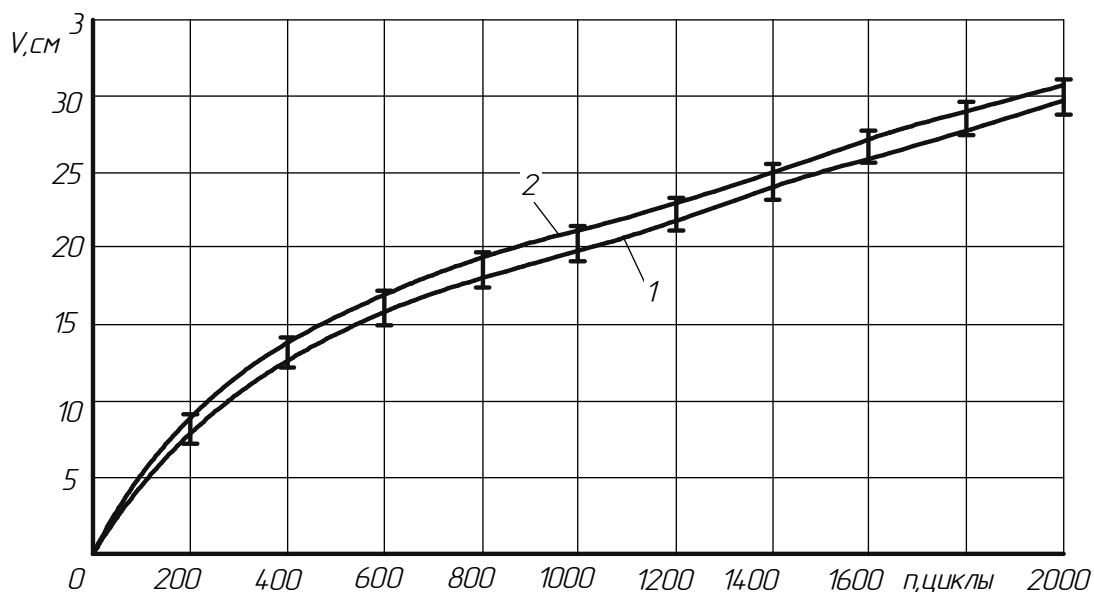


Рис. 4. Зависимость объема перетечек ( $V$ ) от количества циклов при стендовых испытаниях: 1 – уплотнение из ПКМ в исходном состоянии; 2 – уплотнение из ПКМ, выдержанного под нагрузкой в течение 4400 ч

Следовательно, изготовление уплотнительных элементов из образцов ПКМ, подвергнутых длительной выдержке под нагрузкой, не повлияло на работоспособность герметизирующего устройства, оцениваемую по величине перетечек рабочей жидкости.

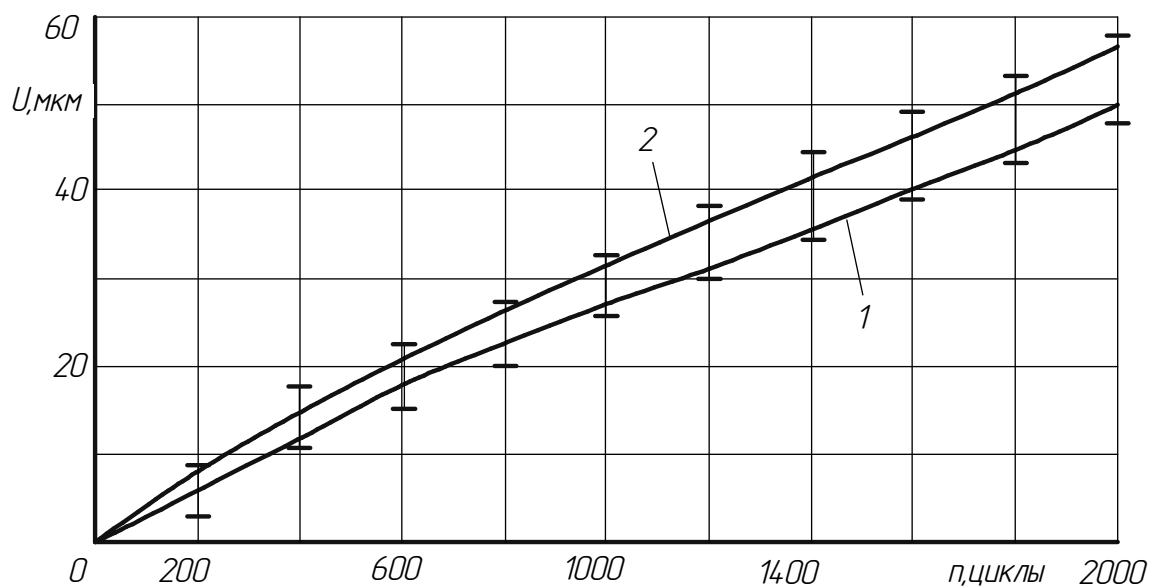


Рис. 5. Зависимость износа уплотнительных элементов по диаметру  $D$  от наработки: 1 – уплотнение из ПКМ в исходном состоянии; 2 – уплотнение из ПКМ, выдержанного под нагрузкой в течение 4400 ч

