

## **МАГНИТНАЯ ЖИДКОСТЬ: ПРОРЫВ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОЕНИЕ**

Ёрматов А.А.

Научный руководитель: Деменкова Л.Г., ст. преп.

Юргинский технологический институт Томского политехнического университета,

Россия, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, 652055

E-mail: [lar-dem@mail.ru](mailto:lar-dem@mail.ru)

## **MAGNETIC FLUID: THE BREAKTHROUGH OF NANOTECHNOLOGY IN ENGINEERING**

Yormatov A.A.

Scientific Supervisor: senior lecturer Demenkova L.G.

Yurga Institute of Technology, TPU affiliate,

Russia, Yurga, Leningradskaya str., 26, 652055

E-mail: [lar-dem@mail.ru](mailto:lar-dem@mail.ru)

Одним из самых интенсивно развивающихся направлений современной науки является нанохимия магнитных материалов. Явление магнетизма известно человеку с давних пор, однако именно магнитный феномен нанообъектов сейчас – одна из самых обсуждаемых тем в научных журналах. Магнитные нанообъекты, к которым относятся и магнитные жидкости (МЖ), как оказалось по результатам исследований, могут нести в себе огромные возможности для перспективного применения в различных отраслях промышленности.

**Цель работы** – получить устойчивую магнитную жидкость и изучить её свойства.

### **Материал, оборудование и методика проведения исследования**

Нами был проведён обзор литературных источников, в которых рассматривались способы получения, а также физико-химические особенности поведения магнитных жидкостей [1-8], руководствуясь которыми, мы выбрали оптимальный способ получения магнитной жидкости.

МЖ представляет собой золь, коллоидный раствор, мицеллы которого образованы ферромагнитными наночастицами, распределёнными в воде или каком-либо органическом растворителе (керосине, эфирах). Наночастицы состоят из магнетита ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) или феррита ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  с оксидами других металлов – марганца, никеля, кобальта, цинка). В качестве стабилизатора золя используют растворы поверхностно-активных веществ (например, олеиновую кислоту), препятствующих коагуляции золя и его расслоению. Адсорбируясь на поверхности дисперсных наночастиц, поверхностно-активные вещества образуют защитное покрытие, являющееся своеобразным барьером [1], благодаря чему МЖ не расслаивается и сохраняет свои свойства неограниченный период времени. Изучение МЖ имеет огромное значение, т.к. обуславливает решение фундаментальных проблем в физике и химии, а также практическое значение в технике, способствуя использованию МЖ в промышленности [2, 4]. Достижения в области исследования МЖ стали реальными только при применении комплекса методов ряда наук – математической статистики, химической термодинамики, механики, оптики и магнетизма [1,2].

Физико-химические свойства МЖ определяются особенностями её составных частей (дисперсной фазы, дисперсионной среды, стабилизатора), которые можно значительно изменять в зависимости от потребностей. Поведение магнитной жидкости в магнитном поле представлено на рисунке 1.

Своеобразие МЖ заключается в сочетании высокой текучести и намагниченности – в десятки тысяч раз большей, чем у обычных жидкостей [5], т.к. каждая наночастица представляет собой постоянный магнит. Под действием теплового движения частицы перемещаются беспорядочно, а под действием магнитного поля происходит ориентация магнитных моментов частиц, при этом изменяются реологические свойства золя. Такое поведение может позволить применять МЖ в прикладных задачах. Ещё од-

ним интересным свойством МЖ является способность выталкивать тела с большей плотностью на поверхность при действии внешнего магнитного поля, что может способствовать их применению в горном деле для обогащения породы. Кроме того, МЖ могут иметь разный цвет, что позволяет использовать их в качестве магнитных красителей, и уже разработаны принтеры, где струя чернил отклоняется под действием магнита, образуя рисунки [6].



