

METHOD OF COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF WATER-SOLUBLE COOLANTS DURING IMPORT SUBSTITUTION AT STATE MILITARY ENTERPRISES

Abstract

A methodology has been proposed for a comprehensive assessment of the effectiveness of cutting fluids, including tribotechnical, physicochemical and cooling parameters. The results of the implementation of coolant at state military enterprises are presented. The results of work on import substitution of coolants at state military enterprises are shown. The results of comparative tests of imported lubricants in comparison with russian coolants from Rosoil are presented. It has been shown that Rosoil coolants are not inferior to imported analogues in terms of performance characteristics.

Keywords: lubricating and cooling fluids; metalworking; import substitution, criteria for assessing the applicability of coolant.

УДК 678.074:678.01:678.765
doi:10.18720/SPBPU/2/id24-231

Т.Е. Суханова¹, А.В. Румянцева^{1,2}, Е.Н. Ригер¹, Е.О. Котелкова¹, Е.А. Большунова¹,
А.К. Булкина¹, А.Д. Бреки³

¹ФГБУ «Ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт синтетического каучука имени академика С.В. Лебедева», Санкт-Петербург, Россия, tat_sukhanova@bk.ru

²ООО «Газпромнефть – Промышленные инновации», Санкт-Петербург, Россия

³Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ПРОПИЛЕНОКСИДНОГО КАУЧУКА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОЛЫМИ КОРУНДОВЫМИ МИКРОСФЕРАМИ

Аннотация

В работе исследовано влияние полых корундовых микросфер НСМ-40 на трибологические и физико-механические свойства модифицированных резин на основе морозостойкого пропиленоксидного каучука (СКПО). Показано, что введение микросфер улучшает деформационно-прочностные и трибологические свойства композиций, а также уменьшает изменение массы под воздействием агрессивных сред (повышает маслостойкость), при этом практически не оказывает влияния на морозостойкие свойства. Установлено, что оптимальное содержание микросфер НСМ-40 в резинах на основе СКПО составляет от 0.5 до 1 масс. ч. на 100 масс. ч. каучука.

Ключевые слова: пропиленоксидный каучук, корундовые микросферы, деформационно-прочностные и трибологические свойства, маслостойкость, морозостойкость.

Введение

В настоящее время пропиленоксидный каучук (СКПО) является одним из

наиболее морозостойких каучуков на мировом рынке. Для успешного использования в условиях Арктики и Крайнего Севера важной характеристикой помимо морозостойкости является также высокий уровень эксплуатационных свойств, в том числе, высокая износостойкость и низкий коэффициент трения резин. Для этой цели в резиновые смеси вводят разные антифрикционные добавки и специальные наполнители [1].

Из литературных данных известно, что введение полых микросфер оксида алюминия (корундовых микросфер) различных размеров в количестве от 1 до 15 масс. ч. приводит к повышению износостойкости и значительному снижению коэффициента трения целого ряда эластомерных композиций, например, на основе бутадиен-нитрильного, изопренового и бутадиен-альфа-метилстирольного каучуков [2], композиционных материалов на основе перфторированного каучука «Неофтон-Н» [3], бутадиен-нитрильного каучука, используемого в маслостойких резинах специального назначения [4-5], эластомерных композиций на основе комбинации хлоропренового и бутадиен-нитрильного каучуков [6], резиновых смесей, предназначенных для компрессионного формования и литья под давлением, а также протекторных резин грузовых шин [7], подошвенной обувной резины [8], и т.п. Полые микросферы оксида алюминия применяются, как правило, для увеличения объема и снижения веса полимерных материалов. За счет правильной сферической формы они незначительно повышают вязкость по сравнению с другими дисперсными наполнителями, а за счет пустотности повышают также теплоизоляционные свойства. Сферическая форма, контролируемые размеры и низкая плотность делают их незаменимыми компонентами резиновых смесей, позволяющими повысить стойкость резин к истиранию и сопротивлению раздиру [9].

