

ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПРИСАДОК К МАСЛАМ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ТРАНСПОРТА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Воронин С.В.¹, Грунык И.С.²

¹Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, Украина (61050, г. Харьков, пл. Фейербаха, 7), e-mail: voronin.sergey@inbox.ru

²ОП «Ровенская дирекция железнодорожных перевозок» ГТОО «Львовская железная дорога», Ровно, Украина (33028, г. Ровно, ул. 16 Июля, 17), e-mail: rdzp3lv@gmail.com

Проведено исследование по влиянию внешнего электрического поля на антифрикционные свойства присадки – стеариновой кислоты в осевом масле. На основе физических представлений о молекулярных взаимодействиях присадки в неполярном углеводородном растворителе (базовом масле) разработана схема преобразования мицеллярных агрегатов присадки в зародыши нематического жидкого кристалла под воздействием внешнего электрического поля. Получаемые во внешнем поле агрегаты обладают повышенной поверхностной активностью, как следствие, формируют на поверхностях трения граничный слой с улучшенными антифрикционными свойствами. Экспериментальным путем установлено снижение момента трения в исследуемой паре (стальной ролик – латунная колодка с баббитовой наплавкой) в зависимости от напряженности внешнего поля и концентрации присадки в масле. Результаты экспериментальных исследований подтверждают возможность применения способа электростатической обработки в системах смазки подшипников скольжения транспортных средств. Применение предлагаемого способа при смазке моторно-осевых подшипников локомотива снижает потери на трение в них более чем в два раза.

Ключевые слова: присадка, масло, мицелла, электрическое поле, жидкий кристалл, антифрикционные свойства.

RESEARCH OF ANTI-FRICTION PROPERTIES OF OIL ADDITIVES FOR TECHNICAL SYSTEMS OF TRANSPORT UNDER THE INFLUENCE OF AN ELECTRIC FIELD

Voronin S.V.¹, Grunyk I.S.²

¹Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkov, Ukraine (61050, Kharkov, Feuerbach square, 7), e-mail: voronin.sergey@inbox.ru

²Rivne management of railway traffic on Lviv railway, Rivne, Ukraine (33028, Rivne, street 16 July, 17), e-mail: rdzp3lv@gmail.com

The research on the influence external electric field on the anti-friction properties of the additive - stearic acid in axle oils. Based on the physical understanding of the molecular interactions of the additive in a non-polar hydrocarbon solvent (base oil), developed a scheme for the transformation of micellar aggregates in the germs of a nematic liquid crystal under the influence of an external electric field. The resulting external field aggregates have high surface activity, as a consequence, the friction surfaces of formed on the boundary layer with improved antifrictional properties. It was established experimentally reducing the frictional moment in the test pair (steel roller - brass block prepared with babbitt overlaying welding) depending on the strength of the external field and the concentration of the additive in the oil. The experimental results confirm the possibility of applying the method of electrostatic processing on lubricating the slide bearings vehicles. Application of the method for motor-axle bearings of locomotives reduces the friction losses are more than twice.

Key words: additive, oil, micelle, electric field, liquid crystal, antifriction properties.

Введение

В настоящее время практически все масла для технических систем транспорта содержат функциональные присадки. Исключение составляет лишь группа промышленных масел для малонагруженных гидроприводов, а также осевые масла для смазки моторно-осевых подшипников (МОП) локомотивов, но и в эти масла сегодня предлагают вводить противоизносные присадки [3]. Несомненно, что добавленная присадка в масло улучшает его

смазывающие свойства, однако в каждом конкретном случае открытым остается вопрос обоснования рациональной концентрации присадки, при которой достигается минимум коэффициента трения и износа деталей. Согласно исследованиям в области трибологии, с ростом концентрации присадки, на первоначальном этапе, коэффициент трения падает, но при некотором значении (например, для жирных кислот $\approx 0,1\%$ по объему) такое падение прекращается, а при дальнейшем повышении концентрации коэффициент трения растет [7]. Нетрудно предположить, что темп изменения износа деталей будет протекать по аналогичной закономерности, а значит добиться минимума износа в технических системах простым увеличением количества присадки в масле не представляется возможным. Какова же причина появления описанной закономерности? Ответ на этот вопрос кроется в природе молекул присадки и их групповом поведении в растворе. Каждая присадка представляет собой маслорастворимое поверхностно-активное вещество (ПАВ), молекулы которого обладают постоянным электрическим дипольным моментом. Такие полярные молекулы, даже при малых концентрациях, не создают истинных растворов в углеводородах, а формируют в них коллоидные агрегаты – димеры, мицеллы и т.д. Наиболее типичными представителями молекулярных агрегатов присадки являются обратные мицеллы [5; 6], они обладают низкой поверхностной активностью вследствие компенсации свободной энергии молекул ПАВ при их диполь-дипольном взаимодействии внутри агрегата. Как следствие, адсорбционная способность присадки снижается, что ухудшает трибологические характеристики узлов трения.

