

УДК 621.3.049, 621.432.3

С.М. ГАЙДАР¹, А.Г. ЧУМАКОВ²¹Центральный НИИ радиоэлектронных систем, Москва, Россия²ФГУП «Московское машиностроительное производственное предприятие «САЛЮТ», Москва, Россия

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ

Проведен анализ понятий: нанотехнологии, наносистемы и наночастицы. Показана возможность использования наноматериалов для значительного уменьшения силы трения и степени износа поверхностей контакта узлов трения в двигателях и механизмах. Охарактеризованы причины недостаточной эффективности традиционных смазочных материалов. Проведены исследования и подтверждена возможность использования фторсодержащих поверхностно-активных веществ (ПАВ) в качестве антифрикционных и противозносных наноматериалов. Нанесение фторсодержащих ПАВ на твердые поверхности можно осуществлять в процессе сборки агрегатов и узлов двигателей или в процессе эксплуатации через рабочую среду, представляющую собой ультрадисперсную систему «масло – фторорганические ПАВ».

Ключевые слова: нанотехнологии, наносистемы, наночастицы, фторсодержащие поверхностно-активные вещества, двигатели, узлы трения.

Введение

Одним из основных факторов, определяющих долговечность и надежность работы различных двигателей и механизмов, является износ контактирующих поверхностей узлов трения, что в значительной степени сказывается на ресурсе их работы.

Для снижения величины и стабилизации условий трения, а также для предотвращения интенсивного износа в узлы трения вводят различные смазочные среды. Однако очень часто они не оказывают желаемого эффекта, так как в процессе работы в результате разогрева смазочные средства стекают с поверхности, выдавливаются из зоны трения, вследствие чего в точках контакта создается недостаток смазки.

Следует также отметить, что физико-химические и эксплуатационные свойства смазок и масел в процессе их эксплуатации в двигателях и механизмах ухудшаются намного раньше, чем наступает время их замены при техническом обслуживании.

Для решения указанной проблемы целесообразно использовать результаты бурно развивающихся в последнее время направлений в фундаментальной и прикладной науке, таких как нанотехнологии, наносистемы и наноматериалы.

В работе [1] дано четкое определение и классификация нанообъектов, а также рассмотрены условия экстраполяции коллоидной химии на них. Наносистемы представляют собой ультрадисперсные коллоидные системы, растворы ПАВ, твердые гладкие и пористые поверхности с нанесенным мо-

номолекулярным слоем и т.д. с размерами частиц, макромолекул, агрегатов и молекул, лежащих в интервале от 1 до 100 нм.

По геометрическому признаку (мерности наночастиц) наносистемы можно разделить на 3 группы.

1. Трехмерные (объемные), у которых наночастицы имеют все три размера (длина, ширина и толщина) в наноинтервале. К этому типу относятся коллоидные растворы (золи), микроэмульсии, кристаллы, капли, газовые пузырьки, прямые и обратные сферические мицеллы поверхностно-активных веществ в водных и неводных средах.

2. Двумерные, у которых наночастицы имеют только один размер (толщина) в наноинтервале, а два других (длина и ширина) могут быть сколь угодно велики. К таким системам относятся тонкие жидкие пленки, адсорбционные моно- и полислои на поверхности раздела фаз (в том числе пленки Ленгмюра-Блоджет) [2].

3. Одномерные, у которых наночастицы имеют поперечные размеры в наноинтервале, а длина может быть сколь угодно велика. К ним относятся тонкие волокна, очень тонкие капилляры и поры, цилиндрические мицеллы ПАВ. В эту группу входит также линия смачивания (или линия трехфазного контакта), разделяющая три фазы: твердое тело, жидкость и газ [3, 4].

Получение ультрадисперсных систем с размерами частиц от 1 до 100 нм, а также формирование на поверхности твердого тела монослоев ПАВ относятся к области нанотехнологий.