Однако, в большинстве работ было показано, что при введении полых микросфер в резиновые смеси, могут снижаться прочностные характеристики и относительное удлинение при разрыве, а в некоторых случаях происходит также повышение твердости и значений остаточной деформации после сжатия (ОДС) модифицированных резин, то есть, происходит ухудшение комплекса эксплуатационных характеристик резиновых смесей.

Целью нашей работы было исследование влияния введения полых корундовых микросфер марки НСМ-40 в резины на основе СКПО на их трибологические и физико-механические свойства, а также агрессивностойкость (маслостойкость и морозостойкость) при невысоких степенях наполнения (0.5-2 масс. ч. наполнителя на 100 масс. ч. каучука).

Материалы и методы

В работе использовали каучук СКПО производства ОАО «Синтез-Каучук», г. Стерлитамак (ТУ 2294-067-16810126-2003). В качестве наполнителя, способного улучшить износостойкость резин на основе СКПО, были выбраны полые корундовые микросферы (Hollow Corundum Microspheres, НСМ-40) со средним диаметром 40 мкм (ООО «Кит-Строй СПб», Россия). Содержание микросфер в резиновых смесях составляло 0, 0.5, 1.0 и 2.0 масс. ч. на 100 масс. ч. каучука.

Резиновые смеси готовили по стандартной рецептуре [10] в резиномесителе, вулканизацию проводили в гидравлическом паровом прессе в соответствии с ГОСТ Р 54547-2011. Для полученных смесей определяли вулканизационные характеристики на безроторном реометре MDR-2000 фирмы «AlphaTechnologies» по

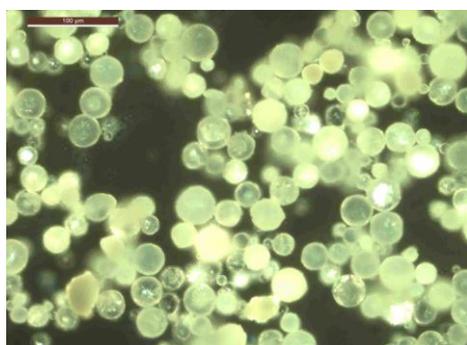
ГОСТ Р 54547-2011.

Морфологические исследования проводили на оптическом микроскопе Leica DM-2500 в режиме «живое видео» в диапазоне длин волн 200–1200 нм. Физико-механические испытания проводили на пластинах толщиной 2 мм при температуре 23°C по ГОСТ 270-75. Твердость по Шору А определяли согласно ГОСТ 263-75. Остаточную деформацию после сжатия (ОДС) на 20% при 150°C в течение 72 часов определяли согласно ГОСТ Р ИСО 815-1—2017. Определение стойкости к агрессивным средам – маслостойкость, определяли по изменению массы образцов после набухания в индустриальном масле АМГ-10 в соответствии с ГОСТ 9.030-74 (метод А). Плотность резин определяли гидростатическим методом по ГОСТ 267-73. Трибологические испытания проводили на машине трения МТБМ [11], определяли значения средних сил трения и износа образцов модифицированных резин.

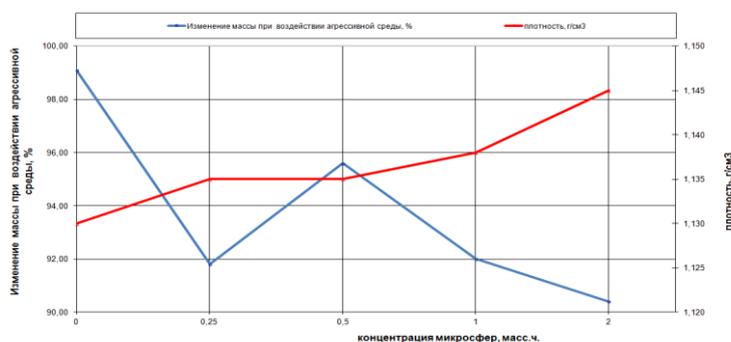
Результаты и обсуждение

На рисунке 1(а) приведена оптическая микрофотография полых корундовых микросфер НСМ-40, использованных для модификации резиновых смесей на основе СКПО. Видно, что размеры микросфер находятся в диапазоне от 7 до 42 мкм.

