

УДК 621.891

МАГНИТНЫЕ МАСЛА ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

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

*Тверской государственный технический университет,
170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, 22, onvk@mail.ru*

В данной работе изложены некоторые результаты исследований по созданию магнитных масел триботехнического назначения. Магнитное масло представляет стабильную маловязкую коллоидную среду, содержащую магнитные наночастицы, ПАВ-стабилизатор, а также определенным образом подобранные дисперсионную среду и антифрикционные присадки.

После создания магнитных жидкостей (МЖ), [1] одной из областей техники, где рассчитывали получить наиболее ощутимый эффект от их применения являлась триботехника. Исходя из основной отличительной особенности магнитных масел (ММ) - высокой намагниченности насыщения, а также учитывая экономические соображения, можно утверждать, что наиболее перспективная область применения ММ в триботехнике - это узлы трения, работающие при граничной или смешанной смазке, смазываемые лимитированным объемом масла дискретно через большие промежутки времени. Наиболее широко такие узлы представлены в космической технике, робототехнике и химическом машиностроении.

Перспективность применения МЖ в узлах трения в основном объяснялась возможностью ее подачи и удержания в зоне контакта под действием магнитного поля [2, 3]. Однако уже первые результаты изучения смазочных свойств традиционных МЖ показали, что уровень их значительно ниже, чем у аналогичных по назначению масел. В частности, роль дисперсионной фазы МЖ при трении оказалась негативной, хотя полагалось из общих соображений, что она будет индифферентной. Более того, попытки применения МЖ в узлах трения, работающих преимущественно в граничном режиме смазывания, например, в шестеренчатых передачах, подшипниках скольжения, показали техническую и экономическую сложность реализации даже основного преимущества МЖ - магнитоуправляемости. Для удержания МЖ в узлах трения потребовалось создавать большие магнитные поля сложной топографии.

Таким образом, задача эффективного применения МЖ для смазки трибосопряжений оказалась не такой тривиальной, как представлялось первоначально, и требовала проведения серьезных исследований для ее решения.

Основная задача данного исследования состояла в разработке магнитного масла, сочетающего наряду с высокими магнитными

свойствами, смазочные свойства, не уступающие свойствам традиционных масел. Исходя из условий применения ММ и обеспечения их конкурентоспособности, к свойствам масел предъявляют дополнительные требования.

Магнитные масла должны:

- ✓ иметь низкую испаряемость при температурах 400 - 450 К;
- ✓ продолжительное время сохранять магнитную и коллоидную структуру;
- ✓ иметь пологую зависимость реологических свойств от температуры вплоть до 200 К;
- ✓ защищать фрикционный контакт от негативного воздействия окружающей среды (например, защищать от атмосферной коррозии), попадания каких-либо агрессивных жидкостей и т.д.

Создание ММ представляется необходимым проводить по следующим направлениям, которые не только не исключают, но и дополняют друг друга. Первое направление заключается в том, чтобы специальными присадками и наполнителями, а также путем оптимизации содержания компонентов улучшить смазочные свойства вакуумных магнитных жидкостей, имеющих хорошую временную стабильность структуры при повышенных температурах и воздействии неоднородных магнитных полей, а также оптимальную технологию получения. Это направление наиболее простое, но вероятность получения аномально высоких результатов незначительна, хотя и не исключено, что даже некоторые магнитные жидкости имеют хорошие смазочные свойства.

Второе направление заключается в создании многокомпонентного магнитного масла с целенаправленным подбором каждого из них. Например, ПАВ - стабилизатор дисперсных частиц должен не только хорошо адсорбироваться на частицах и предупреждать их агломерацию, но и препятствовать разрушению ими как граничного слоя смазки, так и непосредственно твердых поверхностей. Другой ПАВ (а может быть, и тот же самый) должен формировать прочный адсорбционный слой на поверхностях трения, предохраняющий их от металлического контакта и сильной адгезии. Второе направление предполагает значительно больший объем химико-технологических и триботехнических исследований и может быть успешным только при условии понимания процессов, протекающих на фрикционном контакте, смазанном магнитным маслом.

Остановимся на первом способе получения ММ. Известно достаточно большое количество апробированных магнитных жидкостей, на основе которых могут быть созданы магнитные масла. В первую очередь, учитывая физико-химические свойства, представляют интерес магнитные жидкости, содержащие силоксановую дисперсионную среду. За

основу были взяты силоксановые магнитные жидкости, предоставленные нам для исследований их разработчикам - Силаевым В.А., Орловым Д.В., Михалевым Ю.О. Технология получения на их основе различных силоксановых магнитных масел с магнетитовой дисперсной фазой принципиально остается одной и той же. Поэтому, покажем сущность технологического процесса на примере одного масла.

Для подшипников качения, низкоскоростных опор скольжения, зубчатых передач, различных уплотняющих устройств разработано магнитное масло - СМ-1, которое создано на базе магнитной жидкости С1-20.

В качестве дисперсионной среды в жидкости С1-20 используется кремнийорганическая жидкость ПЭС-5 (олигоэтилсилоксан). Отличительной чертой этой жидкости является низкая испаряемость, что особенно существенно в условиях заправки узла трения лимитированным объемом смазки. Дисперсной фазой является магнетит, ПАВ-стабилизатор магнитных частиц - жирная кислота. Для улучшения смазочных свойств при граничной смазке вводится противозадирная присадка.

