

## КОНСТРУКТОРСКО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛАСТОМЕРА РЕЗИНОКОРДНЫХ ОБОЛОЧЕК ДЕМПФИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Рассматриваются два основных фактора, определяющих трение между несмазанными поверхностями эластомера и твердого основания при их относительном движении. Первый фактор — адгезия в областях реального (фактического) катализа и второй фактор — деформационная составляющая, которая обусловлена запаздыванием восстановления эластомера после внедрения неровности и называется гистерезисной составляющей трения. Одной из основных проблем повышения ресурса пневмоамортизаторов является минимизация износа покровного слоя резинокордной оболочки (РКО). Изнашивание РКО связано с тем, что в процессе соприкосновения металлической поверхности и поверхности РКО происходит трение скольжения, в результате чего изнашивается покровный слой РКО (в отдельных случаях с первым слоем корда) в зависимости от химсостава резины и особенностей эксплуатации пневмоамортизатора. Для минимизации изнашивания резины предлагается изменение конструкции пневмоамортизатора, с тем чтобы в контакте поверхностей резины и металла доминировало трение качения.

**Ключевые слова:** трение, износ, резинокордные оболочки, пневмоамортизаторы, покровный слой, упругие деформации, подшипники качения.

**Введение.** Состояние поверхности твердого тела при контактном взаимодействии с поверхностью эластомера не претерпевает существенных изменений, рассматриваемых с точки зрения прогнозирования работоспособности и ресурса трибосистем. В то же время при интенсификации изнашивания из-за недостаточно глубокого исследования условий эксплуатации и некоторых неучтенных воздействий на эластомер, его состава, изменения свойств из-за температурных и других воздействий может произойти «схватывание» эластомера с металлической поверхностью, что может инициировать начало изнашивания поверхностей деталей из металла и эластомера.

В мировой практике наиболее широкое распространение получил такой известный эластомер, как резина, — материал на основе каучука с добавлением углерода, фторопласта и других ингредиентов в зависимости от условий эксплуатации технического устройства. В России изделия из резины и металла получили название «резинометаллические изделия» (РМИ), или, при более широком диапазоне применения металла, полимера и резины с различ-

ными наполнителями, — резинотехнические устройства (РТУ) и резинотехнические изделия (РТИ). Среди РМИ, РТУ и РТИ свойства резины имеют доминирующее влияние в зависимости от их функционального назначения и от требований, предъявляемых к упомянутым устройствам. Например, в случае РТИ, выполняющего функции амортизатора, «гибкость» резины, способность многократно упруго деформироваться без разрушения, являются положительными свойствами — ключевыми с точки зрения надежности и долговечности РТИ.

**Постановка задачи.** Если РТИ или РМИ являются элементами триботехнических устройств, например, выполняющие функции уплотнительных манжетов в контактном взаимодействии поверхности резины с поверхностью твердого тела, как правило, из металлов и сплавов, гибкость резины является нежелательным свойством, приводящим к интенсификации разрушения как эластомера, так и металла.

В то же время к РКО предъявляются другие требования в связи с тем, что РКО применяются, как правило, в качестве демпфирующих устройств,

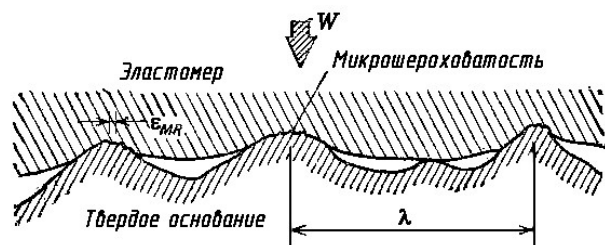


Рис. 1. Влияние макро- и микронеровностей на площадь контакта [1]

которые подвергаются циклическим знакопеременным нагрузкам. Одним из основных требований к РКО является обеспечение заданного ресурса амортизатора. В связи с этим способность РКО многократно упруго деформироваться, обладать достаточной «гибкостью» являются необходимыми свойствами при разработке и проектировании демпфирующих устройств.

В обоих случаях задача повышения ресурса технического устройства требует устранения причин, вызывающих разрушение как материалов изделия в целом, так и интенсификацию изнашивания поверхностей трения. Необходимы предварительные исследования влияния вида разрушения, температурных воздействий, свойств материалов, возможности применения тех или иных смазок, виды микрорельефа поверхностей и других свойств, способствующих как повышению, так и снижению ресурса изделия.

