

Трибологические характеристики смазочных масел с нанодисперсной фазой

д.т.н. проф. Болотов А.Н., к.т.н. доц. Новиков В.В., к.т.н. доц. Новикова О.О.,
Рачишкин А.А., Горлов Д.И.

ТвГТУ

8(4822) 52-49-71, alnikbltov@rambler.ru

Аннотация. В работе приведено исследование влияния дисперсных частиц, входящих в состав магнитного масла на процессы трения и износа, происходящие в зоне контакта трибосопряжений.

Ключевые слова: магнитное масло, трение, износ, дисперсные частицы.

Развитие современных технологий в машиностроении позволяет достигнуть требуемую долговечность и работоспособность оборудования, уменьшить затраты на его последующее техническое сопровождение и ремонт, снизить энергопотребление при изготовлении и эксплуатации. Во многом срок службы машин и механизмов зависит от надежности работы узлов трения, входящих в их конструкцию. В ходе ее разработки часто требуется спроектировать трибосопряжения высокой точности, в качестве которых во многих случаях используют подшипники скольжения. Повысить надежность и оптимизировать конструкцию подшипников данного типа можно с помощью применения как современных смазочных и антифрикционных материалов, в качестве которых используется магнитное смазочное масло, так и использования антифрикционных материалов [1, 2, 3]. Однако, трибологические свойства магнитных смазочных масел требуют дальнейшего исследования.

Магнитное масло представляет собой сложную многокомпонентную коллоидную нанодисперсную систему. Так же, как и широко известные магнитные жидкости, масло содержит коллоидные дисперсии магнитных материалов (магнетита, железа и др.) с частицами размером от 5 до 150 нанометров, стабилизированные в полярной (водной или спиртовой) и неполярной (углеводороды и силиконы) средах с помощью поверхностно-активных веществ или полимеров. Магнитное масло дополнительно содержит комплекс присадок, которые служат для улучшения антифрикционных и противоизносных свойств, снижения температурно-временной деградации дисперсионной среды и т.д.

Особенности смазочного действия магнитного масла, влияние структурных составляющих масла и условий трения на их триботехнические характеристики выявлялись в сравнительных исследованиях смазочных свойств масел и традиционных масел, которые проводились на машинах трения МТШ и ФХФ, различающихся диапазоном контактных давлений между трущимися образцами.

Для изучения смазочной способности магнитных масел при умеренных контактных давлениях в режиме граничного трения применялась трехпальчиковая машина ФХФ. В основу конструкции положена схема трения «торец цилиндра – плоскость». Цилиндрические образцы изготавливались из стали 20, плоские – из бронзы ОЦС 4-4-2,5. Нагружение фрикционного контакта осуществлялось набором грузов в диапазоне давлений 2 – 10 МПа, скорость скольжения образцов составляла 0,06 – 0,6 м/с. Износ измерялся дискретно, после остановки машины, микронным индикатором с точностью до 5%. Момент трения определялся тензометрическим методом с точностью до 2%. В машине ФХФ предусмотрена возможность изменения величины индукции магнитного поля в зоне трения, создаваемого магнитом КС-37, в диапазоне от 0 до 80 кА/м для радиальной составляющей и от 0 до 10 кА/м для осевой составляющей. Под действием поля масло удерживалось на дорожке трения в виде полутороида.

Для исследования магнитных смазочных материалов при высоких контактных давлениях разработана трехшариковая машина трения МТШ. Трение происходит между шарами и

плоской поверхностью торца цилиндрического образца. Ось образца несколько смещена относительно оси вращения шаров, поэтому для повторения опыта по неизношенной поверхности требуется только развернуть корпус на некоторый, отличный от 2π , угол.

Для удержания магнитного масла на дорожке трения в оправку между шарами вставлены цилиндрические магниты, обращенные полярной поверхностью к плоскости образца. Магнитное масло собиралось и удерживалось неоднородным полем около полюса магнита. При вращении шаров масло увлекалось магнитом и намазывалось на дорожку трения. Нагрузка на шары создавалась весовым методом и изменялась дискретно от 20 до 100Н. Момент трения фиксировался непрерывно с помощью самописца.

