Министерство образования и науки
Российской Федерации
Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный университет»

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ИЗУЧЕНИЯ КЛАСТЕРОВ,
НАНОСТРУКТУР
И НАНОМАТЕРИАЛОВ**

МЕЖВУЗОВСКИЙ СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

выпуск 9

ТВЕРЬ 2017

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

Ф50

Рецензирование статей осуществляется на основании Положения об рецензировании статей и материалов для опубликования в Межвузовском сборнике научных трудов «Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов».

Официальный сайт издания в сети Интернет:

www.physchemaspects.ru

Ф50 Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов [Текст]: межвуз. сб. науч. тр. / под общей редакцией В.М. Самсонова, Н.Ю. Сдобнякова. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2017. – Вып. 9. – 592 с.

ISBN 978-5-7609-1275-6

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 7747789 от 13.12.2011.

Сборник составлен из оригинальных статей теоретического и экспериментального характера, отражающих результаты исследований в области изучения физико-химических процессов с участием кластеров, наноструктур и наноматериалов физики, включая межфазные явления и нанотермодинамику. Сборник предназначен для научных и инженерно-технических работников, преподавателей ВУЗов, студентов и аспирантов. Издание подготовлено на кафедре общей физики Тверского государственного университета.

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

ISBN 978-5-7609-1275-6

ISSN 2226-4442

© Коллектив авторов, 2017

© Тверской государственный университет, 2017

УДК 621.892

**ПРИБОРНОЕ И МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
НЕСТАНДАРТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МАГНИТНЫХ
НАНОДИСПЕРСНЫХ СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ**

А.Н. Болотов, В.В. Новиков, О.О. Новикова

ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»

170026, Россия, Тверь, наб. А. Никитина, 22

alnikbltov@rambler.ru

DOI: 10.26456/pcascnn/2017.9.108

Аннотация: В работе представлены приборы и методика исследований коррозионных и триботехнических свойств нанодисперсных магнитных сред. Предложенное оборудование позволяет изучать процессы, происходящие при фрикционном контакте магнитных масел с твердой поверхностью, а также прогнозировать работоспособность реальных трибоузлов с инновационными нанодисперсными маслами.

Ключевые слова: нанодисперсные магнитные среды, магнитные жидкости, коррозионные свойства магнитных масел, трение магнитных масел.

В настоящее время на основе магнитных жидкостей создаются новые гибридные материалы с особыми функциональными свойствами для биомедицины, химической технологии, физических методов исследований [1-2]. Большое внимание уделяется проблемам применения магнитных жидкостей для смазывания трибосопряжений [3-6]. Отличительной особенностью магнитожидкостных трибоузлов является то, что магнитный смазочный материал поступает в зону трения и удерживается там с помощью стационарных неоднородных магнитных полей. Поэтому для смазки магнитожидкостных трибоузлов не требуются специальные механические устройства, предназначенные для обеспечения регенерации смазочного слоя и восполнения потерь масла. Традиционные магнитные жидкости плохо подходят для триботехнического применения и поэтому были созданы специальные магнитные смазочные материалы с высокими противоизносными и антифрикционными свойствами. Для изучения свойств новых магнитных смазочных материалов и оптимизации их характеристик потребовалось создание специальных приборов, учитывающих особенности их структуры и специфику эксплуатации.

Прибор для оценки коррозионных свойств магнитных масел

Для оценки коррозионных свойств смазочных масел разработана методика, учитывающая физико-механические процессы, происходящие на реальных поверхностях трения. Для реализации данной методики спроектирован специальный прибор. Метод определения коррозионных свойств масел, положенный в основу работы прибора, заключается в определении изменения электрического сопротивления металлических образцов в результате протекания коррозионных процессов на их

поверхности. Предполагается, что образующиеся при коррозии на поверхности образцов вещества имеют значительно более низкую электропроводность, чем основной материал. Исключения из этого предположения весьма редкие.

Разработанный метод отличается от предлагаемых ранее и, в том числе, от способа «горячей проволоки» [7] тем, что позволяет более детально моделировать процессы, протекающие при трении в зонах фактического контакта под действием коррозии. Это достигается тем, что проволочка подвергается действию периодических растягивающих напряжений, сопровождающихся одновременным повышением ее температуры. Известно, что именно растягивающие напряжения в поверхностях трения наиболее сильно влияют на коррозионно-механический износ [8]. Напряжение в проволочке создается силой Ампера, возникающей при протекании по ней тока в присутствии магнитного поля. Этот же ток и создает температурные вспышки.

