

**Соловьев С.Н.,
Трофимова Е.В.**
Национальный университет
кораблестроения им. адм. Макарова,
г. Николаев, Украина

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ МАГНИТНЫХ МАСЕЛ

Введение

Магнитные масла (ММ) представляют собой взвеси, состоящие из нескольких компонент: жидкости-носителя (основа), магнитных частиц и поверхностно-активных веществ (ПАВ). Свойства магнитных масел определяются свойствами этих элементов, их сочетанием, концентрацией и совместимостью.

Свойства ММ должны коррелироваться с режимами трения. Магнитные масла, удовлетворяющие жидкостное трение, могут оказаться неработоспособными для полужидкостного или граничного трения. Например, вязкость магнитных масел, используемых для режимов граничного трения, имеет предельные значения, исходя из возможной потери магнитной управляемости.

В общем случае магнитные масла должны отвечать следующим основным требованиям, предъявляемым условиями эксплуатации:

- хорошие смазочные свойства;
- низкая испаряемость во всем диапазоне рабочих температур;
- высокая химическая стойкость;
- высокая длительность сохранения коллоидной структуры;
- низкая вязкость;
- стабильность магнитных свойств масла.

Требования к жидкостям, представляющим собой основу (масла, синтетические жидкости и пр.), концентрируются возле проблем, связанных с трибосвойствами и ресурсом, исходя из целесообразности однократной или возобновляемой заправки узла трения магнитным маслом. Эти требования противоречивы. В реальных ММ их удовлетворяет разумный инженерный компромисс [1].

Несмотря на то, что магнитные масла предназначены для смазки, триботехнические свойства при их создании во многом подчиняются другим элементам качества: испаряемости, вязкости. Магнитные масла используются для смазки трущихся пар специального назначения при незначительных объемах и затрудненной циркуляции ММ. Эти особенности приводят к ограничениям по скоростям и нагрузкам в связи с возникающими температурными полями [2].

Высокая испаряемость приводит к постепенному увеличению вязкости основы.

Повышение вязкости сопровождается ростом рабочих температур, что само по себе является ограничением работоспособности узла трения. Кроме того, рост температур вызывает дестабилизацию коллоидной системы магнитного масла, повышению химической активности, в частности к окислению. Вместе с тем, повышение температуры приводит к снижению вязкости. Процессы увеличения вязкости в связи с испаряемостью и уменьшением ее с ростом температуры протекают по нелинейным закономерностям.

В общем случае, следует стремиться к использованию жидкостей-основ в магнитных маслах с наименее возможной вязкостью, что не позволяет применять основы с наилучшими триботехническими свойствами и низкой испаряемостью.

Масла становятся магнитными при введении в их состав ферромагнетиков. Наилучшим из них остается железо. Однако в связи с высокой активностью к окисляемости оно практически не применяется. Чаще других в магнитных маслах используется магнетит Fe_3O_4 , получаемый в результате различных химических реакций. Магнитные свойства ММ зависят от размера магнитных частиц, их геометрии и объемной концентрации. В основном магнитные качества определяются концентрацией магнетита в жидкости-основе, чем она выше, тем сильнее проявляется магнитное влияние на магнитные масла [3].

С целью исключения слипания частиц магнетита в ММ вводятся поверхностно-активные вещества.

Формулирование проблемы

Достижение компромисса взаимодействия агентов магнитных масел в исходном состоянии, при наложении магнитного поля, в условиях трения и изнашивания рабочих поверхностей – сложная научная и инженерная задача.

Необходимо дифференцированно подходить к оптимизации состава ММ, используемых при гидродинамическом трении и в условиях граничного трения.

Свои ограничения вносят режимы эксплуатации узлов трения, смазываемых магнитными маслами (нагрузка, скорость, температура).

Вместе с тем имеются некоторые принципиальные подходы к созданию магнитных масел (жидкостей), которые следует учитывать при работе над составами ММ.

Целью настоящей работы является формулирование общих проблем оптимизации составов ММ и некоторых соответствующих рекомендаций.