Измерения макроскопической плотности образцов показали монотонное увеличение плотности модифицированных резин на основе СКПО в зависимости от содержания микросфер (рис. 1б, красная кривая) и немонотонное поведение кривой зависимости изменения массы при воздействии масла АМГ-10 (рис. 1б, синяя кривая). Монотонное увеличение плотности резин, содержащих микросферы может быть вызвано частичным структурированием полимерной матрицы вблизи поверхности микросфер.



а)



б)

Рисунок 1 – Микрофотография корундовых микросфер НСМ-40 в поляризованном свете, масштаб: 100 мкм (а); графики зависимости набухания образцов в масле АМГ-10 (70°C в течение 72 ч.) и плотности от содержания микросфер НСМ-40 (б).

Результаты определения физико-механических характеристик, твердости и ОДС, коэффициентов морозостойкости по эластическому восстановлению и стойкости в масле исследованных образцов резин приведены в таблице 1.

Анализ полученных результатов, показывает, что введение небольшого количества микросфер (0.5 – 1.0 масс. ч.) приводит к резкому увеличению прочности при разрушении (до 40%) и относительного удлинения (на 120%), (таблица 1, рис. 2). При этом модуль упругости, твердость и ОДС остаются на прежнем уровне. Для такого же содержания микросфер наблюдается также небольшое увеличение коэффициента морозостойкости по эластическому восстановлению – от 0.54 до 0.60 при -60 °С.

Таблица 1 – Физико-механические свойства, ОДС и коэффициенты морозостойкости модифицированных резин на основе СКПО.

Образцы	№1	№2	№3	№4
Микросферы НСМ-40, масс.ч.	0	0.5	1	2
После вулканизации (150°Сx40мин)				
Прочность при разрушении, МПа	14,5	20,3	20,4	17,6
Относительное удлинение, %	710	794	834	770
Модуль упругости, МПа	2,1	2,2	2,2	2
Твердость	50	48	50	47
ОДС (20% 100°Сx24 часа), %	57	57	58	60
Коэффициент морозостойкости по эластическому восстановлению				
при -35 °С	0,89	0,90	0,91	0,89
при -50 °С	0,78	0,76	0,80	0,80
при -60 °С	0,54	0,59	0,60	0,42
Стойкость в масле (100°С x 72 часа)				
Изменение массы при воздействии агрессивной среды, %	99,1	95,6	92,0	90,4

Следует отметить, что дальнейшее увеличение количества корундовых микросфер от 1 масс. ч. до 2 масс. ч. приводит к некоторому снижению прочности при разрушении и относительного удлинения в сравнении со значениями этих характеристик при меньшем содержании микросфер (таблица 1, рис. 2).

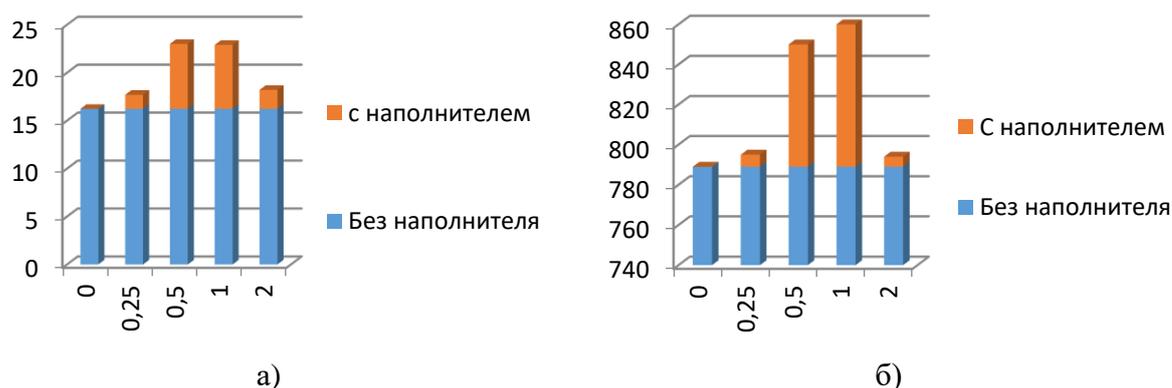


Рисунок 2 – Гистограммы зависимости условной прочности от содержания микросфер НСМ-40 (а), и относительного удлинения при разрыве от содержания микросфер НСМ-40 (б).

