

Коагуляционные свойства магнитной жидкости, стабилизированной полидиметилсилоксаном

А. В. Лебедев

Институт механики сплошных сред УрО РАН
614013, Пермь, ул. Ак. Королева, 1
email: lav@icmm.ru

Исследована устойчивость магнитной жидкости, стабилизированной полидиметилсилоксаном (ПДМС), к спиртам насыщенного гомологического ряда. Использовались как спирты с линейным строением молекул, так и их возможные изомеры. Было установлено, что растворимость ПДМС стабилизированных частиц сильно зависит от длины молекул коагулянта и, что совсем неожиданно, от степени изомеризации. Первые опробованные коагулянты – этанол и ацетон не смешивались с ПДМС стабилизированной магнитной жидкостью. Следующий член гомологического ряда – пропанол линейного строения является эффективным коагулянтом, вызывающим резкое осаждение частиц. Между тем с изопропанолом коагуляция происходит очень плавно. Значительно сильнее отличаются изомеры бутанола. Нормальный бутанол вызывает коагуляцию жидкости при большей концентрации по сравнению с пропанолом. Тогда как трет-бутанол смешивается с ПДМС стабилизированной магнитной жидкостью в любой пропорции. Последний линейный спирт в гомологическом ряду, который может служить коагулянтом – гексанол-1. Следующие члены гомологического ряда уже не смешиваются с ПДМС стабилизированной магнитной жидкостью. Это характерно только для молекул линейной формы. Например, 2-этилгексанол (изооктанол) прекрасно растворяет ПДМС стабилизированные частицы. Это свойство может быть использовано для разделения смесей изомеров и линейных молекул.

Ключевые слова: магнитная жидкость; полидиметилсилоксан; коагуляция

Поступила в редакцию 09.07.2020; принята к опубликованию 24.08.2020

Coagulation properties of a magnetic fluid stabilized with polydimethylsiloxane

A. V. Lebedev

Institute of Continuous Media Mechanics UB RAS
Korolev St. 1, 614013, Perm
email: lav@icmm.ru

The stability of a stabilized with polydimethylsiloxane (PDMS) magnetic fluid to alcohols of a saturated homologous series was investigated. We used alcohols with a linear molecular structure and their possible isomers. It was found that the solubility of the PDMS stabilized particles strongly depends on the length of the coagulant molecules and, quite unexpectedly, on the degree of isomerization. The first tested coagulants, ethanol and acetone, did not mix with PDMS stabilized magnetic fluid. The next member of the homologous series, linear propanol, is an effective coagulant that causes a sharp precipitation of particles. Meanwhile, with isopropanol, coagulation occurs very smoothly. The butanol isomers differ even more. Normal butanol causes the liquid to coagu-

late at a higher concentration than propanol. Whereas tert-butanol is mixed with PDMS stabilized magnetic fluid in any proportion. The last linear alcohol in the homologous series that can serve as a coagulant is hexanol-1. The next members of the homologous series no longer mix with the PDMS stabilized magnetic fluid. This is typical only for linear molecules. For example, 2ethylhexanol (isooctanol) perfectly dissolves PDMS stabilized particles. This property can be used to separate mixtures of isomers and linear molecules.

Keywords: magnetic fluid; polydimethylsiloxane; coagulation

Received 09.07.2020; accepted 24.08.2020

doi: 10.17072/1994-3598-2020-4-05-08

1. Введение

Прошло вот уже более полувека, как были синтезированы магнитные жидкости – коллоидные растворы мелкодисперсных магнетиков. Несмотря на то, что теория магнитных жидкостей построена давно и надежно [1,2], за все это время они не потеряли своей актуальности как объект исследований. Очевидно, интерес к теме жидких магнетиков удастся поддерживать, вводя в рассмотрение исследователей какие-то новые виды материалов частиц, поверхностно-активных веществ, несущих сред и т.д. Например, использование в качестве стабилизатора линолевой кислоты [3] существенно расширяет диапазон рабочих температур магнитной жидкости. А стабилизация частиц с помощью полипропилен гликоля [4] позволяет получать магнитные жидкости на основе широкого спектра органических сред.