Еще одним свойством нанобъектов является самоорганизация, получившая свое развитие в теории мономолекулярной адсорбции Ленгмюра [5]. Адсорбция молекул ПАВ происходит активными центрами, всегда существующими на твердой поверхности. Такими центрами могут быть пики и возвышения, имеющиеся на любой, даже самой гладкой по-

верхности. Вследствие малого радиуса действия адсорбционных сил, имеющих природу, близкую к химической, и способности их к насыщению, каждый активный центр, адсорбируя молекулу ПАВ, становится уже неспособным к дальнейшей адсорбции. В результате этого, на поверхности может образоваться только мономолекулярный слой ПАВ (рис. 1).

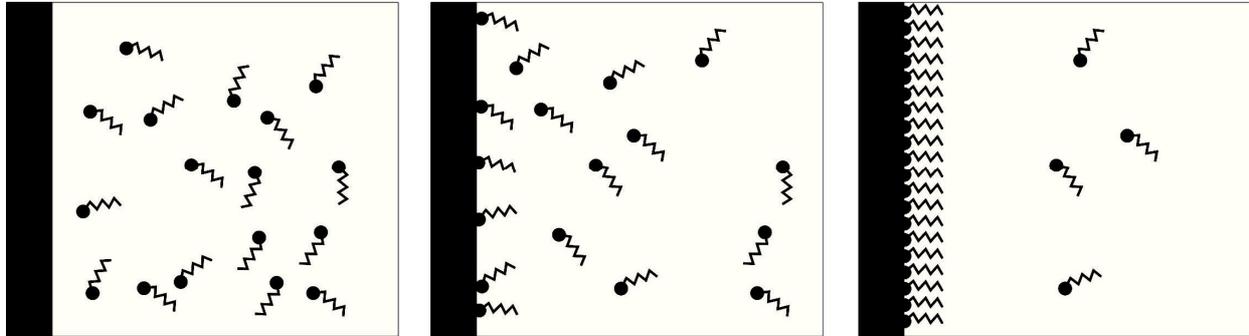


Рис. 1. Процесс формирования монослоя ориентированных молекул фторсодержащих ПАВ на поверхности твердого тела

В работах [6, 7] показано, что одним из самых эффективных способов снижения силы трения (F) и уменьшения износа поверхностей в парах трения двигателей и механизмов является нанесение на поверхности контакта фторсодержащих ПАВ, например 0,05-5,0% раствора перфторированной кислоты полипропиленоксида формулы

$C_3F_7O(C_3F_6O)_nCOOH$, где $n = 8-30$, в органическом растворителе. При нанесении на поверхность растворитель испаряется, и ПАВ формирует на ней мономолекулярную пленку (структура Ленгмюра), радикально меняющую поверхностную энергию твердого тела.

Формирование монослоя происходит в результате двух процессов:

- за счет физической адсорбции молекул ПАВ на твердой поверхности;
- за счет хемосорбции молекул ПАВ на поверхности.

Особенностями этого слоя является то, что одна часть молекулы ПАВ – активные группы (карбокисильные $-COOH$, гидроксильные $-OH$ и др.) образуют химическую связь с поверхностью, а вторая часть молекулы – перфторированный углеводородный радикал R_F занимает положение перпендикулярно поверхности и придает ей антиадгезионные свойства.

Известно, что в автомобилестроении стремятся обеспечить гидродинамический режим во всех узлах трения, т.е. ввести в них жидкостную смазку [8], при которой осуществляется полное разделение трущихся поверхностей в результате давления, возникающего в жидкости при относительном движении поверхностей.

Сила трения (F) при взаимном перемещении двух поверхностей твердых тел складывается из адгезионного F_a и когезионного F_k сопротивлений

$$F = F_a + F_k \quad (1)$$

В зависимости от вида и условий трения, а также от структуры тел и связей в них, отдельные слагаемые формулы (1) могут возрастать или уменьшаться и даже исчезать совсем. Так, при внутреннем трении смазки адгезионная составляющая близка к нулю, а при внешнем трении идеально гладких поверхностей когезионный компонент был бы равен нулю. Кроме указанных крайних случаев, когда одно из слагаемых равно нулю, существует множество промежуточных ситуаций, при которых оба слагаемых имеют достаточно большие величины [9].