С целью оценивания работоспособности пневмоамортизаторов при знакопеременных перемещениях подтвердили предположения о наличии износа

покровного слоя резинокордной оболочки РКО как без разрушения корда, так и с разрушением первого слоя корда, несмотря на то, что резиновая смесь РКО модифицирована ПТФЭ (фторопластом-4).

Степень влияния ингредиентов наполнителей на износостойкость изучена достаточно глубоко в зависимости от свойств наполнителя и от прочности структуры, образуемой им с каучуком. Принято разделять наполнители на активные и инертные. Активные наполнители способствуют повышению прочности и износостойкости резины, а инертные наполнители придают резине специальные свойства, необходимые при определенных условиях эксплуатации.

Влияние микронеровностей металлической поверхности на износостойкость поверхности резины приведено в работе [1]. На рис. 1 изображено влияние макро- и микронеровностей на площадь опорной поверхности под действием приложенной силы  $W$ . При этом среднее фактическое давление  $p$  определяется по формуле (1).

$$p = \frac{A_{\text{ном.}}}{A_{\text{факт.}}} p_{\text{ном.}}, \quad (1)$$

где  $A_{\text{ном.}}$  — площадь гладких поверхностей;  $A_{\text{факт.}}$  — сумма отдельных площадей пятен касания на вершинах неровностей.

Шаг микронеровностей  $\epsilon_{MR}$  принимается равным 0,25–100 мкм, шаг макроотклонений  $\lambda$  зависит от режима обработки, а именно от величины подачи  $s$  инструмента на один оборот заготовки при токарной обработке или фрезы, шлифовального круга или иного инструмента.

Износ покровного слоя отмечен в зоне контакта его с поверхностью оси амортизатора, оче-

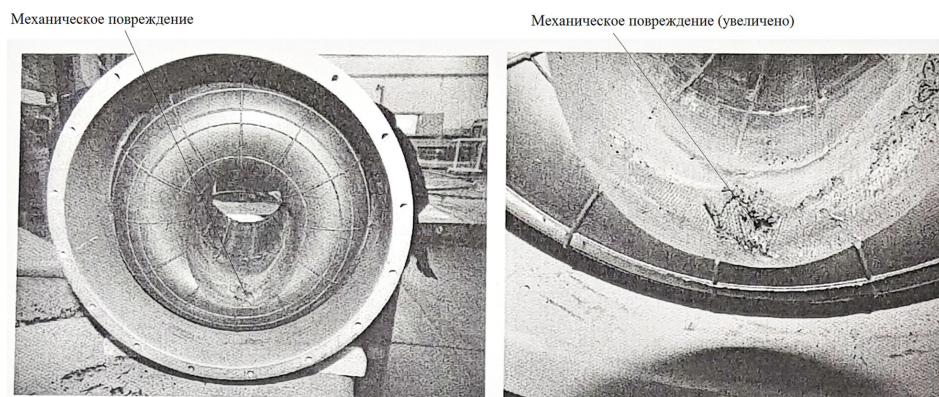


Рис. 2. Истирание покровного слоя до механического повреждения

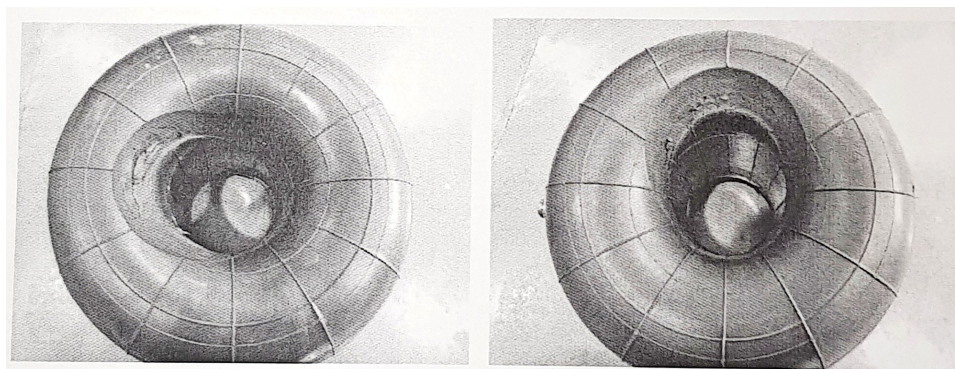


Рис. 3. Истирание покровного слоя в заданных пределах без механических повреждений

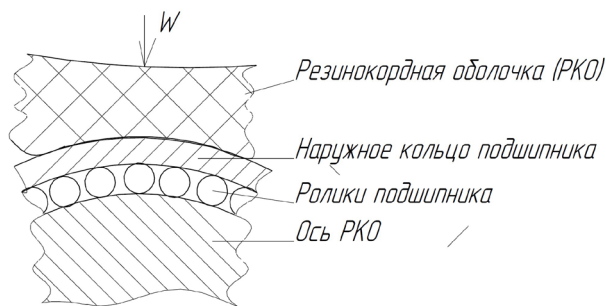


Рис. 4. Схема контактного взаимодействия оболочки амортизатора с наружным кольцом подшипника



Рис. 5. Предлагаемая конструкция оси амортизатора в сборе с подшипником

видно (рис. 2, 3) в связи с наличием трения скольжения.