Магнитную жидкость С1-20 получают по методу замены основы. Метод состоит из нескольких этапов. Вначале получают высокодисперсный магнетит в реакции химической конденсации:



После промывки магнетита от солей и аммиака до рН=7 проводят его пептизацию раствором жирной кислоты в углеводородном растворителе и удаляют воду. Далее суспензию вводят в смешанный растворитель, состоящий из ПЭС-5 и маловязкого летучего углеводорода. При этом объемное соотношение углеводорода к объему кремнийорганической жидкости должно быть 1:2, при уменьшении количества углеводорода происходит снижение концентрации магнетита в конечном продукте. Полученную суспензию перемешивают при температуре 50°C в течение 2 - 3 часов, после завершения пептизации удаляют остатки воды и низкокипящие компоненты в вакууме.

На заключительном этапе в магнитную жидкость для получения магнитного масла вводят присадки при температуре 40 - 50°C и тщательном перемешивании. Необходимым условием для этого является не только хорошая совместимость присадки с дисперсной средой, но и достаточно высокое средство ПАВ-присадки с углеводородной частью ПАВ-стабилизатора. Это объясняется следующим. Экспериментальные исследования смазочных свойств от содержания присадки показали, что они достаточно эффективны лишь при высокой концентрации - 15 - 20% мас. При этом существенно изменяется состав дисперсионной среды, что

может сказаться на коллоидной устойчивости магнитных масел и, соответственно, на других функциональных свойствах.

Исследование влияния присадки на коллоидную устойчивость и смазочные свойства магнитной жидкости С1-20 показали, что наиболее эффективными являются хлорсодержащие присадки совол и ИХОС-3Н2ТЭ. Магнитное масло СМ-1 в качестве противоизносной присадки содержит 15% совола. Намагниченность насыщения масла 18 - 24 кА/м, вязкость 5 - 15 Па·с.

Магнитное масло СМ-1 обладает целым рядом достоинств: широким температурным диапазоном работы (от -40 до +100°С), низкой испаряемостью, хорошей устойчивостью в магнитных полях, стабильностью свойств при трибовоздействиях. Магнитное масло СМ-1 нетоксично, относится к трудновоспламеняющимся материалам, пожаро- и взрывобезопасно. СМ-1 может работать в контакте с некоторыми химическими средами, например, водой. Магнитное смазочное масло устойчиво в магнитном неоднородном поле и поле сил тяжести. Некоторые общие сведения о масле указаны в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики магнитного масла СМ-1

Показатели	Значение
Плотность при температуре 20° С, г/см ³ , не менее	1,15
Эффективное значение предела текучести в интервале скоростей сдвига 200 ... 4800 с ⁻¹ , н/м ² , не менее	1000
Намагниченность при напряженности магнитного поля в интервале 500 ... 700 кА/м, не ниже	15
Работоспособность на 5-шариковой машине трения ПМТ, мин., не менее	
при температуре 150° С	50
при температуре 200° С	20
Испытание на коррозию	Выдерживает

Поскольку смазочные свойства ММ наиболее важны при граничном трении, именно этот режим моделировался на экспериментальных установках. Все узлы трения, в которых целесообразно использовать ММ, в которых важны смазочные свойства, можно условно разбить на две группы.

К первой, относятся узлы с относительно низкими контактными давлениями: до 5 - 10 МПа и небольшими скоростями скольжения, из-за чего создаются неблагоприятные условия для перехода к гидродинамической смазке. Это могут быть подшипники или направляющие скольжения.

Ко второй группе относятся узлы с высокими контактными давлениями - до 2 ГПа, которые также не благоприятствуют переходу от

граничной к гидродинамической смазке. К таким узлам относятся шестеренчатые передачи и подшипники качения, в которых происходит линейный или точечный контакт деталей.

Испытания магнитного масла проводили на стендах, работающих по схемам трения торец цилиндра - плоскость ($P_1 = 4,2$ МПа) и шар-плоскость (давление $P_2 = 1,25$ ГПа). Скорость скольжения 0,5 и 0,24 м/с соответственно. Материалы трения: шар - сталь ШХ15, контртело - сталь 20Х, торец цилиндра - сталь СТ.3, контртело - бронза. Смазочные свойства магнитного масла для различных контактных давлений представлены в таблице 2.

Таблица 2. Смазочные свойства магнитного масла СМ-1 для различных контактных давлений

Тип смазочного материала	P1=4,2 МПа		P2=1,25 ГПа	
	Коэффициент трения	Интенсивность изнашивания	Коэффициент трения	Диаметр пятна износа, мм
Магнитное масло СМ-1 без магнитного поля	0,08	0,6.10 ⁻⁸	0,16	0,42±0,02
Магнитное масло СМ-1 с магнитным полем	0,04	0,3.10 ⁻⁸	0,13	0,35±0,03

Таким образом, показано, что нанодисперсные магнитные смазочные материалы обладают достаточно высокими антифрикционными свойствами при различных режимах трения. Кроме того, хорошие магнитные свойства материалов, обеспеченные ферромагнитными наночастицами, позволяют на их основе создавать принципиально новые трибоузлы, работающие автономно в гидродинамическом режиме смазки [3]. Применение трибоузлов нового поколения поможет поднять качество современного оборудования на более высокий уровень.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 08-08-00179-а).

Библиографический список

1. *Розенцвейг, Р.* Феррогидродинамика / Р. Розенцвейг. – М.: Мир, 1989. – 356 с.
2. *Орлов, Д.В.* Магнитные жидкости в машиностроении / Д.В. Орлов, Ю.О. Михалев, Н.К. Мышкин, В.В. Подгорков, А.П. Сизов. – М.: Машиностроение, 1993. – 272 с.
3. *Болотов, А.Н.* Триботехника магнитопассивных опор скольжения / А.Н. Болотов, В.Л. Хренов. – Тверь: ТГТУ, 2008. – 124 с.