Цель исследования

Изучение возможности усиления антифрикционных свойств присадок к маслам путем изменения структуры молекулярных агрегатов присадки во внешнем электрическом поле.

Материалы и методы исследования

В качестве исследуемой присадки использовалась стеариновая кислота по ГОСТ 6484-96, базовое масло – осевое масло марки Л по ГОСТ 610-72. Материалы для образцов пары трения выбирались в соответствии с материалами МОП локомотива ВЛ11М: ось изготавливалась из стали ОСЛ по ГОСТ 4728-2010; вкладыш толстостенный латунный ЛЦ14КЗКЗ с баббитовой наплавкой Б16 по ГОСТ 1320-74 толщиной 3 мм (рис. 1а).

Исследования проводились на машине трения СМЦ-2, которая оснащена цифровым измерителем момента трения и частотным регулятором частоты вращения вала двигателя. Антифрикционные свойства присадки определялись по величине момента сил трения в паре стальной ролик – латунное кольцо с баббитовой наплавкой. В исследовании устанавливалось влияние напряженности внешнего электростатического поля и концентрации присадки в масле на момент сил трения. Обработка масла электростатическим полем производилась в

специальном устройстве с коаксиальным расположением электродов (рис. 1б), изготовленном согласно рекомендациям работы [4]. Для формирования потока масла через устройство использовалась насосная станция (рис. 1б).

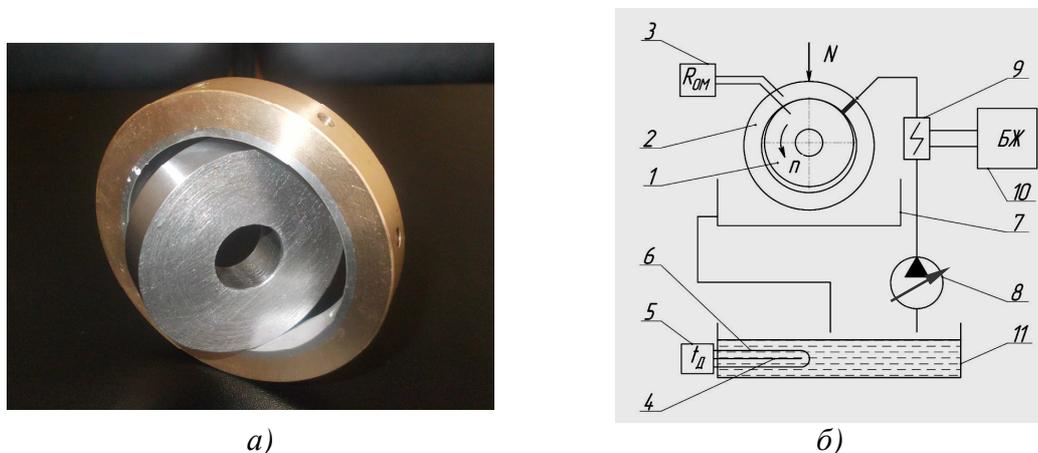


Рис. 1. Исследуемая пара трения – а) и схема подачи масла в пару трения – б): 1 – ролик; 2 – кольцо; 3 – омметр; 4 – термодатчик; 5 – терморегулятор; 6 – нагревательный элемент; 7 – промежуточная емкость; 8 – масляный насос; 9 – устройство для электростатической обработки масла; 10 – блок питания; 11 – масляный бак

Физические предпосылки к проведению исследований

Поскольку силы связей молекул ПАВ в мицелле имеют электрическую природу, то целесообразно, с точки зрения изменения ее строения, воспользоваться внешним полем той же природы. Согласно классической электростатике, при наложении на полярный диэлектрик внешнего электрического поля его молекулы стремятся повернуться по вектору этого поля, при этом потенциальная энергия молекулы

$$W = -p E_{BH} \cos(\Theta), \quad (1)$$

где p – электрический дипольный момент молекулы, Клм; E_{BH} – напряженность внешнего электрического поля, В/м; Θ – угол между длинной осью молекулы и направлением вектора внешнего поля.