В этом же русле находится и недавно опубликованная работа [5], в которой описываются синтез и свойства магнитной жидкости, в которой магнетитовые частицы были стабилизированы молекулами полидиметилсилоксана (ПДМС). Использование ПДМС в качестве стабилизатора одновременно не только убивает двух зайцев, т.е. расширяет диапазон рабочих температур и многообразие базовых сред, но и решает одновременно проблемы работ [3,4]. Оказывается, что ПДМС стабилизацией частиц убивается ещё и третий заяц – частицы, покрытые слоем молекул полидиметилсилоксана, не нуждаются в несущей жидкости и сохраняют подвижность без нее. Таким образом, был получен новый тип двухкомпонентных магнитных жидкостей, сохраняющих работоспособность при отсутствии базовой среды.

Разделение избытка ПДМС стабилизатора и магнитных частиц с ПДМС покрытием в работе [5] производилось с помощью длительного центрифугирования. Этот способ был выбран вследствие больших сомнений в возможности отделения частиц с ПДМС оболочками от избыточного ПДМС стабилизатора с помощью коагуляции. Однако, как позже выяснилось, такое разделение оказывается возможным.

Предлагаемая работа посвящена исследованию коагуляционной устойчивости ПДМС стабилизи-

рованной магнитной жидкости к гомологическому ряду насыщенных спиртов.

2. Устойчивость ПДМС стабилизированной магнитной жидкости к предельным спиртам

Предпосылкой для сомнения в возможности разделения частиц с ПДМС покрытием и избыточного ПДМС стабилизатора с помощью коагуляции послужил тот факт, что добавление значительного количества изопропилового спирта к ПДМС стабилизированной магнитной жидкости не вызывает ее заметного расслоения. (Именно изопропанол был использован в работе [6] для коагуляции магнитной жидкости, стабилизированной олеиновой кислотой).

Как было выяснено в дальнейшем, изопропиловый спирт, прекрасно осаждающий жидкости на основе олеиновой кислоты, является очень слабым коагулянтом для ПДМС стабилизированных магнитных жидкостей. Как это ни удивительно, слабые коагуляционные свойства изопропанола коррелируют с его изомерностью.

С целью выяснения вопроса о возможности разделения ПДМС стабилизированной жидкости с помощью коагуляции и выбора лучшего коагулянта была исследована устойчивость ПДМС стабилизированной жидкости к ряду насыщенных спиртов. Для получения результатов в количественном виде была выбрана следующая методика. В серию пробирок одинакового внутреннего диаметра заливалось по 1 см³ ПДМС стабилизированной магнитной жидкости. Затем добавлялось нарастающее количество спирта: 1, 2, 3 см³ и т.д. После выдержки в течение суток измерялась длина верхней (прозрачной) и нижней (непрозрачной) частей столба жидкости. В опытах использовался низкоконцентрированный раствор частиц с ПДМС покрытием в избытке ПДМС стабилизатора – фракция, оставшаяся после длительного центрифугирования. Небольшая доля частиц с ПДМС оболочками в данном случае играет роль цветового индикатора совместимости стабилизирующих частиц оболочек и коагулянта. Используемый метод, разумеется, весьма приближенный. Однако уже даже с его помощью хорошо видна

разница между различными спиртами и их изомерами.

2.1. Пропанол

Поскольку метанол совсем не смешивается с углеводородами, исследование устойчивости было начато с этанола и ацетона (для стандартной магнитной жидкости оба являются сильными коагулянтами). Оказалось, что они также не смешиваются с ПДМС стабилизированной магнитной жидкостью и самим стабилизатором.

Следующие члены гомологического ряда это пропанол и изопропанол. В случае нормального пропанола коагуляция наступает пороговым образом при объемной доле спирта 3:1. При концентрации 1:1 и 2:1 раствор остается однородным. При доле спирта 3:1 и 4:1 на дне пробирки отделяется непрозрачный раствор с ПДМС стабилизированными частицами. Объем осадка был около 0.38 и 0.25 по отношению к исходному объему магнитной жидкости. Сверху остается смесь свободного ПДМС стабилизатора и пропанола. Таким образом, нормальный пропанол является весьма эффективным коагулянтом для ПДМС стабилизированных частиц.