Уставлено, что физико-механические показатели возрастают при введении микросфер НСМ-40 в небольших количествах (менее 2 масс. ч.), при этом максимальное увеличение свойств наблюдается при добавлении 0.5-1 масс. ч. (рис. 2 а,б).

Трибологические испытания проводили на машине трения МТБМ [11-15] (рис. 3) при нагрузке 1,24 кГс, скорости скольжения 0,125мм/с, по схеме «плоскость - плоскость», верхний неподвижный образец – цилиндр диаметром 4 мм и высотой 9 мм, нижний подвижный образец – испытуемый материал.

Сравнение ориентировочных значений средних сил трения приведено на рисунке 4.

Испытания на износ (внедрение) проводили при условиях - нагрузка 0,18 кГс, скорость скольжения 0,125мм/с, схема «индентор - плоскость» верхний неподвижный образец – лезвие канцелярского ножа (перпендикулярно к плоскости испытуемого образца). Сравнение ориентировочных значений износа приведено на рисунке 5.

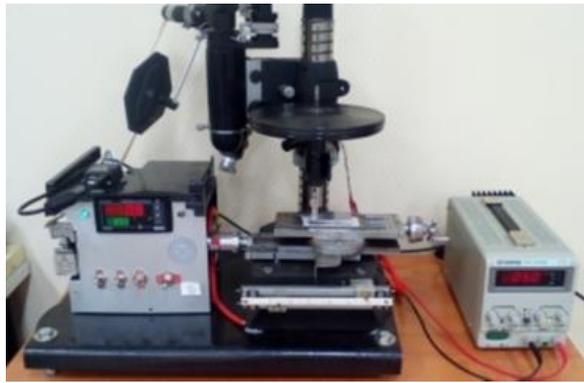


Рисунок 3 – Машина трения МТБМ.

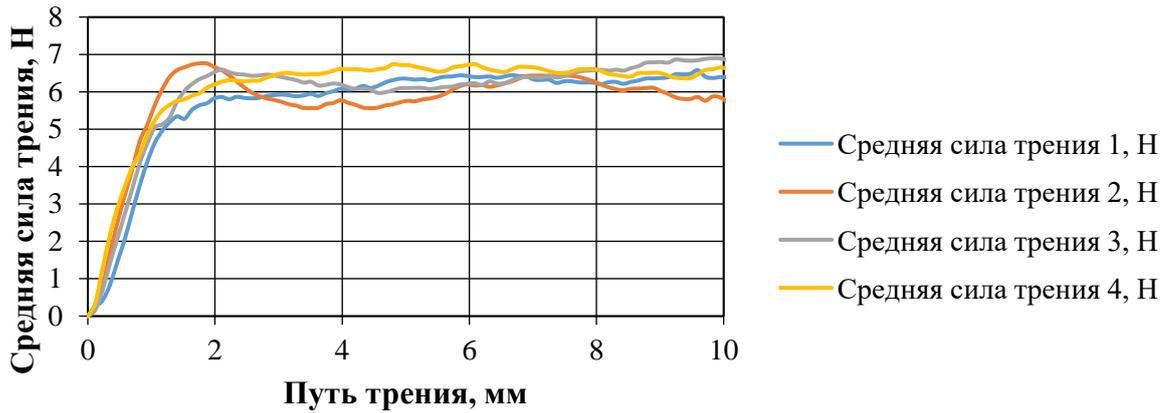


Рисунок 4 – Ориентировочные значений средних сил трения образцов.

