

УДК 621.892

Болотов Александр Николаевич

ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет»
Россия, Тверь
Ученый секретарь ученого совета университета
Доктор технических наук
E-Mail: alnikbltov@rambler.ru

Новиков Владислав Викторович

ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет»
Россия, Тверь¹
Доцент, кандидат технических наук
E-Mail: vnvkv@yandex.ru

Новикова Ольга Олеговна

ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет»
Россия, Тверь
Доцент, кандидат технических наук
E-Mail: onvk@mail.ru

Мардян Мгер Владимирович

ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет»
Россия, Тверь
Аспирант
E-Mail: mger69@mail.ru

Новый подход к технологии создания магнитного масла

Аннотация: В работе проведен анализ способов получения магнитных масел, применяемых в различных узлах трения. Показаны достоинства магнитных масел: упрощение конструкции трибоузла, самодоставка в зону контактирования поверхностей под действием неоднородных магнитных полей; и их недостатки: большое количество агломерированных магнитных частиц, низкая прочность адсорбированных слоев поверхностно-активных веществ, малая температурно-временная стабильность смазки. Предложена оригинальная технология создания магнитного масла на основе дизфира карбоновой кислоты с одновременным применением нагрева и давления. На первой стадии исходную смесь ингредиентов нагревают, плавно увеличивая давление. На второй стадии его снижают при продолжении термообработки. В дальнейшем, полученное магнитное масло охлаждают до комнатной температуры. Проведенные триботехнические испытания показали, что полученная смазка обладает более высокой температурно-временной стабильностью, по сравнению с традиционным магнитным маслом, а также улучшенными триботехническими характеристиками. Это достигнуто за счет уменьшения количества агломератов, повышения толщины адсорбированного слоя и плотности упаковки молекул поверхностно-активных веществ в адсорбированном слое. Повышена также прочность адсорбированных слоев. За счет повышения скорости химической реакции уменьшено время технологического процесса и снижена его энергоемкость.

Ключевые слова: Магнитное масло; трение; износ; давление; трибосопряжение; агломераты; температурно-временная стабильность; энергоэффективность; коэффициент трения; интенсивность изнашивания.

Идентификационный номер статьи в журнале 18TVN114

¹ 170026, г. Тверь, наб. А.Никитина, д. 22, Тверской государственный технический университет, Новикову В.В.

Alexandr Bolotov

Tver State Technical University
E-Mail: alnikbltov@rambler.ru

Vladislav Novikov

Tver State Technical University
E-Mail: vnvkv@yandex.ru

Olga Novikova

Tver State Technical University
E-Mail: onvk@mail.ru

Mger Mardyan

Tver State Technical University
E-Mail: mger69@mail.ru

A new approach to the technology of magnetic oil

Abstract: This paper analyzes the methods of producing magnetic oils used in various friction . Recently magnetic oils advantages : simplification of the design tribouzla, samodostavka contacting surfaces in the area under the effect of nonuniform magnetic fields and their drawbacks: a large number of the agglomerated magnetic particles , low strength adsorbed layer of surfactant, the low temperature- time stability of a lubricant. An original technique of creating a magnetic oil based diester of a carboxylic acid with the simultaneous application of heat and pressure. In the first step the initial mixture of ingredients is heated gradually increasing the pressure . In the second stage while continuing to reduce its heat treatment. Subsequently, the resulting magnetic oil cooled to room temperature. Tribological tests carried out showed that the grease has a higher time-temperature stability compared to traditional magnetic oil, as well as improved tribological characteristics. This is achieved by reducing the amount of agglomerates ; adsorbed layer thickness increase, the packing density of the molecules of surface-active substances in an adsorbed layer. Increased strength and adsorbed layers. By increasing the chemical reaction rate is reduced during the process and reduced its energy consumption.

Keywords: Magnetic oil; friction; wear; pressure; tribounit; agglomerates; temperature-time stability; energy efficiency; and the coefficient of friction; wear rate.

