

УДК 537.84

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОБМЕНА И ЧАСТОТЫ ПАРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ КИПЕНИИ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ В ПЕРЕМЕННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

© 2011 г.

Е.М. Клименко<sup>1</sup>, А.Я. Симоновский<sup>1</sup>, В.Л. Холопов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ставропольский госуниверситет

<sup>2</sup>НИИ механики Московского госуниверситета им. М.В. Ломоносова

klimenkoevgeniya@mail.ru

Поступила в редакцию 16.05.2011

Приводятся экспериментальные результаты исследования влияния малых переменных магнитных полей на тепловой поток и частоту образования паровых пузырей при кипении магнитной жидкости на одиночном центре парообразования. Найдена зависимость теплового потока и частоты парообразования от величины приложенного переменного магнитного поля.

*Ключевые слова:* магнитная жидкость, тепловой поток, частота парообразования, магнитное поле, тепло- и массоперенос.

### Введение

Использование магнитной жидкости (МЖ) в качестве закалочной среды является одной из наиболее перспективных областей ее применения. В процессе закалки деталей в магнитной жидкости на их поверхности происходит переход от пленочного режима кипения к пузырьковому. Ранее исследовались механизмы влияния постоянного магнитного поля на процессы образования пузырьков пара при кипении магнитной жидкости на одиночном центре парообразования. Однако влияние переменных магнитных полей на процессы парообразования при кипении магнитных жидкостей до сих пор остается неизученным.

Исследуется влияние малых переменных магнитных полей на тепловой поток и процессы образования пузырьков пара при кипении магнитной жидкости на одиночном центре парообразования.

### 1. Метод измерения и экспериментальная установка

Изучение характеристик пузырькового кипения магнитной жидкости проводилось с использованием в качестве измерительной ячейки системы индукционных катушек. Метод измерения основан на возбуждении в витках катушки ЭДС индукции при изменении магнитного потока через поверхность витков во время образования паровых пузырей в объеме маг-

нитной жидкости, заполняющей катушку.

На теплоотдающей поверхности в магнитной жидкости образуется пузырек пара. Затем пузырек пара отрывается от нагревателя и падает в объем измерительной катушки. Появление парового пузыря в объеме магнитной жидкости приводит к искажению магнитного поля, первоначально существующего в рабочем зазоре катушки. Ток, индуцированный в измерительных катушках, приводит к всплеску на осциллограмме.

Экспериментальная установка, используемая для измерения теплового потока и частоты парообразования, представлена на рис. 1.

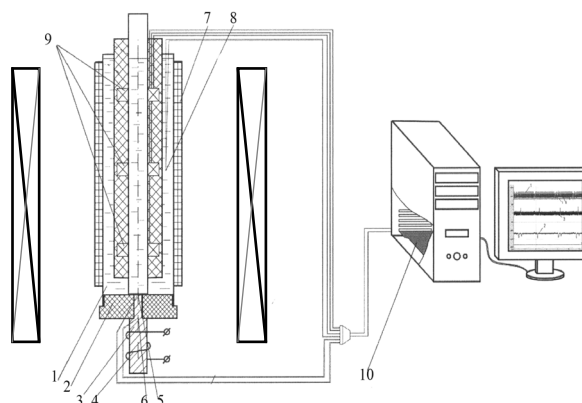


Рис. 1

В немагнитный цилиндрический контейнер / диаметром 20 мм и высотой 150 мм заливалась магнитная жидкость, представляющая собой коллоидный раствор магнетита в керосине, стабили-

зированный олеиновой кислотой, с объемной концентрацией дисперсной фазы 5.75 об.% и плотностью 1040 кг/м<sup>3</sup>.

Дном контейнера служила фторопластовая пробка 2, через осевое отверстие которой пропускali медный стержень 3 диаметром 1.5 мм, при помощи которого тепло подводилось к магнитной жидкости. Источником тепла служил электрический нагреватель 4. Вдоль оси медного стержня устанавливались спаи двух хромель-копелевых термопар. Одна из термопар 5 располагалась на теплоотдающем нагревателе, а вторая термопара 6 – на расстоянии 7 мм от первой. Контейнер 1 с жидкостью помещался во внешнее переменное магнитное поле, создаваемое катушками Гельмгольца 11. Катушки Гельмгольца располагались таким образом, чтобы объем магнитной жидкости находился в области однородности поля этих катушек. На поверхности контейнера с жидкостью устанавливался дополнительный нагреватель 7, обмотки которого выполнялись бифилярно, так же, как и у основного, во избежание возникновения собственных полей нагревателей.

Образование паровых пузырей в жидкости происходило на теплоотдающем торце. Как ранее отмечалось, для регистрации образующихся пузырьков пара использовалась система измерительных индукционных катушек 9, которые размещались в стеклянной охранной трубке 8, установленной в немагнитный цилиндрический контейнер. В процессе нагрева показания датчиков регистрировались на мониторе компьютера, работающего в режиме осциллографа, с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) 10.

