

03;12

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ТЕЧЕНИЕ ВОДЫ ПО ЗАЗОРАМ КОНТАКТА ТВЕРДЫХ ТЕЛ

© Л.С.Пинчук, Е.М.Марков, А.Г.Кравцов

Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого
АН Белоруссии,
246652 Гомель, Белоруссия
(Поступило в Редакцию 27 марта 1995 г.)

Экспериментально изучено влияние постоянного магнитного поля на капиллярное проникновение воды в зазор между приведенными в контакт плоскими образцами из немагнитных материалов. В отдельной серии экспериментов в зазор между образцами помещали волокнистые полимерные прокладки — источники магнитного поля. Установлено ускорение капиллярного растекания воды под действием магнитного поля, направленного по нормали к поверхности контактирования. Обнаруженный эффект объясняется изменениями вязкости воды и параметров смачивания ею твердых тел в результате магнитной обработки.

Введение

Влияние магнитных полей на смачивание и растекание жидкостей по поверхности твердых тел зарегистрировано в 60-е годы [1]. Интерпретация этих наблюдений была во многом спорной и не всегда соответствовала устоявшимся представлениям физики. Тем не менее исследования воздействия магнитных полей на жидкости в технических системах и биологических объектах продолжались, а их результаты были доведены до промышленного применения [2-4]. Интерес к таким исследованиям вызван не только их новизной, но и экологической чистотой магнитного поля как технологического фактора. Его применение привлекало возможностью уменьшить использование химических реагентов в производственных процессах, упростить конструкции машин и оборудования.

Цель настоящей работы — исследовать влияние магнитного поля на капиллярное проникновение воды по зазорам, образующимся в контакте твердых тел.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Пара образцов 1 и 2 в виде дисков диаметром 42 мм, образующих горизонтальный капилляр и изготовленных из немагнитных материалов (латунь, алюминий, кварцевое стекло), размещена внутри кольцевого соленооида 3. Оси дисков и соленооида совпадают, поэтому можно считать, что силовые линии магнитного поля соленооида направлены по нормали к поверхности дисков. В нижнем диске 2 имеется канал 4, соединенный трубкой 5 со стеклянным измерительным капилляром 6.

Методика измерений была следующей. Контактные поверхности образцов обезжиривали ацетоном, бензином и спиртом. При снятом верхнем диске систему трубок 5 и 6 заполняли водой. Перемещая измерительный капилляр 6 по вертикали, добивались появления на поверхности нижнего диска из канала 4 каплеы воды в виде выпуклого мениска. На каплю устанавливали верхний диск 1. Вода из канала 4 под действием капиллярного давления заполняла зазоры в контакте между дисками. Кинетику этого процесса регистрировали по снижению высоты h столба воды в измерительном капилляре 6.

Рабочие поверхности металлических дисков были обработаны шлифованием и притиркой. Стеклянный диск представлял собой плоскопараллельную оптическую пластину, плоскостность поверхностей которой соответствовала высокому классу точности. Средние значения высоты микронеровностей (R_a , мкм) на сопряженных поверхностях дисков, измеренные с помощью профилографа-интерферометров, составляли для металлических дисков 0.37, для стеклянных — 0.02. Расчет капиллярного давления воды, растекающейся по микроканалам между дисками, показывает, что величина расклинивающей силы значительно меньше силы тяжести верхнего диска. Поэтому зазор между дисками в каждой паре экспериментов (с наложением магнитного поля и без него) можно считать постоянным фактором, зависящим только от R_a .

Регистрация h в течение длительного времени при снятом верхнем диске показала, что испарение воды из канала 4 и измерительного капилляра 6 практически не влияет на результаты экспериментов.

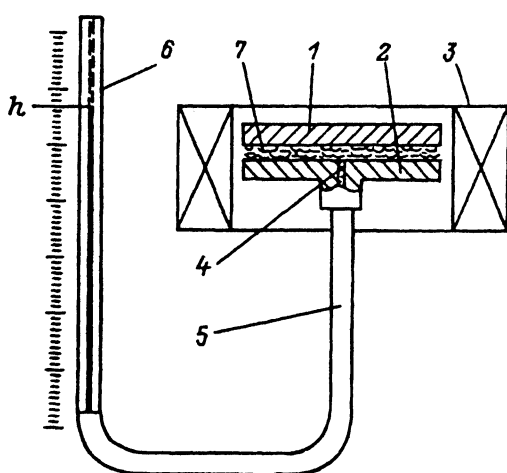


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

В отдельной серии экспериментов в зазор между дисками помещали волокнистые прокладки — источники постоянного магнитного поля. Их изготавливали распылением полимерного расплава (технология melt-blown). Прокладки на основе полиэтилена высокого давления (ПЭВД), наполненного (15% мас.) частицами феррита стронция со средним размером 5 мкм, имели диаметры волокон 15–20 мкм и пористость 40%. Прокладки в виде тонких листов намагничивали по нормали к поверхности контактирования до значения остаточной магнитной индукции $B_r = 0.2$ мТл.