Identification number of article 18TVN114

Современные тенденции в машиностроении, жесткая конкуренция производителей машин и механизмов диктуют требования постоянного повышения долговечности работы оборудования, снижения затрат на его техническое обслуживание, повышение энергоэффективности. Во многом срок его службы и эксплуатационные затраты зависят от работы узлов трения входящих в конструкцию, а также от ее конфигурации. При проектировании трибосопряжений высокой точности позиционирования достаточно часто используют подшипники скольжения. В настоящее время повышение их надежности и долговечности идет двумя направлениями: использование антифрикционных противоизносных материалов в конструкции трибосопряжения, а также применение современных смазочных материалов для снижения материальных и энергетических потерь [1, 2, 3]. Применение обычных смазочных масел в подшипниках скольжения требует проектирования и использования дополнительных приспособлений для обеспечения их поставки в зону контактирования поверхностей. Существенно упростить конструкцию позволяет использование в качестве смазочного материала специальных коллоидных магнитных жидкостей. При проектировании узлов трения машин и механизмов на их основе разработаны герметизирующие устройства, гидродинамические подшипники и другие узлы трения [4, 5]. Главное достоинство магнитных жидкостей перед традиционным маслом заключается в том, что они попадают в зону контактирования трущихся поверхностей под действием стационарных неоднородных магнитных полей. Восстановление смазочного слоя происходит самопроизвольно и для этого не требуется существенно усложнять конструкцию трибоузла, а также использовать различные дополнительные приспособления [6].

Известно, что магнитные жидкости использовались для смазки трибоузлов, работающих как при гидродинамическом так и при граничном режиме трения. Однако результаты триботехнических испытаний магнитных жидкостей показали, что их антифрикционные и противоизносные свойства нельзя признать удовлетворительными. В процессе работы механизма коллоидная структура жидкости при этом расслаивается. Очевидно, что для триботехнических целей нужно использовать не обычные магнитные жидкости, а специально созданное магнитное масло с высокими коллоидностабильными и смазочными свойствами [1, 7, 8].

Известны примеры получения смазочных масел, обладающих улучшенными триботехническими и температурно-временными характеристиками, по сравнению с обычными магнитными жидкостями. В частности, их получают обработкой магнетита в диэфире карбоновой кислоты в присутствии водного раствора 12-оксистеариновой кислоты или 12 – гидрокси- Δ 9 – октадеценовой кислоты при нагревании до температуры выпаривания воды с последующей термообработкой смеси при 110 – 180 °С в течение 10 – 40 ч и охлаждением полученного масла при следующем содержании компонентов в масле, мас. %:

- магнетит – 15-30;
- олигоэфир, полученный на основе 12-оксистеариновой кислоты или 12 – гидрокси- Δ 9 – октадеценовой кислоты – 10 – 40;
- диэфир карбоновой кислоты – остальное [9].

Однако опыты показывают, что при достаточно удовлетворительных триботехнических характеристиках, масло имеет большое количество агломерированных магнитных частиц, низкую прочность адсорбированных слоев ПАВ (*поверхностно-активные вещества*) и малую температурно-временную стабильность. Как следствие, это ведет к повышенному коэффициенту трения при использовании данного масла, низкой износостойкости конструкционных деталей узлов трения, относительно короткому времени

работы трибосопряжений в машинах и механизмах. Также при получении магнитного масла требуется достаточно длительная по времени выдержка смеси при высокой температуре, что ведет к высокой энергоемкости технологического процесса.

Цель исследования состояла в разработке технологии создания магнитного смазочного масла, в котором для стабилизации коллоидной структуры используется поверхностно-активное вещество, синтезированное на основе молекул дисперсионной среды, обладающее высокими физико-механическими и триботехническими характеристиками. Процесс ее разработки состоял из следующих основных этапов: подбор жидкости носителя по вязкостно-температурным характеристикам, испаряемости и смазочной способности; синтез ПАВ - стабилизатора, образующего с магнетитом устойчивые магнитные коллоиды, стабильные при температуре более 100°C; получение магнитного масла и испытание его на машинах трения.

Процесс получения магнитного масла было предложено проводить при высоком гидростатическом давлении с одновременным нагревом компонентов смеси, что позволяет сократить время получения магнитного масла, а также создать условия образования на поверхности частиц магнетита многомерной структуры ПАВ - стабилизатора, за счет ускорения химических реакций. Давление активизирует процессы пептизации и адсорбции ПАВ, при этом, уменьшается количество агломератов; повышается толщина адсорбированного слоя и ПАВ занимает всю свободную поверхность дисперсных частиц, т.к. процесс десорбции молекул проходит менее активно. Повышается плотность упаковки молекул ПАВ в адсорбированном слое (более устойчивое состояние за счет того, что изменяется конформное состояние молекул). Повышается прочность адсорбированных слоев из-за увеличения межмолекулярных связей в молекулах [10].

