

К форме капли магнитной жидкости на пластине в вертикальном однородном магнитном поле

Баштовой В.Г., Рекс А.Г., Климович С.В., Рискаль А.В.

Белорусский национальный технический университет

Для решения задачи энергосбережения возникает потребность создания новых энергосберегающих технологий и разработки новых высокоэффективных устройств работающих, в том числе на основе использования магнитной жидкости [1-4]. Магнитные жидкости являются коллоидным раствором высокодисперсных магнитных наночастиц в жидкости-носителе. Покрытие частиц слоем поверхностно-активного вещества (ПАВ) предотвращает их слипание и, соответственно, оседание в течение времени. Объемы магнитной жидкости со свободной поверхностью имеют ряд специфических свойств, отличающих их от классических немагнитных жидкостей [3-4]. Это вытягивание капли магнитной жидкости в направлении магнитного поля.

В работе приведены результаты исследования формы капли магнитной жидкости, лежащей на твердой горизонтальной пластине (рисунок 1). На каплю действует вертикальное однородное магнитное поле. Из-за магнитного скачка давления на верхней части поверхности капли происходит деформация капли вдоль направления магнитного поля [4]. Капля находится в поле силы тяжести, которая противодействует вертикальному вытягиванию капли.

На рисунке 2 показана схема экспериментальной установки. Катушки Гельмгольца 1 являются источником вертикального однородного магнитного поля. Формирование капли 3 осуществляется на плоском дне прозрачной кюветы 2, установленной в рабочую область катушек Гельмгольца. Электромагнит запитан от источника постоянного тока 4. Индукция магнитного поля измеряется миллитесламетром 6 с датчиком Холла 5. Регистрация формы капель осуществляется цифровой фотокамерой с последующей обработкой

фотоматериалов на персональном компьютере (на рисунке не показаны). Катушки Гельмгольца обеспечивают возможность создания в рабочей области однородного магнитного поля с напряженностью до 30 кА/м. Максимальная неоднородность поля в объеме рабочей области размером 200x200x200 мм не превышает 1%. В области капли, имеющей максимальный объем до 400 мм³ неоднородность поля не превысила 0,05 %.

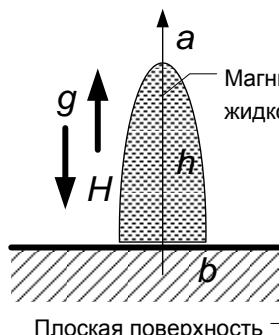


Рисунок 1. Геометрия задачи

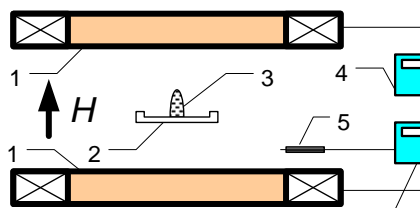


Рисунок 2. Экспериментальная установка

Для выполнения экспериментальных исследований по методике [5] был синтезирован набор образцов магнитных жидкостей на керосиновой основе с магнитной фазой жидкости – магнетитом. Керосин в качестве основы выбран из-за малой его вязкости., Некоторые физические свойства жидкостей приведены в таблице 1.

Таблица 1. Физические свойства образцов магнитной жидкости

Тип жидкости	Намагниченность насыщения M_s , кА/м	Плотность ρ , кг/м ³	Коэффициент поверхностного натяжения σ , Н/м
МК-23	23,7	1191	0,029
МК-34	34,2	1335	0,028

МК-52	52,1	1476	0,027
-------	------	------	-------

Экспериментально установлено, что форма капли определяется как характеристиками поля (его напряженностью, направлением по отношению к поверхности пластины) так и величиной объема. В экспериментах напряженность магнитного поля изменялась в диапазоне от нуля до критического значения, при котором развивается топологическая неустойчивость капли.

В вертикальном магнитном поле высота капли растет при увеличении напряженности поля, при этом соответственно диаметр ее основания уменьшается (рисунок 3).

