



Диканский Юрий Иванович
*Доктор физико-математических наук,
профессор физико-математического факультета
Ставропольского государственного
университета (СГУ).*



Рогов Игорь Павлович
Ученик лицея № 14 г. Ставрополя.

Исследование вязкости полимерсодержащих магнитных жидкостей

В статье рассказано об экспериментах, вызывающих структурные превращения полимера в магнитной жидкости под действием магнитного поля и выясняющих зависимость от поля вязкости такой жидкости. Исследование проведено в лаборатории магнитных наноматериалов Ставропольского государственного университета под научным руководством доктора физико-математических наук профессора *Ю.И. Диканского*.

Наблюдение образующихся под действием магнитного поля структур полимера

Для исследования была взята магнитная жидкость, содержащая жидкий немагнитный полимерный наполнитель. Как известно, магнитная жидкость, или феррожидкость, представляет собой дисперсный (состоящий из множества мелких частиц) раствор ферромагнитного вещества. Чем мельче его частицы, тем более высокодисперсным получается раствор. Если частицы ферромагнетика могут перемещаться в жидкости в процессе броуновского движения свободно и независимо друг от друга, то раствор называют коллоидным. Коллоидный рас-

твор – это высокодисперсная система с частицами размером порядка 10^{-7} - 10^{-5} см. Дисперсные коллоидные растворы ферромагнитных веществ сочетают свойства текучести и интенсивного взаимодействия с магнитным полем. Добавление в них жидких полимерных веществ позволяет получить среду, обладающую ещё рядом интересных структурных, электромагнитных и других свойств.

Автором исследовались структурные превращения, происходящие в тонком (~ 100 мкм) слое ферро-

жидкости, в которую добавлялись последовательно различные жидкие полимеры (резиновый клей, каучук и др.), под действием внешнего магнитного поля.

Кроме того, выяснились обусловленные этим особенности свойств таких сред. Возникающие в этом случае структурообразования в слое наблюдались при помощи оптического микроскопа.



Капли резинового клея в магнитной жидкости без воздействия магнитного поля имели округлую форму (рис. 1).

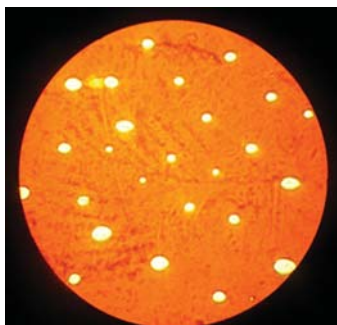


Рис. 1

При действии магнитного поля, направленного вдоль слоя, содержащего смесь феррожидкости с полимером, наблюдались вытяжение по-

лимерных включений размером 5-50 мкм и их трансформация в тонкие волокна, параллельные полю (рис. 2). Наблюдения показали, что существенную роль в образовании структуры этих включений играют взаимодействия между ними (что проявляется в зависимости получаемой картины от концентрации полимера в среде).

В случае резкой смены направления магнитного поля (на перпен-

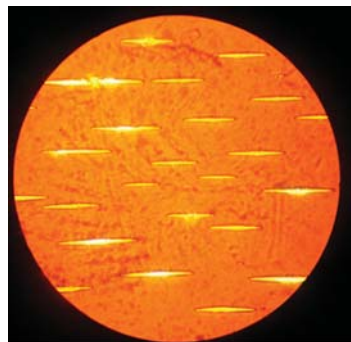


Рис. 2

дикулярное слою образца) образовывались длинные извилистые нити полимера, часто напоминающие синусоиды (рис. 3). С увеличением индукции магнитного поля происходило возрастание деформированности волокон и усложнение картины.



Рис. 3

При достаточно высоком содержании полимера (по объему ~ 40%) в магнитном поле, перпендикулярном слою образца, наблюдается образо-

вание развитой лабиринтной структуры (рис. 4 а). В случае же низких концентраций, когда взаимодействия между частицами полимера малы, его отдельные включения образуют красивые структуры, напоминающие хризантемы (рис. 4 б), а при сравнительно малых размерах частиц (~ 5 мкм) формируются гексагональные структуры, в узлах которых располагаются капли полимера.

Проведённые наблюдения показали, что полимерсодержащие магнитные жидкости приобретают интересные особенности и их свойствами можно управлять с помощью магнитного поля.