При гидродинамическом режиме частицы смазки, соприкасающиеся с поверхностями контакта, прочно адсорбируются на них, промежуточные же слои движутся в зазоре между трущимися поверхностями (рис. 2), подчиняясь законам гидродинамики.

Вязкость смазки (η) является важнейшим физико-химическим свойством, оказывающим влияние на силу трения (F):

$$F = \eta \frac{VS}{H}, \quad (2)$$

где V – относительная скорость движения поверхностей; S – площадь скольжения; H – толщина слоя смазки,

$$H = \sum \Delta h_i,$$

где Δh_i – толщина элементарного слоя

Из формулы (2) видно, что сила трения является функцией следующих величин:

$$F = f(\eta, V, S, H). \quad (3)$$

Величины S и V задаются конструктивными и эксплуатационными характеристиками на этапе проектирования узлов, механизмов и систем двигателя.

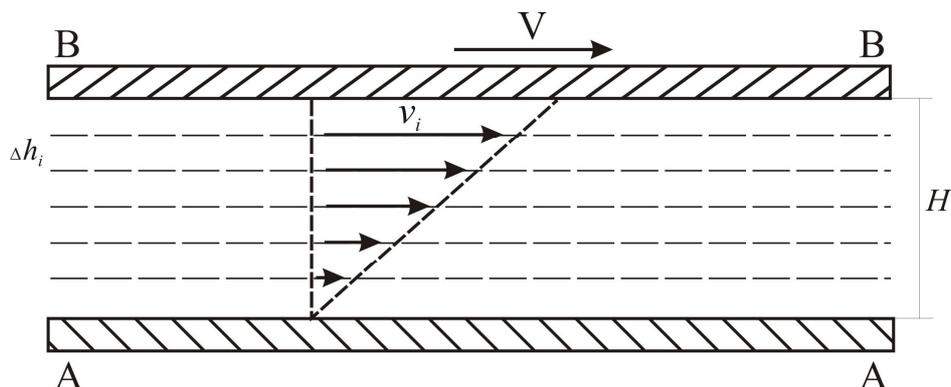


Рис. 2. Механизм внутреннего трения при взаимном скольжении двух твердых тел:

BB – подвижное твердое тело; AA – неподвижное твердое тело;

V – относительная скорость движения твердых тел;

Δh_i – толщина элементарного слоя смазки, между которыми при наличии градиента скорости возникает внутреннее трение;

v_i – скорость i -го слоя; H – толщина слоя смазки

Приблизить процесс трения к идеальному можно с помощью организации трения, т.е. путем уменьшения его зависимости от вязкости смазки (η)

и количества сдвигаемых слоев. Указанный результат можно обеспечить, создав на поверхностях контакта монослой из фторсодержащих ПАВ (рис. 3)

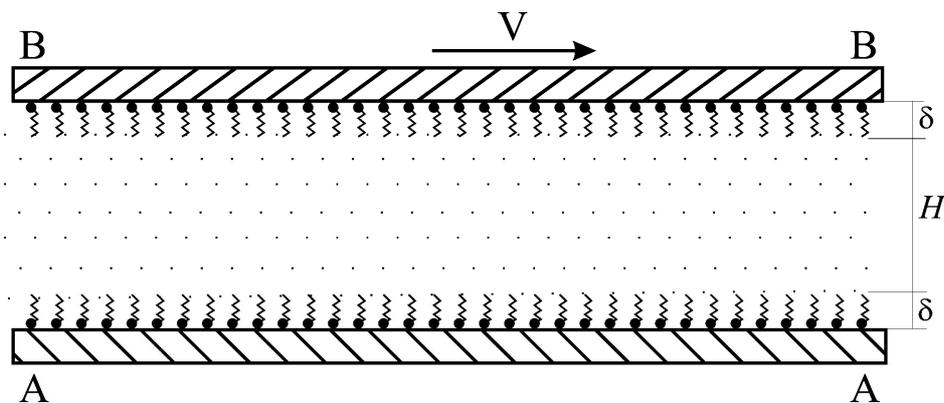


Рис. 3. Механизм внутреннего трения при взаимном скольжении двух твердых тел,

на поверхностях которых нанесен монослой фторсодержащих ПАВ:

BB – подвижное твердое тело; AA – неподвижное твердое тело;

V – относительная скорость движения твердых тел;

H – толщина слоя смазки; δ – толщина монослоя ориентированных молекул фторсодержащих ПАВ на поверхности твердого тела

Полученные мономолекулярные пленки предотвращают адсорбцию смазки твердой поверхностью, что значительно уменьшает зависимость силы трения от вязкости смазочного материала и трения между его слоями.

Таким образом, мы максимально приближаем процесс трения к идеальному.

Рассмотрим другой аспект процесса трения – износ трущихся поверхностей. Известно, что гидродинамический режим работы смазки при соответствующей вязкости, допустимых относительных ско-

ростях перемещения трущихся поверхностей, не очень высоких нагрузках и температурах, позволяет получить толстую смазочную пленку, которая должна полностью защитить узел трения двигателя от износа. Практика показывает, что износ, тем не менее, имеет место. Дело в том, что, во-первых, очень трудно полностью очистить смазочный материал от абразивных частиц, во-вторых, не всегда, особенно в момент трогания, узел трения «попадает» в гидродинамический режим, а при больших нагрузках смазка выдавливается из узла трения.

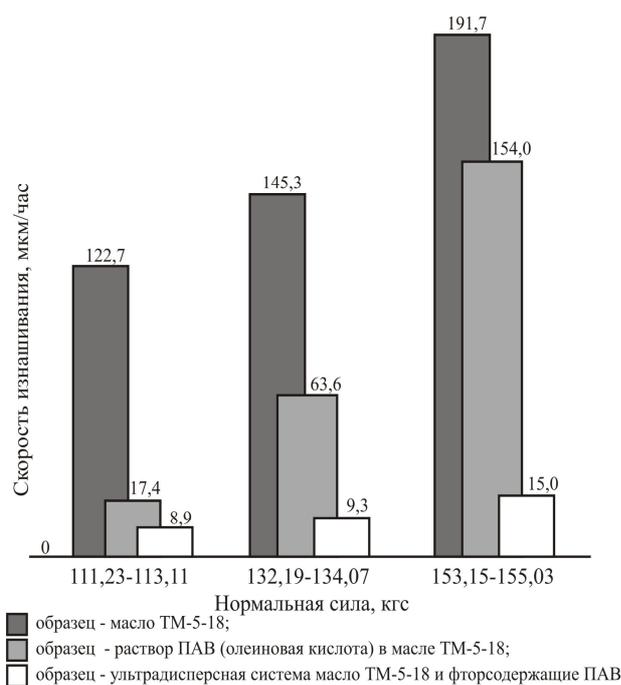


Рис. 4. Зависимость скорости изнашивания пар трения от величины нормальной силы

Экспериментальная часть

Объектами испытаний являются: масло ТМ-5-18, раствор ПАВ (олеиновая кислота) в масле ТМ-5-18, ультрадисперсная система, содержащая масло ТМ-5-18 и фторсодержащие ПАВ.

Испытательное оборудование – стандартная машина трения типа Амслер-«МИ», модернизированная с целью повышения точности и достоверности результатов, а так же уменьшения сроков проведения экспериментов. Оборудована системами создания нормальных сил, линейных скоростей скольжения, моментов сил трения, скоростей изнашивания, поддержания температур и т.д.