Под действием электрических и магнитных сил межмолекулярного взаимодействия возникает более сильное стерическое отталкивание (структурно-механический барьер), в результате снижается склонность дисперсных частиц к коагуляции, повышается температурно-временная стабильность магнитных масел, формируется более надежный адсорбционный слой. Как следствие, существенно уменьшается количество крупных агрегатов из частиц; и их абразивное действие, снижается коэффициент трения, интенсивность изнашивания при граничном трении, долговечность магнитного масла повышается. Прочные адсорбционные оболочки не позволяют частицам под действием трения агломерироваться, не происходит термоактивированный процесс перехода высокомагнитных частиц Fe_3O_4 в низкомагнитные Fe_2O_3 , за счет чего сокращается время термообработки [7, 8].

Разработанная технология включала в себя обработку магнетита в диэфире карбоновой кислоты в присутствии водного раствора 12-оксистеариновой кислоты или 12 – гидроксид- $\Delta 9$ – октадеценной кислоты при нагревании до температуры выпаривания воды с последующей выдержкой смеси в течение 3 – 17 ч при 110 – 180°C, при давлении 100 - 150 МПа, с последующим снижением давления и продолжением термообработки в течение 5 — 20 ч и охлаждением полученного масла, содержащего магнетит – 15-30 масс.%, олигоэфир, полученный на основе 12-оксистеариновой кислоты или 12 – гидроксид - $\Delta 9$ – октадеценной кислоты 10 – 40 масс. % и диэфир карбоновой кислоты – остальное.[9].

Выбор диапазона давления обусловлен следующими факторами. Давление менее 100 МПа практически не оказывает влияние на процесс пептизации, адсорбции ПАВ, упаковку ПАВ, скорость химической реакции, а увеличение давления выше 150 МПа не приводит к существенному улучшению триботехнических свойств магнитного масла и сокращению времени термообработки, а ведет только к повышению энергозатрат.

Длительность термообработки на первой стадии обусловлена тем, что за время менее 3 часов практически не происходит увеличения плотности упаковки молекул ПАВ-стабилизатора в адсорбированном слое магнетита, а также его толщины, а после 17 часов термообработки плотность упаковки молекул ПАВ-стабилизатора в адсорбированном слое и его толщина достигает практически максимального значения.

На второй стадии время термообработки менее 5 часов не достаточно для удаления вытесненной воды и стабилизации коллоида, а время более 20 часов не приводит к существенному улучшению триботехнических свойств магнитного масла и сокращению времени термообработки, а ведет только к повышению энергозатрат.

По разработанной и традиционной методике было создано несколько магнитных масел для их последующего сопоставления. Для корректного сравнения их триботехнических свойств содержание компонентов во всех случаях было выбрано одинаковым, а именно: магнетит в количестве 22 г, что составляет 22 масс. %, который обрабатывали 25 г олигоэфира, полученного на основе 12-оксистеариновой кислоты или 12 – гидроки- Δ 9 – октадеценовой кислоты, что составляло 25 масс. %, и в полученную смесь добавляли 53 г диэфира карбоновой кислоты, что составляло 53 масс. %. Также по окончании технологического процесса смесь всегда охлаждалась до комнатной температуры.

Магнитное масло (ММ1) получали по предложенной технологии. На первой стадии термообработки полученную смесь подвергали давлению, плавно увеличивая его до 100МПа, нагреву до температуры 110°C и выдержке при этих условиях в течение 3ч. В результате интенсивно проходил процесс пептизации, на поверхности частиц магнетита образовывалась многомерная структура ПАВ — стабилизатора. На второй стадии уменьшали давление до атмосферного и продолжали нагрев при температуре 110°C в течение 5ч. В результате вытесненная вода удалялась и происходила окончательная стабилизация коллоида.

Магнитное масло (ММ01) получали по ранее известному способу. Полученную смесь нагревали до температуры выпаривания воды с последующей термообработкой смеси при 110 °С в течение 10ч.

Магнитное масло (ММ2) получали по предложенному способу с отличием параметров технологии от масла (ММ1). На первой стадии давление увеличивали до 125 МПа и полученную смесь выдерживали в течение 10 ч при температуре 145°C. На второй стадии уменьшали давление до атмосферного и продолжали нагрев при температуре 145°C в течение 12,5ч.

Магнитное масло (ММ02) получали по ранее известной методике. Полученную смесь нагревали до температуры выпаривания воды с последующей термообработкой смеси при температуре 145°C в течение 25ч.

