

Влияние однородного магнитного поля на форму капли магнитной жидкости

Рискаль А.В.

Научный руководитель: д.ф.-м.н. Рекс А.Г., н.с. Климович С.В..

Решение задачи энергосбережения ставит задачу создания новых технологий и разработки высокоэффективных устройств действующих на основе использования магнитной жидкости для передачи акустической, тепловой и электрической энергии [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. Капля магнитной жидкости, расположенная на плоской горизонтальной поверхности, в вертикальном однородном магнитном поле деформируется вдоль направления поля и стремится приобрести вертикальную конусоподобную форму.

В данной работе рассматривается полуограниченная капля магнитной жидкости, лежащая на горизонтальной твердой поверхности (рисунок 1). Воздействие внешнего однородного магнитного поля H организовано перпендикулярно поверхности, на которой расположена капля, и вызывает ее удлинение вдоль направления поля. В противовес ему на каплю магнитной жидкости действует сила тяжести g , которая вызывает сплющивание капли. Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 2. Основой установки является источник вертикального однородного магнитного поля (катушки Гельмгольца) 1. В рабочей области магнита установлена кювета 2 с плоским дном, на которой формируется капля магнитной жидкости 3. Питание катушек Гельмгольца осуществляется источником постоянного тока 4. Индукция магнитного поля измеряется датчиком Холла 5 и миллитесламетром 6. Регистрация формы капель осуществляется цифровой фотокамерой с последующей обработкой фотоматериалов на персональном компьютере (на рисунке не показаны).

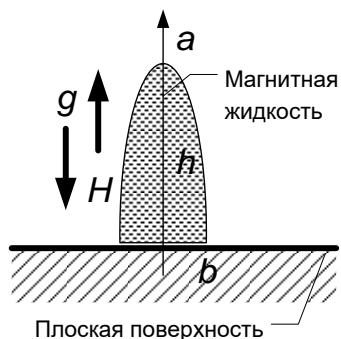


Рисунок 1 – Постановка задачи

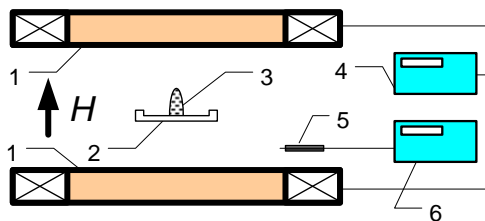


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки

Напряженность магнитного поля катушек Гельмгольца изменялась в диапазоне от 0 до 30 кА/м. Максимальная неоднородность поля во всей рабочей области не превышает 1 %. В области расположения капли объемом до 400 мм³ неоднородность поля не превышает 0,05 %.

Для выполнения экспериментальных исследований по разработанной в НИЛ ТМЖ БНТУ лаборатории методике [5] была синтезирована магнитная жидкость на основе керосина. В качестве жидкой основы выбран керосин, исходя из его малой вязкости, что дает его лучшее растекание на горизонтальной пластине по сравнению с другими носителями трансформаторным маслом и глицерином. Магнитная фаза у жидкости – магнетит. Основные физические свойства жидкости приведены в таблице 1.

Таблица 1. Физические свойства магнитной жидкости

Тип жидкости	M_s , кА/м	ρ , кг/м ³	σ , Н/м
МК-23	23,7	1191	0,029

Одними из главных факторов оказывающих влияние на форму капли магнитной жидкости, являются величина напряженности магнитного поля, а также его направление относительно ограничивающей твердой поверхности. При проведении исследования напряженность магнитного поля варьировалась от нуля до значения, соответствующего появлению неустойчивости капли. В вертикальном магнитном поле с увеличением его напряженности высота капли растет, при этом ширина ее основания уменьшается, что иллюстрируется рисунком 3.



$H=15,05$ кА/м

$H=17,36$ кА/м

$H=18,47$ кА/м

Магнитная жидкость МК-23, $V=133,5$ мм³

Рисунок 3 – Фотографии каплей магнитной жидкости в вертикальном магнитном поле

Наиболее сильное изменение размеров капли наблюдается в малых магнитных полях. В более сильных полях зависимость ослабевает. Плавное изменение геометрических параметров капли происходит в некотором диапазоне напряженности магнитного поля.

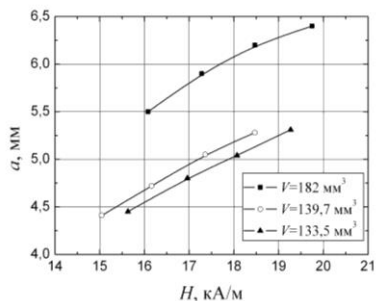
Исследования показали, существуют некоторые значения критических магнитных полей, при превышении которых происходит скачкообразный распад капли на две примерно одинаковые капли в направлении, перпендикулярном направлению поля.

Величина объема капли магнитной жидкости является одним из факторов, влияющих на ее форму. С увеличением объема капли увеличивается ее высота и ширина. Степень удлинения капли в поле зависит от ее объема, и она выше у капель большего объема.

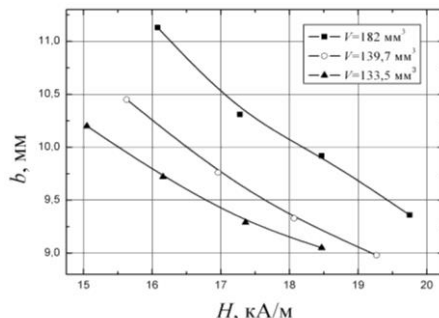
При изучении формы поверхности капли обнаружено, что при увеличении магнитного поля боковая поверхность капли изменяется от вогнутой формы к выпуклой. Эксперименты показали, что напряженность переходного поля, при которой происходит переход от одной формы к другой, возрастает с ростом объема капли для жидкостей.

При разных значениях напряженности внешнего однородного магнитного поля кроме ее удлинения с ростом поля, происходят также существенные изменения ее формы. В малых полях вследствие смачивания поверхности, на которой лежит капля, и значительному влиянию силы тяжести ее поверхность имеет вогнутую форму.

При увеличении поля поверхность капли становится выпуклой, а ее вершина все более острой, изменяется и угол контакта жидкости с твердой поверхностью.



(а)



(б)

Рисунок 4 – Зависимость высоты a (а) и диаметра b (б) капли от напряженности магнитного поля для магнитной жидкости МК-23

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 Active temperature 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.
- 3 Баштовой В.Г., Берковский Б.М., Вислович А.Н. Введение в термомеханику магнитных жидкостей. - М.:ИВТАН СССР, 1985. - 188с.
- 4 Берковский Б.М., Медведев В.Ф., Краков М.С. Магнитные жидкости. - М.: Химия, 1989. - 240с.
- 5 Способ получения магнитной жидкости: патент ВУ 18260 на изобретение респ. Беларусь МКИ F 16F 15/03, F 16F 7/10 / Л.В.Сулоева, В.Г.Баштовой, А.Г.Рекс, А.А.Моцар, П.П.Кужир, заявитель Бел.нац.техн.ун-т. – №а20120314, заявл. 02.03.2012, зарегистрирован 25.02.2014.