Основные исследуемые параметры – трение и износ регистрируются с помощью двухканального самописца модели «2309» фирмы «Брюль и Кьер».

Схема трения «колодка-ролик» с постоянными величинами коэффициентов взаимного перекрытия и площади соприкосновения независимо от износа является важным фактором достоверности получаемых результатов.

Подготовка исследуемых материалов к испытаниям состояла в создании смазочных композиций на основе масла ТМ-5-18, в которое из расчета 0,5% добавлялись ПАВ (олеиновая кислота) и фторсодержащие ПАВ.

Методика испытаний согласно ГОСТ 23216-84 и методических указаний «Обеспечение износоустойчивости изделий. Метод оценки служебных свойств смазывающих масел и присадок к ним с ис-

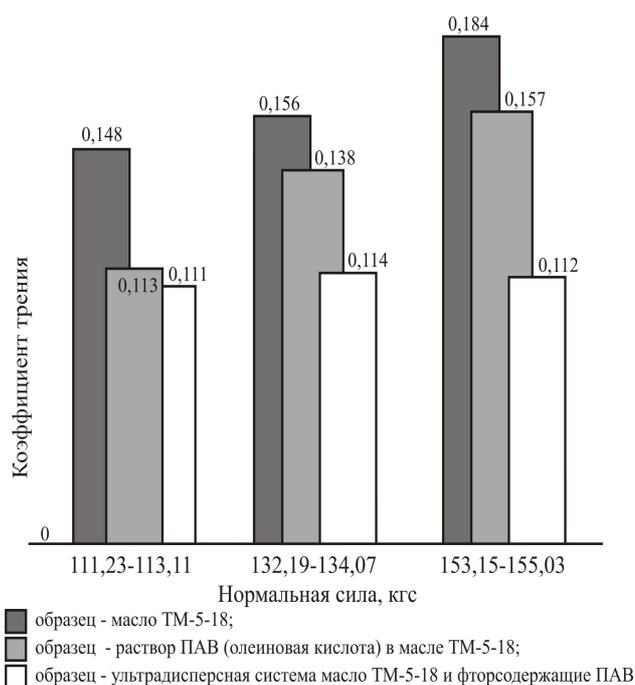


Рис. 5. Зависимость коэффициента трения от величины нормальной силы

пользованием роликовых испытательных установок» (Госстандарт СССР М. 1980) состоит в организации вращения ролика, находящегося в емкости тороидальной формы, в которую вливается тщательно перемешанная смазочная композиция. Прикладывается нормальная сила - контакт рабочих поверхностей самоустанавливающейся колодки и ролика, после чего осуществляется синхронное измерение скорости изнашивания и момента сил трения в течение всего опыта без разъединения зоны трения (рис. 4 и 5).

Заключение

Экспериментальное изучение возможности использования фторсодержащих ПАВ в узлах трения двигателей в качестве антифрикционных и противозносных наноматериалов подтвердило их высокую триботехническую эффективность.

Применение данной нанотехнологии позволяет защитить поверхности контакта с помощью пленки фторированных ПАВ толщиной 4 – 6 нм, как при сухом трении, так и при гидродинамическом. Указанная защитная пленка выполняет функцию «компенсатора» в узлах трения при различных режимах смазки.

Нанесение фторсодержащих ПАВ на твердые поверхности можно осуществлять в процессе сборки агрегатов и узлов двигателей или в процессе эксплуатации через рабочую среду, представляющую собой ультрадисперсную систему «масло – фторорганические ПАВ».