Корпус прибора представляет собой прямоугольную кювету, изготовленную из фторопластового материала 1 (см. рис. 1). Испытываемые проволочки (образцы) 2 закреплены в корпусе токопроводящими шинами 10. Испытуемое магнитное масло (жидкость) 3 помещается в кювету в таком количестве, чтобы проволочки полностью были погружены в нее. Съемная сторона кюветы 4 загерметизирована в корпусе эластичной прокладкой 5.

Рис. 1. Прибор для оценки коррозионных свойств магнитных масел.

Кювета с образцами устанавливается в магнитную систему так, чтобы вектор магнитной индукции был ориентирован перпендикулярно к оси проволоки. При этом однородность магнитного поля поддерживается с погрешность не выше 5 %.

Конструкция магнитной системы включает постоянный магнит 6, к полюсным поверхностям которого прикреплены два плоских магнитопровода 7. К постоянному магниту 6 примыкают пластины из

магнитомягкого материала 8 и немагнитного 9. Величина индукции магнитного поля задается изменением расстояния между пластиной 8 и постоянным магнитом 6, при этом изменяется соотношение между полезным магнитным потоком и толщиной немагнитной прокладки. Конструкция прибора также позволяет проводить испытания при повышенных температурах.

Электрическая схема прибора (см. рис. 2) состоит из генератора (ГЗ) переменного напряжения, задающего частоту и форму импульсов тока, проходящих через испытываемые образцы (Rx), системы управления (СУ), и источника питания (ИП1). Система управления задает величину амплитуды протекающего тока. Для измерения сопротивления образцов в схему включены источник напряжения (ИП2), вольтметр (В) и амперметр (А).

Рис. 2. Принципиальная схема прибора для исследования коррозионных свойств масел.

Перед проведением эксперимента образец исследуемого материала в виде тонкой металлической нити прикрепляется к токонесущим пластинам, расположенным на расстоянии L друг от друга, без натяжения, так, чтобы в центре образовался прогиб величиной h . Предварительные испытания показали, что для получения величины растягивающих напряжений в нити от 10^5 до 10^8 Па отношение h/L следует выбрать порядка 10^{-2} , а диаметр нити d должен быть $d \ll L$. По образцам пропускается переменный электрический ток в виде импульсов с постоянной амплитудой длительностью $t \sim 1-10^{-1}$ с, что обеспечивает более полное совпадение с данными натуральных испытаний. Импульсы тока чередуются через время t , необходимое для охлаждения проволоки.

При прохождении переменного электрического тока в проволоке возникают напряжения величиной:

$$\sigma \approx \frac{2JBL}{\pi d^2 h},$$

где J – сила тока, σ – напряжения, B – индукция магнитного поля, L – длина металлической нити, d – диаметр проволоки, h – величина

прогиба нити.

Учитывая небольшую длительность процесса нагревания проволоки электрическим током можно считать его адиабатическим и максимальный рост температуры можно оценить по формуле:

$$\Delta T_{\max} \approx \frac{16J^2 \rho_r t}{\pi^2 d^4 \rho_m C_y},$$

где ρ_r – удельное электрическое сопротивление металлической проволоки, t – время, ρ_m – плотность материала проволоки, C_y – удельная теплоемкость материала проволоки. В случае учета теплопроводности и зависимости удельного электрического сопротивления материала металлической проволоки от температуры прирост температуры будет несколько отличаться.

Методика проведения испытаний включает следующие этапы. Вначале в кювете закрепляется проволока из исследуемого материала, так что бы она имела прогиб величиной 1–2 мм. Затем кювету заполняют исследуемым магнитным маслом, и закрепляют в магнитной системе. Далее прибор помещают в термошкаф, замеряют начальное сопротивление нити и подключают переменный ток. Значения сопротивления нити фиксируются через определенные промежутки времени. Скорость коррозии исследуемой пары материалов: проволоки и магнитной жидкости оценивается по величине относительного изменения сопротивления металлической нити.

Для моделирования реального триботехнического процесса частота следования токовых импульсов через проволочку соответствует времени взаимодействия шероховатостей поверхностей трения. Температура проволочки, равная температуре «вспышки», устанавливается подбором силы тока. При изменении индукции магнитного поля, достигают соответствия напряжения в проволоке в процессе эксперимента, и на поверхностях трения.