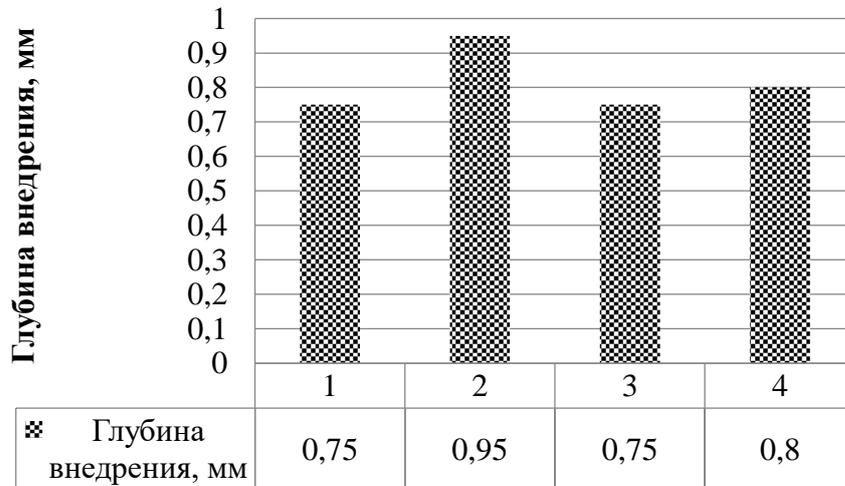


Рисунок 5 – Гистограмма значений износа образцов резин.

В процессе совместного анализа экспериментальных данных установлено, что наблюдается умеренная корреляционная связь глубины внедрения с прочностью при разрушении резин (коэффициент корреляции Пирсона 0,49). Наблюдаются слабые корреляционные связи глубины внедрения с другими физико-механическими свойствами резин, тем не менее, следует отметить, что при содержании 0.5 масс. ч. микросфер в композиции глубина внедрения возрастает от 0.75 мм (для контрольного образца) до 0.95 мм, что коррелирует с возрастанием эластичности композиции этого состава (Рис. 2, Таблица 1).

Сила внешнего трения при используемом комплексе условий триботехнических испытаний слабо зависит от концентрации микросфер НСМ-40, поэтому для неё корреляционный анализ не проводился.

Заключение

Исследованные в данной работе модифицированные композиции на основе СКПО, содержащие от 0.5 до 1 масс. ч. полых корундовых микросфер НСМ-40 на 100 масс. ч. каучука, имеют улучшенные деформационно-прочностные свойства - увеличивается прочность при разрушении (на 40%) и относительное удлинение при разрыве (на 120%), и повышенную маслостойкость по сравнению с ненаполненной резиной, при этом модуль упругости, твердость, ОДС и коэффициент морозостойкости наполненных композиций практически не изменяются. Также обнаружено, что введение микросфер НСМ-40 в небольших количествах (от 0.5 до 2 масс. ч.) не оказывает влияния на вулканизационные характеристики резиновых смесей.

Повышение содержания вводимых корундовых микросфер от 1 масс. ч. до 2 масс. ч. приводит к некоторому снижению как прочности при разрушении, так и относительного удлинения, в сравнении со значениями этих характеристик при меньшем содержании микросфер. Трибологические испытания модифицированных композиций на основе СКПО при оптимальном содержании микросфер (0.5 масс. ч. полых корундовых микросфер НСМ-40 на 100 масс. ч. каучука) показали увеличение глубины внедрения индентора в композицию этого состава, что можно объяснить возрастанием значений разрывного удлинения образца.

Таким образом, показано, что корундовые микросферы являются перспективным компонентом для создания эластомерных материалов на основе каучуков различного назначения. При относительно малом содержании микросфер (менее 2 масс. ч.) происходит увеличение условной прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве, при этом параметры масло- и морозостойкости модифицированных резин СКПО практически не изменяются.