Магнитное масло (ММ3) получали по разработанной технологии с изменением ее параметров и времени выдержки. На первой стадии полученную смесь подвергали давлению, плавно увеличивая его до 150МПа, в течение 17ч, температуре термообработки 180°C; на второй стадии уменьшали давление до атмосферного и продолжали нагрев при температуре 180°C в течение 20ч.

Магнитное масло (ММ03) получали по ранее известному способу. Полученную смесь нагревали до температуры выпаривания воды с последующей выдержкой смеси при температуре 180°C в течение 40ч.

Были проведены сравнительные триботехнические испытания новых магнитных масел (ММ1, ММ2, ММ3) и магнитных масел, полученных по известному способу (ММ01, ММ02, ММ03). Условия испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Схема триботехнических испытаний магнитных масел

Реализуемый вид трения	Трение скольжения
Схема трения	Торец цилиндра – плоскость
Материалы пар трения	Плоскость – бронза ОСЦ5, торец цилиндра – Ст. 3
Линейная скорость скольжения	0,24 м/с
Давление	4,42 МПа
Способ подачи и удержания магнитного масла в зоне трения	Неоднородное магнитное поле с аксиальной симметрией

Результаты фрикционных испытаний новых магнитных масел (ММ1, ММ2, ММ3) в сравнении с магнитным маслом, полученным по известному способу (ММ01, ММ02, ММ03) в зависимости от температуры в зоне трения представлены на рис. 1, 2.

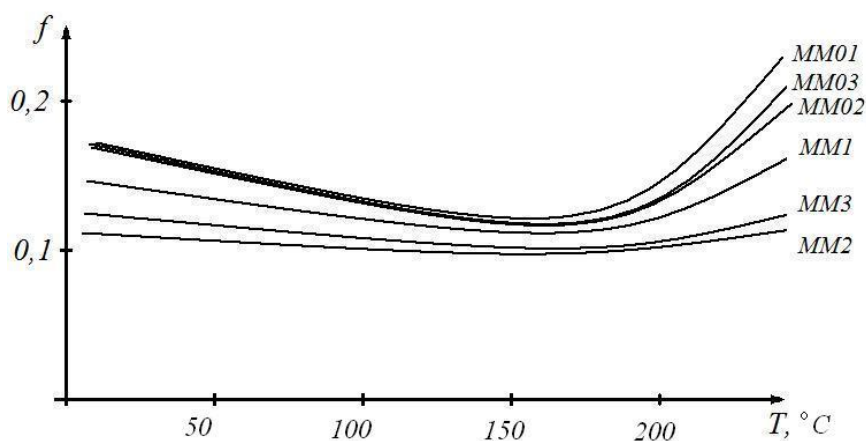


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения от температуры в зоне трения

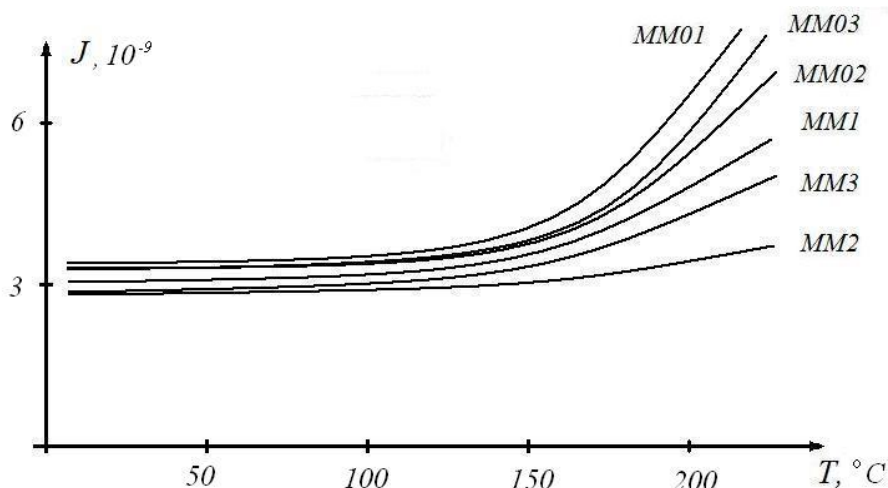


Рис. 2. Зависимость интенсивности изнашивания от температуры в зоне трения

Результаты испытаний показали, что достигнуто повышение температурно-временной стабильности магнитных масел, снизились коэффициент трения, интенсивность изнашивания при граничном трении, по сравнению с магнитным маслом, полученным по ранее известной технологии. Также произошло существенное снижение энергоемкости технологического

процесса за счет сокращения времени выдержки при высокой температуре. Магнитное масло, созданное по предложенной технологии может быть использовано в прецизионных узлах трения машин и механизмов в машиностроении, приборостроении, в медицине и т.д.