Ориентирующее действие электрического поля в данном случае может быть оценено путем сопоставления потенциальной энергии молекулы W с энергией ее тепловых колебаний W_T , препятствующих повороту диполей. Поворот всех диполей по вектору поля произойдет при выполнении условия

$$\frac{W}{W_T} = \frac{pE}{kT} \geq 1, \quad (2)$$

где k – постоянная Больцмана, Дж/К; T – температура.

Расчеты, проведенные из условия (2), показывают, что при $p = 10^{-29}$ Клм при температурах 300–400 К требуется наложить на полярный диэлектрик поле напряженностью, близкой к 10^8 В/м.

При электростатической обработке масел, содержащих присадку, наложить такое сильное поле на объем масла не представляется возможным, поскольку уже при напряженностях, близких к 10^7 В/м, наблюдается электрический пробой [2], что отрицательно сказывается на смазывающих свойствах. Однако ранее проведенными исследованиями установлено, что уже при напряженностях поля порядка 10^6 В/м агрегаты присадки меняют свою структуру [4], при этом улучшаются их антифрикционные и противоизносные свойства.

Следовательно, ориентирующее действие электрического поля, оказываемое на агрегаты присадки – мицеллы, более сильное по сравнению с действием на один диполь. Это подтверждается работами по физике жидких кристаллов [1], в которых установлена квадратичная зависимость поляризации жидкого кристалла, состоящего из полярных молекул, от напряженности электрического поля. Если допустить, что мицелла представляет собой зародыш лиотропного жидкого кристалла в масле, тогда условие (2) можно записать в виде

$$\frac{a p E^2}{k T} \geq 1, \quad (3)$$

где a – размерный коэффициент, м/В.

Условие (3) отражает одно из главных свойств жидких кристаллов, а именно их высокую чувствительность к внешним электрическим полям. Таким образом, при наложении на объем масла с присадкой внешнего поля с напряженностью меньшей напряженности пробоя, мицеллы могут перестраиваться в группы с высокой степенью упорядоченности в направлении внешнего поля (рис. 2).

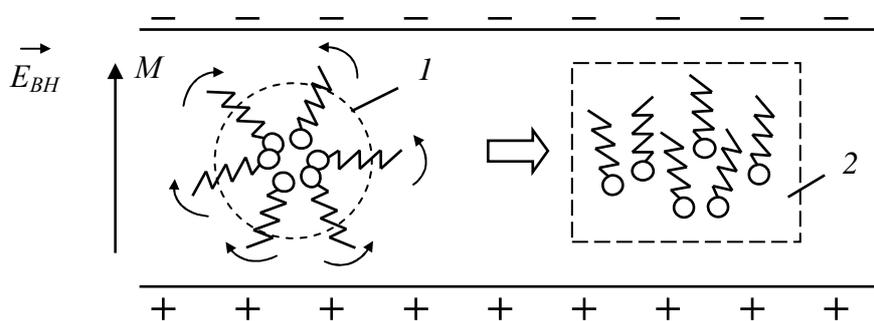


Рис. 2. Схема преобразования мицеллы во внешнем поле: 1 – мицелла; 2 – зародыш нематика

Такие группы молекул по своей структуре близки к нематическим жидким кристаллам. При малом размере (количество молекул ≈ 1000 шт.) они обладают высокой свободной энергией и более интенсивно взаимодействуют с поверхностью трения. Как следствие, на

поверхностях трения ожидается рост граничного смазочного слоя кристаллического строения, который обладает повышенной толщиной, несущей способностью и малым коэффициентом трения, поскольку сила тангенциального сдвига в паре трения определяется силами сдвига, возникающими между слоями жидкокристаллических фаз.

Результаты исследований и их обсуждение

В проведенных исследованиях установлено влияние напряженности внешнего электрического поля и концентрации присадки на ее антифрикционные свойства (рис. 3).