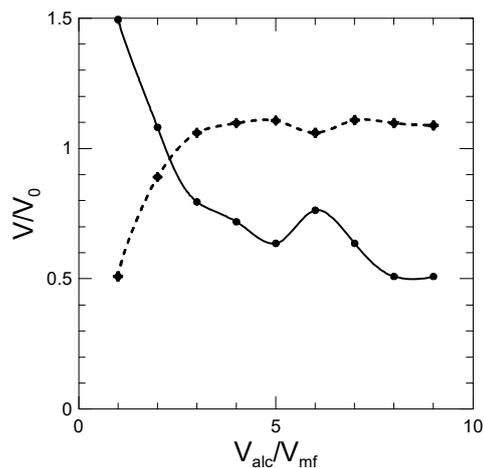
Совсем иначе выглядит расслоение ПДМС магнитной жидкости под действием изопропанола. При разбавлении им магнитной жидкости расслоение происходит очень плавно. Длина нижнего непрозрачного столба медленно убывает с ростом объемной доли изопропанола.

На рисунке представлены результаты для серии из девяти растворов. По оси абсцисс отложена объемная доля изопропанола 1:1, 2:1 и т.д. По оси ординат отложено отношение объема прозрачного либо непрозрачного столба жидкости к начальному объему спирта или магнитной жидкости. Из рисунка хорошо видно, что с увеличением объемной доли изопропанола непрозрачная часть столба с магнитными частицами плавно убывает, асимптотически стремясь к постоянной величине 0.5 от ее первоначального объема.

2.2. Бутанол

Бутанол в отличие от пропанола имеет уже четыре изомера, и их действие на ПДМС стабилизированную магнитную жидкость радикально отличается друг от друга. Коагуляционные свойства нормального бутанола схожи с н-пропанолом: расслоение начинается при объемной доле спирта 3:1. Объем отделившейся фракции с магнитными частицами равен четверти исходного объема жидкости.

Следующий изомер бутанола – 2-метилпропанол (изобутанол). Он так же является коагулянтом, но более слабым. Расслоение начинается при объемной доле спирта с 5:1. Величина осадка составляет 0.5 от исходного объема магнитной жидкости.



Зависимости относительного объема прозрачной и непрозрачной частей раствора от объемной доли изопропанола. Сплошная линия – часть с магнитными частицами. Прерывистая линия – прозрачная часть

Два других изомера – бутанол-2 и трет бутанол совсем не вызывают коагуляции и, соответственно, не годятся на роль коагулянта. Оба этих изомера смешиваются с ПДМС стабилизированной магнитной жидкостью в любом соотношении вплоть до 10:1.

2.3. Пентанол

Было опробовано два изомера: нормальный пентанол и 3-метилбутанол (изоамиловый спирт). Аналогично н-пропанолу и н-бутанолу, н-пентанол является весьма эффективным коагулянтом. Расслоение также наблюдается при объемной доле спирта 3:1.

Изопентанол тоже вызывает коагуляцию ПДМС стабилизированных частиц, но при более высокой концентрации 4:1.

2.4. Высшие спирты

Было исследовано несколько представителей спиртов большой молекулярной массы: н-гексанол, н-октанол, н-деканол и 2-этилгексанол (изооктанол). Так же, как и низшие спирты линейного строения, н-гексанол вызывает коагуляцию ПДМС стабилизированных частиц. При этом расслоение наблюдается даже при меньшем значении объемной доли н-гексанола по отношению к жидкости – 2:1. Правда, при этом осадок имеет значительно больший объем – 0.76 от первоначального. По-видимому, здесь переходит в спиртовой раствор только небольшая часть свободного ПДМС.

В то время как н-гексанол еще может играть роль коагулянта, н-октанол и н-деканол совсем не смешивались с ПДМС стабилизатором и ПДМС стабилизированными частицами. Так же в литературе встречаются утверждения, что ПДМС среды не смешиваются и с н-додеканолом. Эти факты выглядят весьма удивительно при том, что с изо-

октанолом ПДМС стабилизированная магнитная жидкость прекрасно смешивается в любых соотношениях. Не исключено, что и другие изомеры высших спиртов также хорошо растворяют ПДМС стабилизированные частицы. Это свойство избирательного смешения можно использовать для разделения изомеров спиртов.