*Рис. 1. Поведение магнитной жидкости в магнитном поле [1]*

Важной областью применения МЖ является машиностроение. Магнитные смазки на основе МЖ являются более эффективными, т.к. размеры частиц очень маленькие, а кроме того, МЖ не вытекает из промежутков между трущимися деталями и может выталкивать загрязнения, являющиеся, как правило, немагнитными материалами. Очень перспективно применение МЖ для уплотнения зазоров между вращающимися деталями – втулками, валами, т.к. обеспечивает высокую герметичность. Магнитные жидкости расширяют арсенал средств повышения эффективности машиностроительного производства. Установлено [7], что МЖ, применяемые в качестве технологических жидкостей при резании металлов, могут повысить стойкость режущего инструмента, качество обработки поверхности, уменьшить силы резания и крутящие моменты, исключить срыв витков нарезаемой резьбы и поломку режущего инструмента при обработке деталей из титановых сплавов, коррозионно-стойких сталей и других трудно обрабатываемых материалов.

Области применения МЖ в машиностроении не ограничиваются описанными примерами использования их в качестве смазочных материалов и технологических сред при резании металлов. В литературе есть данные [6], что на основе применения МЖ в качестве рабочего тела можно создавать новые машиностроительные конструкции. Например, вместо широко используемых редукционных пневмоклапанов с чувствительным элементом и регулирующим органом в виде подпружиненной мембраны можно использовать пневмоклапаны, в которых роль этих элементов выполняет МЖ, расположенная в канале переменного сечения и находящаяся в зоне действия регулируемого магнитного поля. Исключение из конструкции механических подвижных элементов повышает надёжность редуктора.

Как показал обзор литературных источников [1-8], несмотря на активное изучение МЖ, пока ещё не предложены доступные высокопроизводительные методы их получения. Впервые МЖ были получены ещё в 1963 г. в США, однако только в настоящее время благодаря изучению их свойств значительно возрос спрос на них. В СССР исследование получения и областей применения магнитных жидкостей началось с работ Д.В. Орлова.

Учитывая, что МЖ представляет собой коллоидный раствор, для её получения надо размельчить

частицы дисперсной фазы до наноразмеров и обеспечить их стабилизацию в дисперсной фазе. Установлено [5], что коагуляция не происходит, если частицы дисперсной фазы имеют размеры 500-2000 нм. Добиться такой дисперсности можно двумя способами: либо размельчая крупные частицы, либо агрегируя молекулы. Кроме того, в процессе получения МЖ важно, чтобы мелкие частицы не вступили в какие-либо химические реакции. Диспергирование частиц дисперсной фазы осуществлялось при помощи как механических мельниц, так и ультразвука, электроплазменного измельчения и др., однако при этом не была достигнута нужная степень дисперсности. Кроме того, процессы оказались сложными, длительными и трудозатратными [4].

Более продуктивным оказалось использование методов конденсации – агрегации молекулярных частиц до коллоидной дисперсности. В карбонильном методе используется реакция разложения карбониллов металлов, при этом образуется очень чистый высокодисперсный продукт, например:  $\text{Fe}(\text{CO})_5 \rightarrow \text{Fe} + 5\text{CO}$ . Электролитическая конденсация проводится путём электролиза растворов солей металлов. Вакуумная конденсация паров металла также позволяет получить неплохие результаты.

Химическая конденсация магнетита была предложена ещё в 1938 г. В. С. Элмором [1]. Метод основан на реакции:  $2\text{FeCl}_3 + \text{FeCl}_2 + 8\text{NaOH} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \downarrow + 8\text{NaCl} + 4\text{H}_2\text{O}$ , проводимой при нагревании. Впоследствии метод был модифицирован [3]: вместо гидроксида натрия стали использовать гидроксид аммония, что позволило снизить температуру реакции. Полное осаждение образующихся частиц магнетита происходит только при достаточно большом, полуторакратном избытке осадителя. Таким образом, сущность метода химической конденсации магнетита заключается в его осаждении из солей железа (II) и (III) избыточным количеством раствора гидроксида аммония. Полученный осадок магнетита имел дисперсность порядка 10 нм, по своим магнитным свойствам образец приближался к монокристаллам магнетита  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  [3]. В настоящее время способами получения МЖ являются разнообразные комбинации вышеперечисленных методов, приводящие к получению стабильных МЖ [1]. Для получения МЖ в наших условиях был использован метод химической конденсации, основанный на реакции взаимодействия солей железа (II) и (III) с гидроксидом аммония. Модифицируя методики, описанные в литературе [1-2] за счёт применения сульфата аммония-железа (III)  $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ , а также изменив время выдержки на магните, мы получили стабильную МЖ (золь магнетита  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , в котором дисперсионной средой является вода, а также глицерин). В качестве стабилизатора использовали олеаты натрия и калия.