Для изучения влияния температуры на смазочные свойства узел трения оснащен электронагревательным элементом. Температура поддерживалась в узле трения с точностью 1°K .

Исследования проводились на шарах диаметром 8 мм, выполненных из стали ШХ-15. Цилиндрические образцы изготавливались из материалов 20Х, 40Х, 30ХГСА, ШХ-15. Поверхность трения образцов полировалась до получения параметра шероховатости $Ra = 0,25-0,35$ мкм.

Влияние масла на износ поверхностей оценивалось по диаметру пятна износа на поверхности шаров. Диаметр измерялся на бинокулярном микроскопе с точностью до 10 мкм.

Для изучения дифференцированного влияния дисперсной фазы на процессы трения использовались модельные масла на основе триэтаноламина, который выполняет роль ПАВ-стабилизатора и дисперсной среды. Применение 2-х компонентного масла вместо традиционных трехкомпонентных позволило исключить влияние на результаты опытов других веществ, используемых для стабилизации структуры магнитного масла, поскольку содержание ПАВ стабилизатора в свободном состоянии сложным образом зависит от концентрации частиц.

По результатам эксперимента был произведен анализ влияния концентрации частиц на трение и износ (средний диаметр частиц около 10 нм). Из кривых, представленных на рисунке 1, следует отметить, что дисперсная фаза оказывает качественно различное влияние, на износ твердых сталей (ШХ-15 – ШХ-15) и относительно мягких (Ст.3 – бронза) поверхностей.

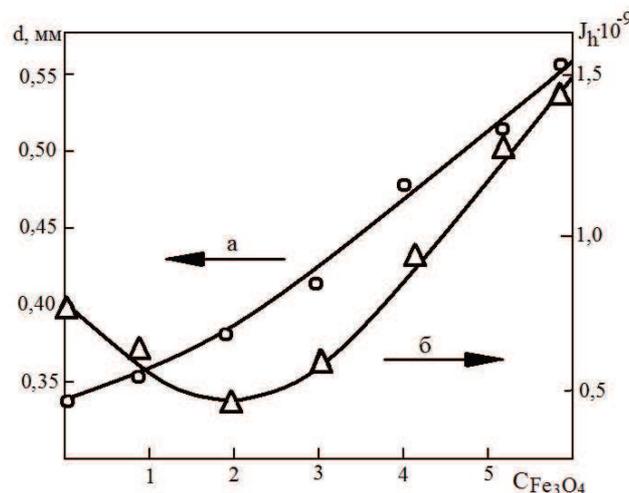


Рисунок 1. Зависимость характеристик изнашивания от содержания в магнитном масле дисперсной фазы при трении: а) ШХ-15 – ШХ-15; б) Ст3 – бронза

Из графика видно, что при смазке магнитным маслом относительно мягких материалов (бронза, Ст.3) интенсивность изнашивания проходит через минимум по мере повышения концентрации магнетитовых частиц. Минимальное значение износа наблюдается при концентрации частиц 1 – 2% масс. При смазке твердых материалов (ШХ-15) монотонно растет. Анализируя полученные зависимости, можно сделать следующее предположение о характере процессов, происходящих в зоне трения. С одной стороны, происходит внедрение ферро-

магнитных частиц в поверхности контактирующих материалов, или прилипание к ним с образованием металлических связей. Это способствует упрочению поверхностей трению и снижению изнашивания. С другой стороны, частицы, находящиеся между поверхностями трения, разрушают смазочный слой магнитного масла, обнажая контактирующие поверхности, что приводит к увеличению адгезионной составляющей изнашивания в местах фактического контакта. Кроме того, существенный вклад вносят конгломераты их ферромагнитных частиц, для образования которых в зоне трения существуют благоприятные условия, и которые абразивно изнашивают взаимодействующие поверхности.

Проведенный микроанализ поверхностей трения подтвердил вывод о том, что износостойкость мягких материалов повышается за счет их упрочнения внедрившимися частицами. Увеличение износа твердых поверхностей объясняется абразивным действием конгломератов частиц, образовавшихся в зоне трения под действием высоких сдвиговых напряжений и температур.