Как видно из графика на рис. 5, в процессе испытания диаметральный износ уплотнительных элементов составил в среднем 50-60 мкм, при этом величина износа уплотнительных элементов из ПКМ, подвергнутого старению, больше в среднем на 5-6 мкм, т.е. на 10 %. Кинетические зависимости износа уплотнительных элементов имеют выраженный участок приработки в интервале до 600 циклов с более высокой скоростью изнашивания. Эти результаты подтверждают незначительное влияние длительной выдержки ПКМ в напряженно-деформированном состоянии на износостойкость материала.

По результатам испытаний можно сделать следующие выводы:

1. В процессе испытаний герметизирующих устройств в составе плавающего поршня гидропневмоцилиндра все образцы сохранили работоспособность (по объему перетечек жидкости в пневмополость) и имели значительный запас по величине допустимых перетечек.

2. За весь период испытаний диаметральный износ уплотняющих губок уплотнительных элементов составил 50 – 60 мкм, что существенно меньше допустимой величины износа.

## **ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ**

1. Эксплуатация металлополимерных герметизирующих устройств гусеничных и колесных машин характеризуется жесткими условиями и динамическим режимом нагрузок, что требует индивидуального подхода при изучении механизма процесса герметизации и анализе влияния напряженно-деформированного состояния элементов устройств, на их работоспособность в течение длительного времени.

2. Методы повышения физико-механических и триботехнических свойств ПКМ на основе ПТФЭ разнообразны и достаточно разработаны, в тоже время отсутствуют надежные методы прогнозирования долговечности полимерных композиционных материалов с оценкой предельного срока сохранения их работоспособности, например, уплотнительных элементов герметизирующих устройств в заданных условиях эксплуатации и хранения.

3. С целью ускорения процесса старения, разработаны специальная методика и установка, предусматривающие сжатие образцов ПКМ при различных температурах и давлениях и изучения влияния режима и длительности нагружения на характеристики механических и триботехнических свойств ПКМ.

4. Полученные зависимости механических и триботехнических свойств исследуемого ПКМ от давления сжатия и температуры при ускоренном старении, характеризуются различными направлениями и величиной изменения показателей свойств, зависящими от продолжительности нагружения.



Наибольшее влияние на изменение свойств оказывают повышенная температура и давление.

5. Изменение свойств ПКМ в условиях нагружения при повышенной температуре связано с изменением фазового состава и структуры аморфной фазы ПТФЭ, выражающейся в снижении степени кристалличности (на 10%) и увеличении среднего межслоевого расстояния в аморфной фазе полимерной матрицы (на 7%).

6. Незначительные изменения характеристик механических и триботехнических свойств ПКМ на основе ПТФЭ (до 10%) в условиях ускоренного старения в течение 6 месяцев, позволяют прогнозировать длительную работоспособность ПКМ в условиях эксплуатации, характерных для герметизирующих устройств гусеничных и колесных машин. Длительные стендовые испытания ГУ плавающего поршня в составе гидропневмоцилиндра подтвердили, что ускоренное старение ПКМ, не оказывает существенного влияния на работоспособность ГУ и износостойкость ПКМ, поскольку увеличение объема перетечек и износа уплотнительного элемента не превышает 10% по сравнению с изменением параметров ГУ в исходном состоянии.

7. Для уплотнительных элементов ГУ гидропневмоцилиндра, изготовленных с применением ПКМ и стального «контр-тела», при стандартных параметрах сопряжений, характерно наличие периода приработки, составляющего до 20-25% заданного ресурса 2000 циклов, величина износа в период приработки соизмерима с величиной износа в течение последующей работы в пределах заданного ресурса, который с учетом предельно допустимого износа, может быть увеличен в 4 раза.

8. Результаты исследования сохраняемости ПКМ на основе ПТФЭ подтвердили его высокие механические и триботехнические свойства и способность сохранять их длительное время в условиях воздействия неблагоприятных факторов, что позволяет прогнозировать высокую работоспособность деталей и машин, сконструированных с применением данного ПКМ.

## ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

1. Машков, Ю.К. Методы повышения ресурса узлов трения ходовой части многоцелевых гусеничных машин / Ю.К. Машков, О.А. Мамаев, М.Ю. Байбарацкая, **Р.И. Косаренко** // Многоцелевые гусеничные и колесные машины: разработка, производство, эксплуатация и боевая эффективность, наука и образование: Материалы II межрегиональной научно-технической конференции «Броня-2004». – Омск: Курьер, 2004. С.268-272.

2. Oleg A. Mamaev, The strength investigation of friction metalpolymer joint tribosystem / Ю.К. Машков, О.А. Мамаев, О.В. Кропотин, **Р.И. Косаренко**// «Nordtrib 04», Tromsa, Harstad, Hurtiguten, Norway, June 2004. С.317-319.