Благодарности

Исследование выполнено за счет собственных средств ФГБУ НИИСК, НИР № 5-14 «Разработка морозостойких композиций на основе каучуков общего назначения с повышенной износостойкостью».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дик, Дж.С. Как улучшить резиновые смеси. 1800 Практических рекомендаций для решения проблем. СПб: ЦОП «Профессия», 2016. - 352 с.
2. Ушмарин, Н.Ф. Влияние микросфер на свойства агрессивостойких резин / Е.Н. Егоров, Н.И. Кольцов // Известия высших учебных заведений. Серия «Химия и химическая технология». - 2021. - Т. 64. № 2. С. 49-55.
3. Цыпкина, И.М. Влияние оксидов алюминия ALU C И НСМ-40 и оксида иттрия Y2O3 на свойства композиционных материалов на основе перфторированного каучука «Неофтон-Н» / М.А. Волкова, Н.В. Лебедев, Т.А. Надервель // Каучук и резина. - 2021. - Т. 80. - № 3. - С. 124-128.
4. Седых, В.А. Модификация бутадиен-нитрильного каучука на стадии его выделения / О.В. Карманова, Е.В. Королева // Вестник ВГУИТ. - 2018. - Т. 80. - №. 3. - С. 323-329.
5. Шадрин, Н.В. Исследование механических свойств и механизма разрушения бутадиен-нитрильной резины, наполненной полыми корундовыми микросферами / У.В. Евсеева // Вопросы материаловедения. - 2018. - № 2. - С. 135-147.
6. Целых, Е.П., Свойства эластомерных композиций, модифицированных полыми корундовыми микросферами оксида алюминия / С.Я. Ходакова, В.И. Малютин, Н.А. Третьякова / Промышленное производство и использование эластомеров. - 2017. - № 1. - С.

37-40.

7. Титова, Т.А. Исследование влияния полых корундовых микросфер на свойства протекторных резин грузовых шин / А.Е. Золкина, А.М. Пичугин, А.М. Кудряш // Тез. докл. XXII Междунар. научно-практ. конф. "Резиновая промышленность. Сырье, материалы, технологии". - Москва. - 2017. - С. 122-124.

8. Ушмарин, Н.Ф. Влияние полых корундовых микросфер на свойства подошвенной обувной резины / Д.В. Пелипенко, С.И. Сандалов, Е.Н. Егоров, Н.И. Кольцов // Тез. докл. XXI Междунар. научно-практ. конф. "Резиновая промышленность. Сырье, материалы, технологии". - Москва. - 2016. - С. 84.

9. Каблов, В.Ф. Физико-механические, теплофизические и огнезащитные свойства эластомерных композиций на основе этиленпропиленового каучука, наполненных полыми алюмосиликатными микросферами / О.М. Новопольцева, В.Г. Кочетков, В.В. Пудовкин // Журнал прикладной химии. - 2017. - Т. 90. - № 2. - С. 236-240.

10. Резниченко, С.В. Большой справочник резинщика. Резины и резинотехнические изделия. / Морозов Ю.Л. - Москва: ООО «Издательский центр «Техинформ» МАИ», - 2012. - Т. 2. - С.125-129.

11. Бреки, А.Д. Триботехнические характеристики материалов пар трения и смазочных сред в условиях самопроизвольных изменений состояний фрикционного контакта: специальность 05.02.04 "Трение и износ в машинах": диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Бреки Александр Джалюльевич. - 2022. - С.378.

12. Tolochko, O. V. Friction and Wear of Polyetheretherketone Samples With Different Melt Flow Indices / I. A. Kobychno, A. D. Breki et al. // Journal of Tribology. - 2022. - V. 144, №. 6. - P. 061705.

13. Бреки, А.Д. Эмпирическая математическая модель динамики изменения силы трения при реверсивном движении шара по плоскости / А.О. Поздняков, О.В. Панченко и др. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2022. - № 12. - С. 296-301.

14. Бреки, А.Д. Обобщённая математическая модель динамики изменения силы трения при покое и начале скольжения / С.Е. Александров, А. С. Биль и др. // Чебышевский сборник. - 2022. - Т. 23. - № 2. - С. 179-190.