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., Лочагин Н.В., Михалев Ю.О. Роль магнитного поля при трении поверхностей, смазываемых магнитным маслом // Трение и износ. 1988. Т. 9. № 5. С. 870.
7. Болотов А.Н. и др. Магнитное масло для работы при низких температурах // Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования. Тверь: ТвГТУ, 2011. № 4. С. 67-72.
8. 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.
9. Пат. 2016055 Российская Федерация, МПК С10М169/04. Магнитное масло и способ его получения / Болотов А.Н., Сазонтов К.К., Хренов В.Л.; заявитель и патентообладатель Тверской государственной технической университет. – № 5005847/04; заявл. 01.07.1991; опубл. 15.07.1994, Бюл. № 13. – 6 с.
10. Гоникберг М. Г. Химическое равновесие и скорость реакций при высоких давлениях - М.: АН СССР, 1960. - 272 с.

Рецензент: Измайлов Владимир Васильевич, Тверской государственной технической университет, профессор, д.т.н.

REFERENCES

1. Bolotov A.N., Novikov V.V., Novikova O.O. Trenie strukturirovannoj magnitnoj zhidkosti pri skol'zhenii po tverdoj poverhnosti // Trenie i iznos. 2006. T. 27. № 4. S. 409-416.
2. Bolotov A.N., Novikov V.V., Novikova O.O. Analiz raboty tribosoprjazhenij na osnove keramicheskikhalmazosoderzhashhih materialov // Trenie i iznos. 2005. T. 26. № 3. S. 279-284.
3. Pat. 2220233 Rossijskaja Federacija, MPK C 25D 15/00 A . Sposob jelektricheskogo nanesenija antifrikcionnogo pokrytija na aljuminij i ego splavy / Bolotov A.N., Zorenko D.A., Novikov V.V.; zajavitel' i patentoobladatel' Tverskoj gosudarstvennyj tehničeskij universitet. – № 2002115470/02 ; zajavl. 13.06.2002; opubl. 27.12.2003, Bjul. № 36. – 4 s.
4. Bolotov A.N. i dr. Magnitosilovoe vzaimodejstvie vysokojercitivnyh postojannyh magnitov dlja podshipnikovyh opor. Federal'noe agentstvo po obrazovaniju, Tverskoj gos. tehničeskij un-t. Tver', 2007. (Izd. 1-e) 92 s.
5. Bolotov A.N., Novikov V.V., Novikova O.O. Issledovanie tribotehničeskikh svojstv p'ezomagnitnozhidkostnyh podshipnikov. Trenie i smazka v mashinah i mehanizmah. 2010. № 10. S. 23-29.
6. Bolotov A.N., Lochagin N.V., Mihalev Ju.O. Rol' magnitnogo polja pri trenii poverhnostej, smazyvaemyh magnitnym maslom // Trenie i iznos. 1988. T. 9. № 5. S. 870.
7. Bolotov A.N. i dr. Magnitnoe maslo dlja raboty pri nizkih temperaturah // Mehanika i fizika processov na poverhnosti i v kontakte tverdych tel, detalej tehnologičeskogo i jenergetičeskogo oborudovanija. Tver': TvGTU, 2011. № 4. S. 67-72.
8. Bolotov A.N., Novikov V.V., Novikova O.O. Magnitnye masla tribotehničeskogo naznachenija // Fiziko-himicheskie aspekty izuchenija klasterov, nanostruktur i nanomaterialov. Tver': TvGU, 2009. № 1. S. 5-9.
9. Pat. 2016055 Rossijskaja Federacija, MPK C10M169/04. Magnitnoe maslo i sposob ego poluchenija / Bolotov A.N., Sazontov K.K., Hrenov V.L.; zajavitel' i patentoobladatel' Tverskoj gosudarstvennyj tehničeskij universitet. – № 5005847/04; zajavl. 01.07.1991; opubl. 15.07.1994, Bjul. № 13. – 6 s.
10. Gonikberg M. G. Himichesкое равновесие i skorost' reakcij pri vysokih davlenijah - M.: AN SSSR, 1960. - 272 s.