Контейнер с магнитной жидкостью помещали в переменное магнитное поле с вектором напряженности, направленным перпендикулярно оси системы измерительных катушек. Показания термопар служили для расчета удельного теплового потока.

## 2. Результаты эксперимента и их обсуждение

Зависимости теплового потока  $q$  от температуры теплоотдающей поверхности, полученные в магнитных полях различной напряженности, представлены на рис. 2. Магнитному полю напряженностью 0.77 кА/м соответствует кривая 1; 1.2 кА/м – кривая 2; 1.54 кА/м – кривая 3; 1.8 кА/м – кривая 4; 2.3 кА/м – кривая 5; 2.7 кА/м – кривая 6. Обнаружено, что во всем исследуемом интервале напряженностей переменного магнитного поля в момент заки-

пания МЖ происходит заметный рост величины удельного теплового потока.

С увеличением температуры поверхности нагревателя величина удельного теплового потока монотонно уменьшается, но при установлении стационарного режима кипения тепловой поток вновь начинает возрастать. Максимального значения величина удельного теплового потока достигает при кипении МЖ в переменном магнитном поле с напряженностью 1.54 кА/м.

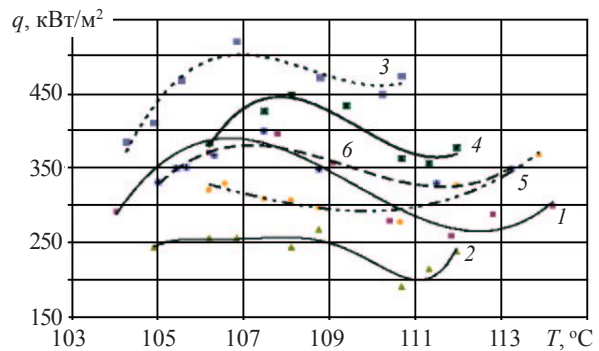


Рис. 2

На рис. 3 представлены зависимости частоты парообразования  $f$  от температуры теплоотдающей поверхности, полученные в магнитных полях различной напряженности. Магнитному полю напряженностью 0.77 кА/м соответствует кривая 1; 1.2 кА/м – кривая 2; 1.54 кА/м – кривая 3; 1.8 кА/м – кривая 4; 2.3 кА/м – кривая 5; 2.7 кА/м – кривая 6.

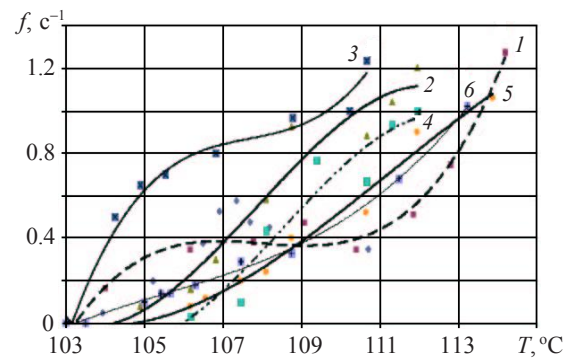


Рис. 3

Во всем исследуемом интервале напряженностей магнитного поля при температуре теплоотдающей поверхности меньше 103 °C пузырьки пара не наблюдались. При температуре нагревателя выше 104 °C на осциллограммах возникали одиночные периодически повторяющиеся всплески, связанные с ростом и отрывом пузырьков пара.

При повышении температуры нагревателя в интервале от 106 до 109 °C частота всплесков монотонно возрастала. Затем наблюдалось плавное уменьшение частоты парообразования в интерва-

ле температур теплоотдающей поверхности от 109 до 111 °С.

Дальнейшее увеличение температуры нагревателя приводило к резкому повышению частоты образования пузырьков пара. Максимальная частота образования паровых пузырей наблюдалась

при температуре нагревателя 110 °С во внешнем переменном магнитном поле напряженностью 0.77 кА/м.

*Работа выполнялась при финансовой поддержке РФФИ (проект № 11-01-00051-а).*

#### EXPERIMENTAL RESEARCH OF HEAT EXCHANGE AND THE FREQUENCY OF VAPORIZATION IN A MAGNETIC FLUID BOILING IN ALTERNATING MAGNETIC FIELD

*E.M. Klimenko, A.Ya. Simonovsky, V.L. Kholopov*

Results of experimental investigation of the influence of alternating magnetic fields with the intensity of 3 kA/m on the heat flow and frequency of vaporization for a boiling magnetic fluid are presented. Dependence of the heat flow and frequency of vaporization on size of the external alternating magnetic field is determined.

*Keywords:* magnetic fluid, heat flow, frequency vaporization, magnetic field, heat and mass transfer.