Решение проблемы

В настоящее время в качестве дисперсных сред (жидкостей-основ) в ММ рекомендуется применение вакуумных масел, зарубежных жидкостей: Ariezon-201, Алкарен-Д24С (Россия), силиконов. Все они обладают высокой химической стабильностью, малой испаряемостью и удовлетворительной вязкостью.

В таблице приведены основные характеристики применяемых дисперсных сред.

Характеристики жидкостей-носителей (основы)

Наименование	Описание	Давление пара, P , при 100°С в Па	Вязкость, η , при 40°С в Па·с
AP201	Ariezon, жидкость на основе вакуумного масла	$2,4 \cdot 10^{-3}$	0,0220
L9	Вакуумное масло	$2,6 \cdot 10^{-3}$	0,030
BM-3	Вакуумное масло	$1,33 \cdot 10^{-2}$	0,012
ТКп	Трансформаторное масло	-	0,011
Алкарен-Д24С	Синтетическое масло	-	0,040

В условиях граничного трения рабочее поведение узла определяется смазочными свойствами магнитного масла, в то время как в области жидкостного трения преобладают вязкостные свойства смазочного материала. В гидродинамическом режиме масло подвергается высоким касательным напряжениям, приводящим к соответствующему температурному полю. Чем выше вязкость, тем выше температура.

В общем случае нужно стремиться к использованию основ наименьшей вязкости. Однако, не все так однозначно. Этому совету можно следовать во всех случаях, когда проектируются узлы с возобновляемым поступлением ММ.

Тогда, когда предусматривается одноразовая заправка ММ, предпочтение требуется отдавать не сочетанию вязкость–температура, а испаряемости и стабильности. Тем более что использование основ с повышенной вязкостью, приводящей к росту температурного режима, компенсируется снижением значений вязкости при увеличении температур.

Вязкость магнитной суспензии больше вязкости несущей жидкости. Наличие взвешенных частиц увеличивает скорость диссипации энергии при течении жидкости. Поведение магнитной суспензии без наложения внешнего магнитного поля не отличается от случая немагнитных коллоидов твердых частиц, взвешенных в жидкости. Поэтому для определения вязкости магнитных жидкостей без влияния магнитного поля можно использовать известные теоретические модели, связывающие вязкость смеси η с вязкостью несущей жидкости η_0 и объемной долей твердой фракции Φ [3].

При допущении сферической формы частиц без оболочек и малой концентрации частиц в жидкости можно записать:

$$\frac{\eta}{\eta_0} = 1 + \frac{5}{2} \Phi. \quad (1)$$

Для больших концентраций применимо выражение:

$$\frac{\eta}{\eta_0} = \frac{1}{(1 + a\Phi + b\Phi^2)}. \quad (2)$$

Максимальная концентрация, $\Phi_c = 0,74$, соответствует плотной упаковке сфер.

Если сферические частицы радиуса r покрыть однородным слоем поверхностно-активного вещества (ПАВ) толщиной δ , то они займут иную объемную долю. Анализ показывает, что при $\delta = 2$ нм диаметр частицы d равен 4,8 нм [3]. Сильно концентрированные магнитные жидкости (высокое значение поля насыщения магнитного момента) максимальную текучесть приобретают с частицами больших радиусов r_{\max} , сферической формы, покрытых ПАВ минимальной толщины δ_{\min} .

Такие предпочтения противоречат условиям устойчивости коллоида и триботехнологическим требованиям рабочих поверхностей.

Решающее значение на состояние и поведение магнитных масел имеет объемная доля дисперсной фазы (магнетита), рис. 1.