15. Breki, A. Friction and adhesion of Johansson gauge blocks / A. Breki, M. Nosonovsky // Surface Innovations. - 2022. - V. 12, - № 1-2. - P. 18-22.

T.E. Sukhanova¹, A.V. Rummyantseva^{1,2}, E.N. Riger¹, E.O. Kotelkova¹, E.A. Bol'shunova¹, A.K. Bulkina¹, A.D. Breki³
1S.V. Lebedev Institute of Synthetic Rubber, St.-Petersburg, Russia,
tat_sukhanova@bk.ru
2LLC Gazpromneft - Industrial Innovations, St.-Petersburg, Russia
3Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St.-Petersburg, Russia

TRIBOLOGICAL AND PHYSICAL-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF COMPOSITIONS BASED ON PROPYLENE OXIDE RUBBER MODIFIED WITH HOLLOW CORUNDUM MICROSPHERES

Abstract

In the work, we investigated the effect of hollow corundum microspheres HCM-40 on the tribological and physical-mechanical properties of modified rubbers based on frost-resistant propylene oxide rubber (GPO). It has been shown that the introduction of microspheres improves the deformation-strength and tribological properties of the compositions, and also reduces the change in mass under the influence of aggressive environments (increases oil resistance), without affecting the frost-resistant properties. It

has been established that the optimal content of HCM-40 microspheres in rubbers based on SKPO is from 0.5 to 1 mass. parts per 100 mass. parts of rubber.

Keywords: propylene oxide rubber, corundum microspheres, deformation-strength and tribological properties, oil resistance, frost resistance.

УДК 621.3

doi:10.18720/SPBPU/2/id24-232

М.В. Прожега¹, Е.О. Константинов¹, Н.Н. Смирнов¹, В.В. Коровушкин¹,
Д.И. Попорецкий^{1,2}, Д.Ю. Глядяев³, О.С. Матина³, Н.В. Шевченко⁴

¹Институт машиноведения им. А. А. Благонравова Российской академии наук, Москва, Россия, maksim.prozhega@yandex.ru

²Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

³25-й Государственный научно-исследовательский институт химмотологии Министерства обороны Российской Федерации, Москва, Россия

⁴АО «Петровский научный центр «ФУГАС», Москва, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА ТРЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ НА ПОВЕДЕНИЕ ПРОТИВОИЗНОСНЫХ ПРИСАДОК

Аннотация

В данной работе исследовано влияние вида трения движения (скольжение/качение) на поведение противоизносных присадок литиевой пластичной смазки. Проведены испытания пластичного смазочного материала на износ в условиях трения скольжения (четырёхшариковая машина трения) и в составе подшипника качения. Для оценки износа подшипника качения разработана методика, позволяющая с высокой точностью оценить износ колец.

Приведен анализ результатов испытаний опытных образцов смазок и влияния смазочного материала на подшипник качения.

Ключевые слова: пластичные смазочные материалы, противоизносные добавки, смазывающие свойства, трение качения, трение скольжения, наноалмазы.

Введение

В связи с необходимостью уменьшения потерь энергии на трение был разработан и применяется широкий ассортимент антифрикционных и противоизносных добавок, включающий: дисульфид молибдена, наноалмазы, тальк, графит, металлические порошки алюминия, меди, свинца, олова, их оксиды и соли и др. [1]. Перечисленные добавки могут содержать соединения активных элементов, которые образуют защитные слои на трущихся поверхностях металлов, что приводит к снижению возникающих потерь на трение и уменьшению износа [2]. Одним из перспективных направлений улучшения смазывающих свойств пластичных смазочных материалов (далее ПСМ) является применение наноразмерных добавок [2-5]. Особое внимание уделяется изучению детонационных наноалмазов (ДНА), используемых в качестве противоизносной добавки к смазочным материалам [6]. Исследования противоизносных свойств масла И-20А [7] показали существенное снижение износа при трении по схеме «диск-контртело» при введении 0,01 % масс. ДНА в масло, а также восстановление линейных размеров