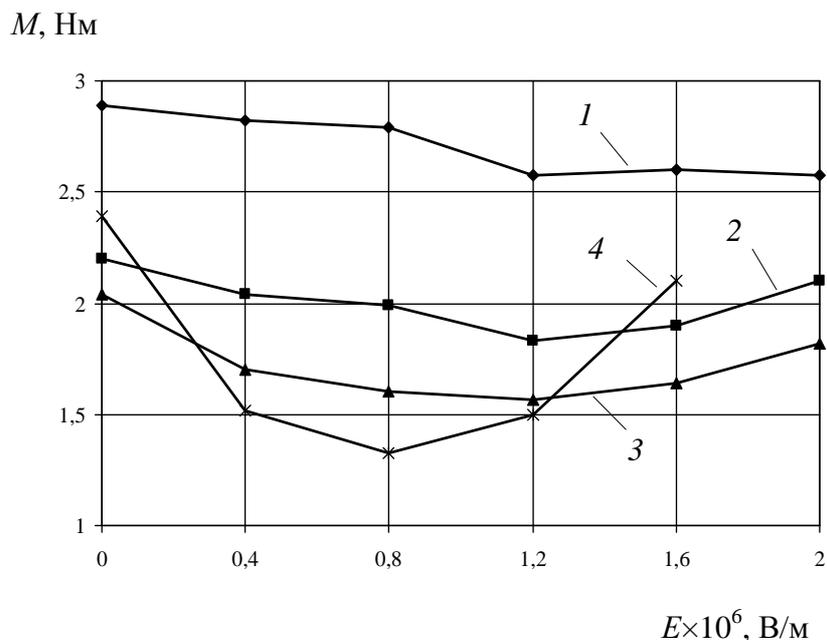


Рис. 3. Изменение момента трения в исследуемой паре: 1 – масло без присадки; 2 – с присадкой 0,1%; 3 – с присадкой 0,2%; 4 – с присадкой 0,3%.

Результаты исследований подтверждают возможность усиления антифрикционных свойств присадок при воздействии на них внешним электрическим полем. С ростом напряженности поля, при использовании масла без присадки, момент трения падает на 10% (кривая 1). Влияние поля на масло, не содержащее присадки, по всей видимости, объясняется присутствием природных ПАВ. При добавлении присадки момент трения снижается более существенно, даже без электрического поля. При значении напряженности внешнего поля $0,8 \cdot 10^6$ В/м максимальное снижение момента трения наблюдается при концентрации присадки 0,3% (кривая 4), однако дальнейшее увеличение напряженности приводит к росту момента трения, а при значении $1,6 \cdot 10^6$ В/м имеет место электрический пробой. При меньших значениях концентрации присадки (кривые 2 и 3) минимум момента трения сдвигается в сторону больших значений напряженности поля, а электрический пробой не наблюдается в исследуемом диапазоне.

В целом наложение электрического поля на масло, содержащее присадку, положительно сказывается на процессе трения исследуемой пары. Применительно к подшипникам скольжения, например МОП локомотивов, использование электрической обработки осевого масла с присадкой позволяет снизить потери на трение более чем в 2 раза.

Выводы

1. Молекулы присадок в маслах для технических систем транспорта находятся преимущественно в агрегированном состоянии, что препятствует формированию на поверхностях трения граничного смазочного слоя с высокими антифрикционными свойствами.

2. Одним из эффективных способов усиления антифрикционных свойств присадок является обработка внешним электрическим полем. При такой обработке агрегаты присадки претерпевают фазовые превращения, подобные превращениям в жидких кристаллах, что способствует повышению поверхностной активности присадки.

3. При влиянии электрического поля на осевое масло, содержащее в качестве присадки стеариновую кислоту, максимальное снижение момента трения (в 2 и более раза) в узлах технических систем транспорта достигается при концентрации присадки 0,3% и напряженности поля $0,8 \cdot 10^6$ В/м.

Список литературы

1. Адамчик А., Стругальский З. Жидкие кристаллы / пер. с польск.; под ред. И.Г. Чистякова. – М. : Сов. Радио, 1979. – 160 с.

2. Адамчевский И. Электрическая проводимость жидких диэлектриков. – Л. : Энергия, 1972. – 291 с.

3. Венцель Е.С., Ковальчук Ю.Л. Антифрикционные и противоизносные свойства осевого масла с присадкой Infineum C9425 [Электронный ресурс]. – URL: http://www.rusnauka.com/NTIP_2006/Tecnic/4_vencel_.doc.htm.

4. Лысиков Е.Н., Косолапов В.Б., Воронин С.В. Надмолекулярные структуры жидких смазочных сред и их влияние на износ технических систем. – Харьков : ЭДЭНА, 2009. – 274 с.

5. Мицеллообразование, солюбизация и микроэмульсии / под ред. К.Л. Миттела. – М. : Мир, 1980. – 597 с.

6. Русанов А.И. Мицеллообразование в растворах поверхностно-активных веществ. – СПб. : Химия, 1992. – 279 с.

7. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / под ред. А.В. Чичинадзе. – М. : Машиностроение, 2003. – 576 с.

Рецензенты:

Доля Виктор Константинович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой транспортных систем и логистики Харьковского национального университета городского хозяйства им. Н.О. Бекетова Министерства образования и науки Украины, г. Харьков.

Самородов Вадим Борисович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автомобиле- и тракторостроения Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» Министерства образования и науки Украины, г. Харьков.