Минимизировать величину износа можно изменением конструкции амортизатора, чтобы трение скольжения было заменено трением качения. Например, рисунок с игольчатым подшипником.

**Анализ результатов исследований в области увеличения ресурса РКО.** Увеличению ресурса, повышению износостойкости (покровного слоя) эластомера посвящено большое количество научных исследований, включая разработку рецептуры резиновой смеси [2], выбор ингредиентов с помощью разработанного программного обеспечения. Исходной информацией для программы является рецепт, заданный в массовых частях компонентов резиновой смеси на 100 массовых частей каучука. Разработав программное обеспечение, а именно алгоритм проведения статистической обработки результатов физико-механических испытаний резин с целью определения зависимости влияния ингредиентов на свойства резиновых смесей, появляется возможность выявления экстремальных сочетаний ингредиентов, позволяющих добиться максимальной износостойкости покровного слоя эластомера.

В работе [3] авторами предложено использовать твердую смазку, например, дисульфид молибдена  $\text{MoS}_2$  с целью повышения износостойкости покровного слоя резинокордного элемента амортизатора. К недостаткам этого метода следует отнести необходимость нанесения твердой смазки в процессе эксплуатации в связи с тем, что объемы аккумуляторов смазки ограничены несущей способностью

микрорельефа, а именно необходимостью наличия выступов малого сечения, которые могут деформироваться при увеличении нагрузки [4].

В работах [5, 6] представлены результаты исследования влияния физико-механических свойств и структуры слоистых смазок на износостойкость поверхностей пар трения. В кристаллах дисульфидов или диселенидов скольжение происходит соответственно между параллельными слоями атомов серы или селена, удаленных друг от друга на значительно большие расстояния, чем атомы серы и селена, расположенные в одной плоскости. Приведены результаты экспериментальных исследований на механизмы поворота тяжелых конструкций, эксплуатируемых при низких температурах ( $-25...50^\circ\text{C}$ ).

Использовался механизм смазочного действия ПТФЭ, по существу, такой же, как и у  $\text{MoS}_2$ , за исключением того, что ПТФЭ состоит из слоёв связанных между собой цепей, а не слоёв. Оказывается, деформирование на начальном этапе перенесенного слоя ПТФЭ на контртело весьма существенно для эффективности смазки [7, 8].

Политетрафторэтилен является высокомолекулярным соединением, его молекулы состоят из большого числа одинаковых групп атомов  $\text{CF}_2$  с химическими связями [9, 10]. Для ПТФЭ, как и для других полимеров, характерна неоднородность молекулярной массы, поскольку практически не существует полимеров, все молекулы которых имели бы строго одинаковые размеры.

Результаты опытов с полностью модифицированным покровным слоем РКО свидетельствуют о том, что этот метод также не дает ощутимых результатов.

Применение фторполимерного покрытия с нанесением его на металлоарматуру не исключает и даже не минимизирует составляющую трения скольжения, что также не уменьшает истирание покровного слоя.

Износ эластомера при скольжении по твердому основанию, как правило, оценивается тремя наиболее характерными механизмами.

1. Абразивный износ, при котором наличие острых выступов поверхности основания способствует истиранию и появлению царапин, микропорезов и отрывов скользящего эластомера.

2. Усталостный износ, когда отсутствуют острые выступы, вызывающие истирание. При этом происходит усталостное разрушение из-за многократного циклического нагружения.

3. Образование роликов на поверхности скольжения, свойственное особо эластичным материалам, с последующим отрывом роликотипных частиц.

Очевидно, наиболее «благоприятным» является усталостный износ, когда разрушение эластомера происходит в основном за счет упругих циклических деформаций. Ресурс таких амортизаторов значительно больше, чем у тех, которые подвергаются абразивному износу [1].