Прибор для изучения внешнего трения магнитной жидкости

Прибор (см. рис. 3) состоит из электромагнита 1, между полюсными наконечниками 2 которого размещена магнитная жидкость 3. Узел трения в виде плоского образца 4 расположен в межполюсном зазоре. Прибор снабжен специальным устройством для сообщения поступательного перемещения образцу, которое установлено над межполюсным зазором и состоит из подвижной платформы 5 с тензобалкой 6 и микрометрического винта 7. Движение микрометрическому винту задается от электродвигателя 8 и передается им платформе 5.

Полюсные наконечники электромагнита имеют размеры в сечении 40×10 мм. Образцы изготавливаются толщиной 1 мм и шириной 2 см (длина образцов не лимитирована). Образцы изготавливаются из материалов, слабо взаимодействующих с магнитным полем. Зазор между полюсами и образцом составляет около 1 мм и заполняется магнитной жидкостью фиксированного объема – 3 см.

Рис. 3. Схема прибора для изучения внешнего трения.

Электромагнит подключался к регулируемому источнику постоянного тока, что позволяло изменять индукцию магнитного поля от нуля до 2 Тл.

Механизм работы прибора заключается в следующем. При включении электродвигателя платформа 5 перемещается в вертикальном направлении, сообщая поступательное движение образцу, подвешенному на конце тензобалки, с весьма малой скоростью, равной $1,5 \cdot 10^{-2}$ мм/с. Сила внешнего трения, возникающая при этом между поверхностью образца и магнитной жидкостью, регистрируется с помощью тензобалки, укрепленной на платформе 6, сигнал с которой через усилитель поступает на самописец.

При проведении непрерывного длительного эксперимента на полюсные наконечники электромагнита наклеиваются постоянные магниты одинакового с ними сечения, создающие поле с максимальной

индукцией 0,31 Тл. Это позволяет выключать электромагнит на непродолжительное время. Причем, как показали специальные опыты, динамика нарастания прочности структуры МЖ с достаточной точностью определяется временем, когда поле создается электромагнитом, так как его номинальная величина в экспериментах составляла 1,1 Тл, что значительно выше поля магнитов.

Предлагаемое в работе оборудование позволяет более достоверно изучать процессы, происходящие при химическом взаимодействии в процессе трения компонентов магнитного масла и исследуемого конструкционного материала. Эксперименты, проводимые на предлагаемом оборудовании позволяют прогнозировать работоспособность реальных трибоузлов с магнитными маслами, а также оценивать эффективность новых магнитных масел, их присадок и наполнителей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 17-48-690826).

Библиографический список:

1. **Odenbach, S.** Ferrofluids: Magnetically controllable fluids and their applications. Lecture Notes in Physics / S. Odenbach. – Springer-Verlag, 2002. – 253 p.
2. **Орлов, Д.В.** Магнитные жидкости в машиностроении / Д.В. Орлов, Ю.О. Михалев, Н.К. Мышкин и др. – М.: Машиностроение, 1993. – 272 с.
3. **Болотов, А.Н.** Магнитное масло для узлов трения, работающих при граничной смазке / А.Н. Болотов, В.В. Новиков, О.О. Новикова // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2011. – № 9. – С. 27-32.
4. **Болотов, А.Н.** Исследование триботехнических свойств пьезомагнитожидкостных подшипников / А.Н. Болотов, В.В. Новиков, О.О. Новикова // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2010. – № 10. – С. 23-29.
5. **Болотов, А.Н.** Разработка модифицированной технологии получения наноструктурного магнитного масла / А.Н. Болотов, В.В. Новиков, О.О. Новикова // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов: межвуз. сб. науч. тр. / под общей редакцией В.М. Самсонова, Н.Ю. Сдобнякова. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2016. – Вып. 8. – С. 69-75.
6. **Болотов, А.Н.** Магнитные масла триботехнического назначения / А.Н. Болотов, В.В. Новиков, О.О. Новикова // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов: межвуз. сб. науч. тр. / под общей редакцией В.М. Самсонова, Н.Ю. Сдобнякова. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2009. – Вып. 1. – С. 5-9.
7. **Кламани, Д.** Смазки и родственные продукты. Синтез. Свойства. Применение. Международные стандарты / Д. Кламани; пер. с англ. Г.И. Липкина; под. ред. Ю.С. Заславского. – М.: Химия, 1988. – 488 с.
8. **Чичинадзе, А.В.** Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун и др.; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.