Были выполнены опыты по определению доли изооктанола, добавление которой обеспечивает смешение ПДМС стабилизированной магнитной жидкости с н-октанолом. Для этого в пробирку заливались в равных долях н-октанол и ПДМС магнитная жидкость. Изначально октанол и магнитная жидкость не смешивались. В пробирке наблюдалась четкая граница посередине столба. Затем небольшими порциями доливался изооктанол с перемешиванием и отстаиванием. При добавлении первой порции изооктанола в 0.1 от объема октанола объем верхней прозрачной части смеси немного уменьшается. При добавлении следующих частей изооктанола объем верхней прозрачной части столба практически не меняется. И только когда объемная доля изооктанола достигает 0.5 от объема октанола, раствор после смешения остается однородным.

3. Заключение

Исследована устойчивость ПДМС стабилизированной магнитной жидкости по отношению к насыщенным спиртам, как нормального строения, так и к их изомерам. Установлено, что нормальные спирты от пропанола до гексанола могут быть использованы как коагулянты. Их эффективность понижается с ростом длины углеводородной цепи.

Изомеризация молекул спиртов снижает их коагуляционные свойства вплоть до полной совместимости с ПДМС стабилизированными частицами.

Высшие спирты нормального строения, начиная с октанола, не смешиваются с ПДМС стабилизированной магнитной жидкостью. Однако изооктанол (2-этилгексанол, наиболее широко распространенный изомер октанола) смешивается в любом соотношении. На этом свойстве может быть разработана технология отделения изомеров высших спиртов.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Лебедев А. В. Коагуляционные свойства магнитной жидкости, стабилизированной полидиметилсилоксаном // Вестник Пермского университета. Физика. 2020. № 4. С. 05–08. doi: 10.17072/1994-3598-2020-4-05-08

Please cite this article in English as:

Lebedev A. V. Coagulation properties of a magnetic fluid stabilized with polydimethylsiloxane. Bulletin of Perm University. Physics, 2020, no. 4, pp. 05–08. doi: 10.17072/1994-3598-2020-4-05-08

Список литературы

1. Шлиomis М. И. Магнитные жидкости // Успехи физических наук. 1974. Т. 112. Вып. 3. С. 435–458.
2. Розенцвейг Р. Феррогидродинамика. М.: Мир, 1989. 357 с.
3. Лебедев А. В. Магнитная жидкость, стабилизированная линолевой кислотой // Коллоидный журнал. 2013. Т. 75. С. 431–435.
4. Lebedev A. V., Lysenko S. N. Magnetic fluids stabilized by polypropylene glycol // Journal Magnetism and Magnetic Materials. 2011. Vol. 323. P. 1198–1202.
5. Лебедев А. В., Лысенко С. Н., Гилев В. Г. Магнитная жидкость, стабилизированная полидиметилсилоксаном, остается жидкой без несущей среды // Коллоидный журнал. 2020. Т. 82. № 3. С. 339–345.
6. Пшеничников А. Ф., Лебедев А. В. Магнетитовый коллоид с высокой магнитной восприимчивостью // Коллоидный журнал. 1995. Т. 57. С. 844–848.

References

1. Shliomis M. I. Magnetic fluids. *Sov. Phys. Usp.*, 1974, vol. 17, pp. 153–169.
2. Rosensweig R. E. *Ferrohydrodynamics*, Cambridge, Cambridge University Press, 1985.
3. Lebedev A. V. Magnetic fluid stabilized with linoleic acid. *Colloid Journal*, 2013, vol. 75, no. 4, pp. 386–390.
4. Lebedev A. V., Lysenko S. N. Magnetic fluids stabilized by polypropylene glycol. *Journal Magnetism and Magnetic Materials*, 2011, vol. 323, pp. 1198–1202.
5. Lebedev A. V., Lysenko S. N., Gilev V. G. Poly(dimethylsiloxane)-stabilized magnetic fluid remains flowable in the absence of a carrier medium. *Colloid Journal*, 2020, vol. 82, no. 3, pp. 288–294.
6. Pshenichnikov A. F., Lebedev A. V. Magnetite colloid with high magnetic susceptibility. *Colloid Journal*, 1995, vol. 57, no. 6, pp. 800–804.