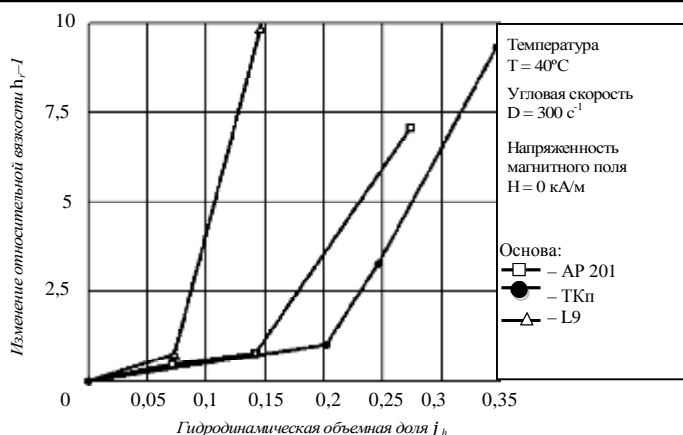


Рис. 1 – Зависимость изменения вязкости от гидродинамической объемной доли частиц

С увеличением объемной доли частиц вязкость увеличивается. Учитывая влияние магнетита на износ [4, 5] объемную долю дисперсной фазы следует выбирать наименьших величин, достаточных для реализации управляемости и удержания ММ в заданных скоростных режимах работы устройств.

В присутствии магнитного поля вязкая диссипация увеличивается. Если векторы течения жидкости и магнитного поля параллельны, наличие намагниченности не влияет на коэффициент вязкости. Если эти векторы перпендикулярны, то вклад намагниченности в коэффициент вязкости максимален.

С возрастающей напряженностью магнитного поля вязкость повышается и ньютоновский характер текучести изменяется к структурновязкому, рис. 2.

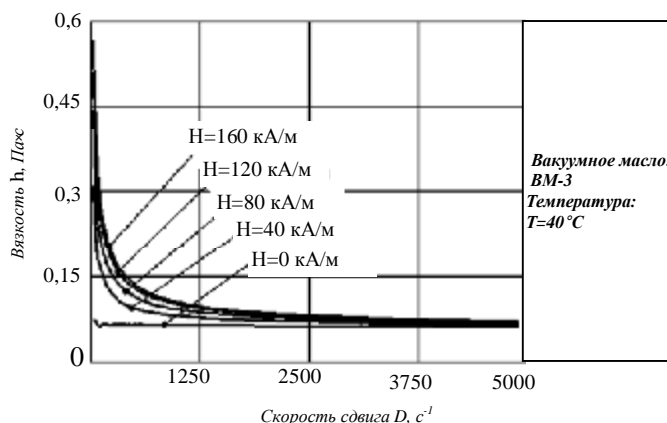


Рис. 2 – Изменение вязкости ММ

Работоспособность узла трения смазываемого ММ во многом определяется коллоидной стабильностью масла. Время расслоения ММ зависит от его свойств, величины и градиента магнитной индукции [6], что можно представить в виде:

$$t = \frac{g \cdot \eta \cdot h}{2 \cdot r^2 \cdot M \cdot \Delta B}, \quad (3)$$

где g – ускорение силы тяжести;

η – динамическая вязкость дисперсионной фазы ММ;

h – половина величины зазора;

r – радиус частицы магнетита;

M – намагниченность ММ;

ΔB – индукция магнитного поля.

Если принять величину зазора за конструктивную константу, то можно видеть, что на стабильность влияет вязкость дисперсной среды, показатели магнитного поля, особенно, величина магнетита, чем она больше, тем скорее произойдет потеря стабильности ММ. При этом следует учитывать, что распределение частиц помола магнетита указывает на повышенное количество частиц порядка 8 - 10 нм. Кроме того, наименьшее абразивное влияние оказывают частицы размерами порядка 3 - 4 нм. Поэтому, все указывает на целесообразность использования частиц меньших размеров.

Приведенная формула (3) несовершенна, например, в ней отсутствуют характеристики ПАВ, которые влияют на стабильность ММ.

Повышению стабильности физико-химических свойств ММ способствует замена гидрофильных ПАВ, применяемых для стабилизации высокодисперсного магнетита, на гидрофобные ПАВ.

В магнитном масле [7] в качестве гидрофобного стабилизатора использована синтетическая нафтеновая кислота «СНК(Д)-4», имеющая стабильные состав и структуру молекулы.

Способ получения магнитного масла состоит в следующем.