Убедительно показано, что дисперсные частицы из железа оказывают значительно меньшее абразивное действие, чем магнетитовые, которые более твердые [4, 5, 6]. Обнаружено, что при смазывании магнитным маслом, где в качестве дисперсной фазы используется карбонильное железо, преобладающим видом износа является усталостный, в то время как в магнетитовых маслах более выражен абразивный износ. Однако недостатком железа как магнитной фазы для магнитных масел является его малая устойчивость к окислению. Так выдерживание в термостате при 100°C в течение 200 часов магнитных масел с частицами железа показало, что железо в основном переходит в немагнитные оксиды и масло при этом практически полностью теряет свои магнитные свойства.

Другим важным фактором, влияющим на смазочные свойства магнитных масел, является наличие конгломератов магнитных частиц, а также частиц, не имеющих адсорбционных оболочек. Показано, что удаление таких частиц с помощью магнитной сепарации позволяет снизить коэффициент трения и износ на 25 и 50%, соответственно, в то время как сепарация масла на центрифуге не дала ощутимого результата.

Независимо от концентрации дисперсионных частиц их присутствие в масле приводит к повышению коэффициента трения. Вероятно, это объясняется усилением диссипативных процессов, связанных с деформированием поверхностей трения и покрывающих их адсорбционных слоев.

Значительную роль при трении многокомпонентных магнитных масел играет сильно развитая поверхность частиц. Наблюдалось каталитическое влияние поверхности на реакции полимеризации. Установлено также, что частицы замедляют коррозионные процессы, приводящие к износу поверхностей трения. Это происходит из-за того, что кислород и ПАВ, растворенные в магнитных маслах, активнее реагируют с частицами и не поступают к поверхностям.

Адсорбция на поверхности частиц молекул жирных кислот, применяемых для стабилизации магнитных масел, часто сопровождается химическими реакциями, при которых выделяется атомарный водород. В условиях трения водород легко проникает в материалы, накапливается около дефектов структуры и создает сильное напряжение в кристаллической решетке. Вероятность такого процесса подтверждается, наряду с другими фактами, наличием эллипсоидальных микропор в поверхностной зоне трущихся материалов, которые характерны для материалов, насыщенных водородом. Микропоры усиливают износ поверхностей по механизму отслаивания.

С помощью дисперсных частиц представляется возможным управлять скоростью формирования граничных смазочных слоев. Если повысить концентрацию частиц около трущихся поверхностей неоднородным магнитным полем, то одновременно возрастает концентрация свободных молекул стабилизатора, а, следовательно, можно быстрее регенерировать смазочный слой. Непосредственно это доказано на примере усиления эффекта Ребиндера.

В результате исследования показано значительное влияние дисперсных частиц на процессы, происходящие в зоне трения, которые во многом определяют надежность, долговечность и энергоэффективность работы трибосопряжений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта № 14-08-97500).

Литература

1. Болотов А.Н., Новиков В.В., Новикова О.О. Трение структурированной магнитной жидкости при скольжении по твердой поверхности // Трение и износ. 2006. Т. 27. № 4. С. 409-416.
2. Болотов А.Н., Новиков В.В., Новикова О.О. Анализ работы трибосопряжений на основе керамических алмазосодержащих материалов // Трение и износ. 2005. Т. 26. № 3. С. 279-284.
3. Пат. 2220233 Российская Федерация, МПК С 25D 15/00 А . Способ электрического нанесения антифрикционного покрытия на алюминий и его сплавы / Болотов А.Н., Зоренко Д.А., Новиков В.В.; заявитель и патентообладатель Тверской государственной технической университет. – № 2002115470/02; заявл. 13.06.2002; опубл. 27.12.2003, Бюл. № 36. – 4 с.
4. Болотов А.Н. и др. Магнитосиловое взаимодействие высокоэрцитивных постоянных магнитов для подшипниковых опор. Федеральное агентство по образованию, Тверской гос. технический ун-т. Тверь, 2007. (Изд. 1-е) - 92 с.
5. Болотов А.Н., Новиков В.В., Новикова О.О. Исследование триботехнических свойств пьезомагнитожидкостных подшипников. Трение и смазка в машинах и механизмах. 2010. № 10. С. 23-29.
6. Болотов А.Н., Новиков В.В., Новикова О.О. Магнитные масла триботехнического назначения // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. Тверь: ТвГУ, 2009. № 1. С. 5-9.