а



б

Рис. 4

Исследование вязкости полимерсодержащей феррожидкости

Вязкость (внутреннее трение) – это свойство жидкости оказывать сопротивление перемещению одной её части относительно другой, которое обуславливает появление сил внутреннего трения: одна сила действует со стороны слоя жидкости, движущегося быстро, на более медленный слой, ускоряя его, а вторая – со стороны слоя, движущегося медленно, на «быстрый» и тормозит его. Такая вязкость жидкости (её называют динамической) зависит от разных факторов (её химического состава, плотности, температуры и др.) и характеризуется коэффициентом вязкости η , который рассчитывается по так называемым эмпирическим (определяемым экспериментально) формулам.

Автором вязкость определялась с помощью вискозиметра – прибора для измерения вязкости по времени перетекания жидкости через капилляр. Полученные графики зависимости η от B показаны на рис. 5. Нижний график относится к случаю, когда индукция магнитного поля направлена вдоль скорости течения жидкости,

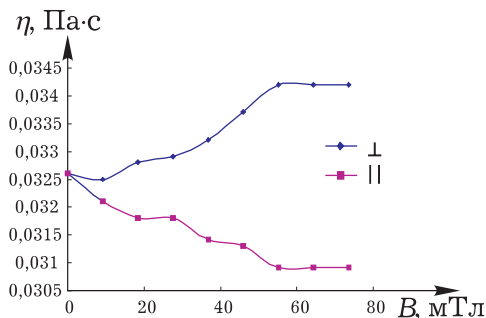


Рис. 5

а верхний график – когда индукция магнитного поля перпендикулярна скорости течения.

Можно сделать вывод, что при действии магнитного поля вязкость полимерсодержащей магнитной жидкости изменялась в зависимости от направления и значения индукции поля. В частности, когда индукция магнитного поля была направлена вдоль течения жидкости, происходило уменьшение её вязкости, когда перпендикулярно ему, – увеличение.

Далее исследование проводилось при помощи вискозиметрической установки с плоским каналом прямоугольного сечения. Схема её измери-

тельной части показана на рис. 6. Два резервуара для жидкости 1 вместе с соединяющим их горизонтальным каналом 2 расположены в области однородного магнитного поля, создаваемого катушками Гельмгольца 3. Исследуемая жидкость заполняла

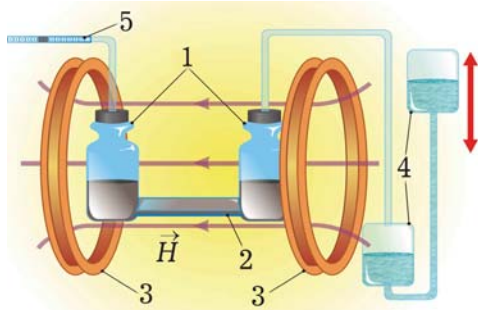


Рис. 6

канал, и часть резервуаров в течение всего цикла находилась в магнитном поле. Давление, под действием которого она текла по каналу, создавалось при помощи сообщающихся сосудов 4. Большая площадь поперечного сечения этих сосудов (около 100 см^2) позволяла поддерживать постоянным перепад давления в сосудах 1. Он устанавливался в нужном диапазоне значений путём изменения положения сообщающихся сосудов. Минимальное давление выбиралось таким, чтобы можно было пре-

небречь влиянием положения уровня исследуемой жидкости в резервуарах 1 на перепад давления в канале.

Время перетекания жидкости по каналу регистрировалось секундомером, объём определялся при помощи калиброванной трубки 5, внутри которой располагалась подвижная капля. Изменение её положения соответствовало объёму перетёкшей жидкости.

Измерительный канал представлял собой узкую щель шириной $0,1 \text{ мм}$ и длиной 50 мм между двумя полированными пластинами. (Его длина ограничивалась размером области однородности магнитного поля.) Ориентация магнитного поля относительно течения устанавливалась путём поворота всей измерительной части вискозиметрической установки.

Это исследование подтвердило зависимость вязкости полимерсодержащей феррожидкости от индукции магнитного поля, а также от направления магнитного поля относительно течения жидкости. Измерения показали увеличение вязкости среды при воздействии магнитного поля, перпендикулярного направлению перемещения жидкости, и уменьшение при их параллельности. Различие значений коэффициента вязкости для этих двух случаев достигало 60% .

Заключение

Таким образом, исследование вязкости полимерсодержащей феррожидкости в магнитном поле при различной его ориентации обнаружило анизотропию вязкости. Она может быть обусловлена выявленными процессами структурообразования, происходящими в такой среде под действием магнитного поля. Это даёт возможность управлять свойствами описанных сред с помощью внешнего магнитного поля.