**Выводы и заключение.** Анализ результатов исследований в работах, проведенных с целью повышения ресурса и работоспособности РКО и РТИ, позволяет сделать вывод о том, что основной причиной истирания покровного слоя РТИ является влияние контактного взаимодействия поверхности эластомера с поверхностью твердого основания, которое не исключает скольжение между контактирующими поверхностями. На рис. 4 представлена схема контактного взаимодействия резиновой обо-

лочки амортизатора с наружным кольцом подшипника. Для того чтобы нагрузка была распределена с целью минимизации упругих деформаций наружного кольца подшипника, рекомендуется применять игольчатый роликовый подшипник, высота которого была достаточна для полного перекрытия участка оболочки, контактируемого с наружным кольцом.

Таким образом, изменяя конструкцию оси амортизатора путем приведения в соответствие диаметра оси с целью достижения возможности установки игольчатого или роликового подшипника (рис. 4, 5) на участке, контактируемом с резинокордной оболочкой, минимизируя составляющую трения скольжения и уменьшая нагрузку, в результате чего происходит упругая деформация эластомера, ресурс амортизатора может возрасти пропорционально минимизации трения скольжения.

#### Библиографический список

1. Мур Д. Ф. Основы и применения трибоники / пер. с англ. С. А. Харламова; под ред. И. В. Крагельского, Г. И. Трояновской. Москва: Мир, 1978. 487 с.
2. Матвеев Н. А., Моргунов А. П. Автоматизация расчета рецептуры резиновой смеси при помощи программного обеспечения // Омский научный вестник. 2016. № 5 (149). С. 55–58.
3. Моргунов А. П., Матвеев Н. А., Бобров С. П., Лямцев А. В. Технология повышения износостойкости в парах трения резинотехнических изделий с использованием твердых смазок // Омский научный вестник. 2017. № 5 (155). С. 25–28.
4. Мур Д. Ф. Трение и смазка эластомеров / пер. с англ. Г. И. Бродского. Москва: Химик, 1977. 262 с.
5. Моргунов А. П., Мясин В. Б., Деркач В. В., Матвеев Н. А. Исследование физико-механических свойств и структуры слоистых смазок // Динамика систем, механизмов и машин. 2016. № 1. С. 200–207.
6. Моргунов А. П., Мясин В. Б., Деркач В. В., Матвеев Н. А. Технология повышения износостойкости поверхностей деталей пар трения с использованием твердых смазок // Динамика систем, механизмов и машин. 2016. № 1. С. 208–216.
7. Гацков В. С., Гацков С. В. Антифрикционные материалы и технологии изготовления // Новые материалы, нераз-

рушающий контроль и наукоемкие технологии в машиностроении: материалы III Междунар. науч.-техн. конф., 6–9 дек., 2005 г. Тюмень: Феликс, 2005. С. 3–4. ISBN 5-91100-005-9.

8. Гацков В. С., Гацков С. В. Повышение прочности и износостойкости деталей из антифрикционных материалов // Технология 96: сб. науч. тр. Новгород, 1996. С. 70–82.

9. Машков Ю. К., Овчар З. Н., Суриков В. И., Калистратова Л. Ф. Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена. Структурная модификация: моногр. Москва: Машиностроение, 2005. 239 с. ISBN 5-217-03288-X.

10. Машков Ю. К. К проблеме повышения износостойкости несмазываемых металлополимерных пар трения. Долговечность трущихся деталей машин. Москва: Машиностроение, 1988. С. 158–176.

**ЧУРАНКИН Вячеслав Геннадьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Омского государственного технического университета (ОмГТУ).

SPIN-код: 4311-6116

AuthorID (РИНЦ): 597894

ORCID: 0000-0002-6031-1340

AuthorID (SCOPUS): 41761441400

ResearcherID: AQA-6244-2020

Адрес для переписки: vgchurankin@omgtu.ru

**ЛЯМЦЕВ Алексей Владимирович**, инженер ФНПЦ «Прогресс», г. Омск.

**ДЕРКАЧ Валерий Васильевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения», ОмГТУ.

AuthorID (РИНЦ): 310572

AuthorID (SCOPUS): 57194834776

#### Для цитирования

Чуранкин В. Г., Лямцев А. В., Деркач В. В. Конструкторско-технологическое обеспечение износостойкости поверхности эластомера резинокордных оболочек демпфирующих устройств // Омский научный вестник. 2021. № 4 (178). С. 25–28. DOI: 10.25206/1813-8225-2021-178-25-28.

Статья поступила в редакцию 24.05.2021 г.

© В. Г. Чуранкин, А. В. Лямцев, В. В. Деркач