Растворяют $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ в дистиллированной воде, затем растворяют $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ в дистиллированной воде при температуре 35 °С. Растворы солей, не смешивая предварительно, вводят в 25 %-ный раствор аммиака при перемешивании.

Смесь подогревают до 45 °С и вводят постепенно гидрофобный стабилизатор «СНК(Д)-4», не переставая подогревать до 50 °С.

При температуре 50 °С и перемешивании в смесь вводят вакуумное масло – ВМ-3, нагревая ее до 55 °С. Осуществляется отделение застабилизированного магнетита (Fe_3O_4) от маточного раствора. Нагревание прекращают, отстаивают на магнетите 10-15 мин., сливают воду; промывают дистиллированной водой до рН 8-9, максимально удаляют воду.

Остаток при перемешивании нагревают до 50 °С и добавляют стабилизатор «СНК(Д)-4» и отделяют на магните остаток воды.

Нагревают при перемешивании до 55 - 60 °С и постепенно добавляют вакуумное масло (ВМ-3), отстаивают на магните и максимально удаляют воду

Полученную реакционную массу при перемешивании нагревают до 80 °С и диспергируют в течение одного часа. Изготовленные ММ центрифугируют в течение одного часа при 10000g, что позволяет отделять магнитную жидкость от более стойкой коллоидной дисперсной фазы. Магнитная жидкость при этом не расслаивается и имеет стабильные свойства: намагниченность – 85 кА/м (1100Гс); плотность – 1,6 г/см³.

Представление о существенном преимуществе смазочной способности магнитной жидкости в сравнении с дисперсной средой, на основе которой она изготовлена [8], сменилось устойчивым пониманием, что эти способности в лучшем случае равны. Как правило магнитные жидкости по этому показателю проигрывают [1].

С целью улучшения триботехнического качества вводят присадки, повышающие задиростойкость, свойства масляной пленки, организующие избирательный перенос.

Выводы

1. Не существует однозначных рецептов подбора ММ для различных узлов трения. Проектирование и подбор магнитного масла для смазывания механических систем – сложная компромиссно-оптимизационная проблема.

2. Имеется по-крайней мере три области использования ММ, определяющих их принципиальные различия по составу: гидродинамическое трение, граничное трение и количество заправок (одноразовые, возобновляемые).

3. Приведены рекомендации по созданию магнитных масел с учетом количественного и качественного подбора дисперсной среды, дисперсной фазы и ПАВ.

Литература

1. Болотов А.Н. Триботехника магнитопассивных опор скольжения [Текст]: монография / А.Н. Болотов, В.Л. Хренов. Тверь: ТГТУ, 2008. – 124 с.

2. Patzwald R. Magnetische Flüssigkeiten als Schmierstoff in hydrodynamischen Gleitlagern. Berlin: PTZ, 2001. – 200 s.

3. Розенцвейг Р. Феррогидродинамика: Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 386 с.

4. Сачек Б.Я., Логинов А.Р. Исследование изнашивания бронзы в жидкостях-носителях ФМЖ. Плес-4-3, 1985. – С. 83-84.

5. Соловьев С.Н., Трофимова Е.В. Реализация режима избирательного переноса в магнитожидкостных устройствах. «Проблемі техніки», Одеса: ОНМУ, 2003. – №3. – С. 62-68.

6. Сайкин М. С. Разработка магнитожидкостных герметизаторов вращающихся валов [Электронный ресурс] // – URL: <http://sibac.info/index.php/2009-07-01-10-21-16/1387-2012-03-02-16-42-14.html> (дата обращения: 02.03.12).

7. Патент України № 31937 А. Спосіб одержання феромагнітної рідини. / Соловйов С.М., Шевченко Н.Д., Кельїна С.Ю., Івахненко М.М., Нурієв Л.Г., Сергєєва О.В. (Україна) – Заявлено 24.11.1998; Опубл. 15.12.2000. Бюл. № 7-II

8. Польцер Г., Майсснер Ф. Основы трения и изнашивания: Пер. с нем./Под ред. Добычина М.Н. – М.: Машиностроение, 1984. – 264 с.