3. Мамаев, О.А. Влияние условий длительного нагружения на триботехнические свойства полимерного композиционного материала на основе политетрафторэтилена /О.А. Мамаев, Ю.К. Машков, **Р.И. Косаренко**, В.П. Пивоваров // Военная техника, вооружение и технологии двойного применения: Материалы III Международного технологического конгресса: В 2 ч. Ч.2 - Омск: Изд-во ОмГУ, 2005. С.200-202.

4. Пивоваров, В.П. Опыт проектирования уплотнений пневматических цилиндров на объектах БТВТ / В.П. Пивоваров, О.В. Кропотин, Ю.К. Машков, **Р.И. Косаренко** // Военная техника, вооружение и технологии двойного применения: Материалы III Международного технологического конгресса: В 2 ч. Ч.2 – Омск: Изд-во ОмГУ, 2005. С. 217-219.

5. Машков, Ю.К. Влияние длительного всестороннего сжатия и температуры на структуру и свойства полимерного композиционного материала на основе ПТФЭ / Ю.К. Машков, О.А. Мамаев, Л.Ф. Калистратова, **Р.И. Косаренко** // Качество. Инновации. Наука. Образование: Материалы Международной научно-технической конференции: В 2 ч. Ч.2 – Омск: СибАДИ, 2005. - С.197-203.

6. Машков, Ю.К. Полимерные композиционные материалы для ремонта уплотнений многоцелевых гусеничных и колесных машин / Ю.К. Машков, О.А. Мамаев, **Р.И. Косаренко** // Композиционные материалы в промышленности: Материалы Двадцать пятой Юбилейной международной конференции и выставки. - Ялта – Киев: УИЦ «Наука. Техника. Технология», 2005. С.126-129.

7. Машков, Ю.К. Влияние длительного нагружения на механические свойства полимерного композиционного материала на основе политетрафторэтилена / Ю.К. Машков, О.А. Мамаев, **Р.И. Косаренко**, В.С. Зябликов // Композиционные материалы в промышленности: Материалы Двадцать пятой Юбилейной международной конференции и выставки. - Ялта – Киев, УИЦ «Наука. Техника. Технология», 2005. С.132-134.

8. Косаренко, Р.И. Исследование сохраняемости полимерных композиционных материалов на основе политетрафторэтилена, применяемых в герметизирующих устройствах многоцелевых гусеничных и колесных машин / **Р.И. Косаренко** // Анализ и синтез механических систем: Сб. научн. трудов. / Под ред. В.В. Евстифеева; Омск: Изд-во ОмГТУ, 2006. С. 135-140.

9. Косаренко, Р.И. Опыт применения полимерного композиционного материала на основе политетрафторэтилена в герметизирующих узлах ходовой части многоцелевых гусеничных и колесных машин / **Р.И. Косаренко** // Материалы III межрегиональной научно-практической конференции

«Многоцелевые гусеничные машины: разработка, производство, модернизация и эксплуатация» (Броня – 2006). Омск: Вариант, 2006. С.55-57.

10. Косаренко, Р.И. Применение полимерных композиционных материалов на основе политетрафторэтилена в герметизирующих узлах многоцелевых гусеничных и колесных машин для повышения надежности их работы / **Р.И. Косаренко** // Военная техника, вооружение и современные технологии при создании продукции военного и гражданского назначения: IV Международный технологический конгресс: В 3 ч. Ч.1 – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2007. С. 89-94.

11. Мамаев, О.А. Разработка и исследование полимерных композиционных материалов для уплотнительных элементов герметизирующих устройств транспортных машин./ О.А. Мамаев, Ю.К. Машков, Л.Ф. Калистратова, **Р.И. Косаренко** // Омский научный вестник. 2007. - № 2. С.88-93.

12. Мамаев, О.А. Разработка и оптимизация полимерных композиционных материалов и технологий для герметизирующих устройств машин и оборудования / О.А. Мамаев, **Р.И. Косаренко**, Ю.К. Машков // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2008. № 1. С.13-19.

13. Мамаев, О.А. Исследование долговечности полимерного композиционного материала и ресурса уплотнительных элементов контактных подвижных герметизирующих устройств/ О.А. Мамаев, Ю.К. Машков, **Р.И. Косаренко**, В.П. Пивоваров. //Трение и износ. 2008. -№ 2 С.169-176.

Соискатель



Р.И. Косаренко

---

Редактор А.А. Посох. Тех. редактор Г.А. Бреус. Худ. редактор О.Ю. Барелюк.

Подписано в печать 25.07.2008. Формат 60 x 84/16. Бумага офсетная.

Печать оперативная. Гарнитура Times New Roman.

Усл. печ. л. 1,18. Уч.-изд. л. 0,8 Тип. ОТИИ. Тираж 100 экз.

644098 г. Омск, 14 военный городок, ОТИИ, тел. 449-898