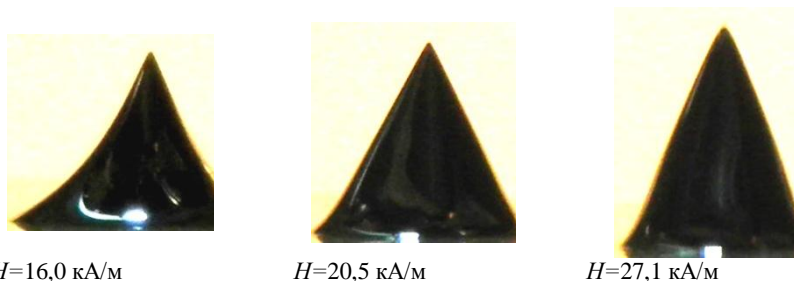


Рисунок 3. Фотографии капля магнитной жидкости МК-34 на пластине в вертикальном магнитном поле ($V=218 \text{ мм}^3$)

Наиболее значительно размеры капли изменяются в области малых магнитных полей. При увеличении напряженности поля зависимость размеров (высоты и диаметра основания) от поля ослабевает и стремится к предельному значению. Плавное изменение геометрических параметров капли происходит в некотором диапазоне напряженности магнитного поля.

Сравнение формы капель магнитной жидкости различных объемов при

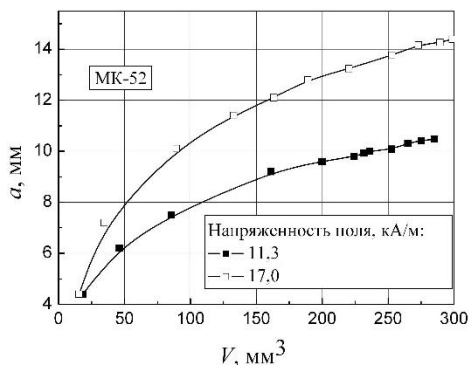


Рисунок 4. Зависимость высоты капля от ее объема при различных напряженностях магнитного поля

одинаковых напряженностях поля показало, что величина объема является одним из наиболее важных факторов, влияющих на ее форму. Во-первых, с увеличением объема увеличиваются высота и ширина капли. Во-вторых, степень увеличения

высоты капли выше у капель большего объема при росте напряженности поля. Влияние объема капли жидкости МК-52 на ее высоту при двух значениях магнитного поля показано на рисунке 4.

Изучение формы поверхности капли показало, что с увеличением напряженности поля боковая поверхность капли претерпевает изменение от вогнутой формы к выпуклой.

Эксперименты показали, что величина поля, при которой происходит переход от вогнутой к выпуклой боковой поверхности, увеличивается с ростом объема капли. В малых полях из-за смачивания жидкостью поверхности пластины, на которой расположена капля, и благодаря преобладающему действию силы тяжести поверхность капли имеет вогнутую форму. При увеличении поля поверхность капли плавно трансформируется в выпуклую. Вершина капли становится более острой, происходит также изменение макрокраевого угла контакта жидкости с твердой поверхностью.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.

Литература

1. Устройство ультразвукового контроля поверхности твердого тела: патент ВУ 9773 U 2013.12.30, МПК G 01N 29/04 .А.Р.Баев, В.Г.Баштовой, А.А.Моцар, А.Г.Рекс, О.С.Сергеева. – 2013 г.

2. Activetemperature differential control US Patent 5135048, МКИ G05D 23/19 F28F 013/00 / Behrle; Rainer, Lenski; Harald; Dornier System GmbH, Заявл. 12.08.1988; Опубл. 04.08.1992.

2. Баштовой В.Г., Берковский Б.М., Вислович А.Н. Введение в термомеханику магнитных жидкостей. - М.: ИВТАН СССР, 1985. - 188с.

3. Берковский Б.М., Медведев В.Ф., Краков М.С. Магнитные жидкости. - М.: Химия, 1989. - 240с.

4. Способ получения магнитной жидкости: патент ВУ 18260 на изобретение респ. Беларусь МКИ F 16F 15/03, F16F 7/10 / Л.В.Сулоева, В.Г.Баштовой, А.Г.Рекс, А.А.Моцар, П.П.Кужир, заявитель Бел.нац.техн.ун-т.