Литература

1. Объекты и методы коллоидной химии в нанохимии / Б.Д. Сумм, Н.И. Иванова. – Моск. госуд. ун-т им. М.В. Ломоносова, Химический факультет, 27.07.2000.
2. *Langmuir-Blodgett Films* (Ed. G.G. Roberts). Plenum, New York, 1990.
3. Дерягин Б.Д. Смачивающие пленки / Б.Д. Дерягин, Н.В. Чураев. – М.: Наука, 1984. – 322 с.
4. Сумм Б.Д. / Б.Д. Сумм, Э.А. Рауд // В кн. «Успехи коллоидной химии и физико-химической механики». – М.: Наука, 1992. – С. 31.
5. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. 2-е изд. перераб. и доп. / С.С. Воюцкий. – М.: Химия, 1975. – 512 с.
6. Пат 2215766 Российская Федерация, МПК 7 С 09 D 171/02. Состав для нанесения защитной молекулярной пленки / О.Г. Андреева, Н.Н. Лукоянов, Н.А. Романова, Н.А. Рябинин. – № 2001122020/04: заявл. 07.08.01; опубл. 10.11.03.
7. Пат. 2069673 Российская Федерация, МПК 6 С 08 J 5/16. Антифрикционная композиция для обработки твердых поверхностей / Н.А. Рябинин, Б.Н. Максимов, А.Н. Рябинин. – № 95107473/04; заявл. 18.05.95.; опубл. 27.11.96, бюл. № 33.
8. Сафонов А.С. Автомобильные топлива: Химмотология. Эксплуатационные свойства. Ассортимент / А.С. Сафонов, А.И. Ушаков, И.В. Чечкенов – СПб.: НПИКЦ, 2002. – 264 с.
9. Справочник по триботехнике / Под общ. ред. М. Хебды, А.В. Чигинадзе: в 3-х т. М.: Машиностроение, 1989.

Поступило в редакцию 15.05.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой С.П. Казанцев, Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина, Москва, Россия.

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ НАНОТЕХНОЛОГІЙ У ДВИГУНОБУДУВАННІ

С.М. Гайдар, А.Г. Чумаков

Проведено аналіз понять: нанотехнології, наносистеми та наночастинки. Показана можливість використання наноматеріалів для значного зменшення сили тертя та ступеня зношення поверхонь контакту вузлів тертя у двигунах та механізмах. Охарактеризовані причини недостатньої ефективності традиційних змащувальних матеріалів. Проведені дослідження та підтверджена можливість використання флуоровмісних поверхньо-активних речовин (ПАР) у якості антифрикційних та протизношувальних наноматеріалів. Нанесення флуоровмісних ПАР на тверді поверхні можна здійснювати у процесі збирання агрегатів та вузлів двигунів, або у процесі експлуатації через робоче середовище, що представляє собою ультра дисперсну систему «масло – флуорорганічні ПАР».

Ключові слова: нанотехнології, наносистеми, наночастинки, флуоровмісні поверхньо-активні речовини, двигуни, вузли тертя.

PERSPECTIVES OF USE OF NANOTECHNOLOGIES IN ENGINE-BUILDING

S.M. Gaidar, A.G. Chumakov

Notion analysis for “nanotechnologies”, “nanosystems” and “nanoparticles” was carried out. Possibility of use of nanomaterials for massive reduction of frictional force and deterioration rate of contact surface of friction assembly in engines and mechanisms was shown. Reasons of insufficient efficiency of traditional lubricating oils were characterized. Necessary investigations were carried out and possibility of use of fluorinated surface-active agents (SAA) as antifriction and anti-wear nanomaterials was confirmed. Application of fluorinated SAA to firm surfaces can be carried out during the process of assembly of aggregates and engine components or during the process of exploitation through working environment that represents ultrafine system “oil – fluororganical SAA”.

Key words: nanotechnologies, nanosystems, nanoparticles, fluorinated surface-active agents, engines, friction assembly.

Гайдар Сергей Михайлович – канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник Центрального научно-исследовательского института радиоэлектронных систем, Москва, Российская Федерация, e-mail: avtokon93@yandex.ru.

Чумаков Александр Григорьевич – канд. техн. наук, начальник лаборатории тепловидения Федерального государственного унитарного предприятия «Московское машиностроительное производственное предприятие «САЛЮТ», Москва, Российская Федерация, e-mail: alekandrchkv@gambler.ru.