### **Результаты и обсуждение**

Нами установлено, что МЖ, обладающая хорошими магнитными свойствами, получается без прогрева исходной смеси с поверхностно-активными веществами, а также стадия выдерживания продукта реакции на магните может быть значительно сокращена. Были исследованы некоторые физико-химические свойства полученной МЖ. При изучении её оптических свойств путём рассмотрения явления опалесценции мы подтвердили наличие наночастиц, т.к. в полученном золе наблюдался конус Тиндалля. Было исследовано движение капли магнитной жидкости в жидкой среде (воде, этаноле, минеральном масле) в постоянном и переменном магнитном полях, в случаях, когда направление движения совпадает, перпендикулярно и составляет некоторый острый угол с направлением напряженности магнитного поля. Также проведено исследование совместного движения двух одинаковых капель магнитной жидкости в постоянном и переменном магнитном полях при различной величине и направлении напряженности магнитного поля. Кроме того, мы наблюдали движение магнитной жидкости в постоянном маг-

нитном поле, смоделировали поведение МЖ как высокоэффективной магнитной смазки. Мы изучили возможность направленного изменения свойств других материалов путём их обработки магнитной жидкостью на примере бумаги, ваты, различных видов тканей, древесного шпона. Выяснено, что наилучшими магнитными свойствами обладает магнитный материал на основе бумаги и ткани. Кроме того, разработаны составы технологических жидкостей, содержащих МЖ на основе керосина, минеральных масел, дистиллированной воды с содержанием магнетита от 5 до 15 %.

В настоящее время во многих отраслях промышленности образуются отходы, которые являются токсичными и содержат в своём составе значительное количество ценных компонентов. Одними из наиболее опасных отходов промышленности являются шлаки металлургического производства, богатые железом. Нами установлено, что шлаки электросталеплавильного производства ООО «Юргинский машиностроительный завод» содержат до 1,8 % по массе магнитных включений. Эти отходы относятся к четвёртому классу опасности, поэтому, накапливаясь в больших количествах в отвалах, они становятся источниками загрязнения окружающей среды. Вместе с тем шлаки могли бы стать ценным сырьём для изготовления магнитной жидкости, в которой испытывают потребность многие отрасли народного хозяйства.

Дальнейшая работа по данной тематике будет проводиться в направлении изучения других химических реакций, дающих удовлетворительные результаты для получения магнитной жидкости, в том числе и получение устойчивой магнитной жидкости с графитовым наполнителем, а также подбор различных стабилизаторов, позволяющих предотвратить расслоение МЖ на дисперсную фазу и дисперсионную среду.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобровицкий Д.А., Деменкова Л.Г. Получение магнитной жидкости и её использование в машиностроении // Современное состояние и проблемы естественных наук: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – Томск, 2014. – С. 203-205.
2. Бобровицкий Д.А., Деменкова Л.Г. Магнитная жидкость – наноматериал для машиностроения // Перспективные материалы в строительстве и технике (ПМСТ-2014): материалы Международной научной конференции молодых ученых. – Томск, 2014. – С. 631-635.
3. Контарев А.В. Применение магнитных жидкостей // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 10. – С. 67-70.
4. Сенатская И.И. Жидкость, которая твердеет в магнитном поле // Химия и жизнь. – 2012. – №10. – С. 43-47.
5. Магнитные жидкости – технология будущего? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.nanometer.ru/046.htm>. – 20.04.15.
6. Магнитные жидкости [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_physics/МАГНИТНЫЕ.htm](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_physics/МАГНИТНЫЕ.htm). – 16.03.15.
7. С. Пайпелл. Маловязкая магнитная жидкость, полученная коллоидной подвеской магнитных частиц [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://khd2.narod.ru/technol/magliq.htm>. – 24.04.15.
8. Важнейшие научные результаты физики и химии наноматериалов [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://ftiudm.ru/component/option.com\\_remository.htm](http://ftiudm.ru/component/option.com_remository.htm). – 28.03.15.