Результаты экспериментов

На рис. 2 приведены кинетические зависимости капиллярного проникновения воды в зазоры между дисками. Начальный ниспадающий участок кривых соответствует отрезку времени 1.5–3.0 мин, в течение которого вода достигает края дисков. Пологий участок характеризует увеличение первоначальной зоны смачивания и испарение воды из зазора по периферии дисков. Это установлено путем визуальных наблюдений за системой с верхним стеклянным диском.

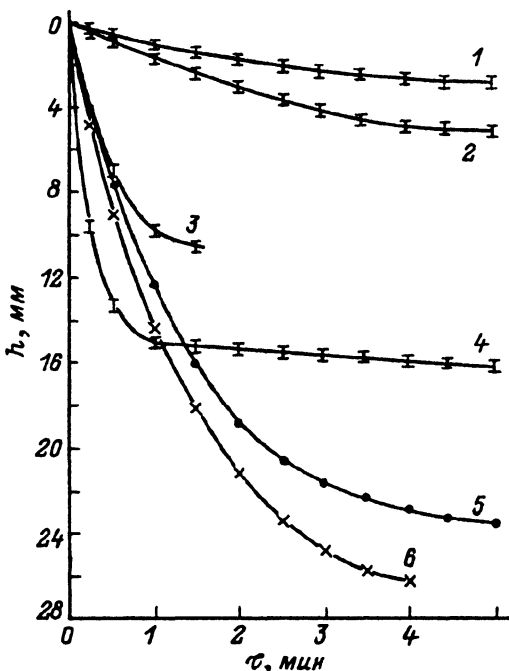


Рис. 2. Изменение уровня водопроводной воды в измерительном капилляре в зависимости от времени.

1, 2 — контакт латунных дисков; 3, 4 — латунного и стеклянного; 5, 6 — латунного и алюминиевого; 1, 3, 5 — соленоид отключен; 2, 4, 6 — соленоид включен и генерирует магнитное поле напряженностью $H = 0.7$ А/м.

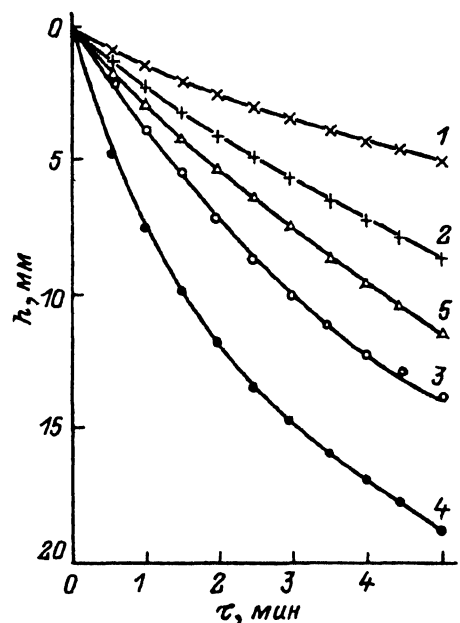


Рис. 3. Кинетические зависимости уровня водопроводной воды в измерительном капилляре, когда между латунными дисками помещена волокнистая прокладка толщиной 250 мкм из ферритонаполненного ПЭВД с магнитной индукцией B_r .

1, 2 — $B_r = 0$; 3–5 — 0.2 мТл; 1, 5 — соленоид отключен; 2, 3, 4 — в магнитном поле соленоида $H = 0.7$ А/м.

Растекающаяся жидкость	Напряженность магнитного поля соленоида, H (А/м)	Значения h (мм) спустя время (мин) от начала растекания				
		1	2	3	4	5
Водопроводная вода	$H = 0$	0.2	0.6	1.2	1.6	1.6
Дистиллят		1.6	4.1	6.4	8.3	9.6
Бидистиллят		2.5	5.2	8.2	10.5	12.0
Водопроводная вода	$H = 0.7$	0.7	2.1	3.6	4.5	4.6
Дистиллят		2.9	7.5	12.3	15.5	17.5
Бидистиллят		4.5	12.0	17.5	20.4	22.4

Графики (рис. 2) изменения величины h , характеризующего объем проникшей в зазор воды, разделяются на три группы. Последние соответствуют трем парам дисков, выполненных из разных материалов и отличающихся микрорельефом поверхности. Объем воды в исследуемом плоском капилляре зависит от величины зазора между дисками и площади смачивания водой поверхностей дисков. Средняя величина зазора между дисками определяется суммой высот микронеровностей на контактных поверхностях. Поэтому зазор между металлическими дисками примерно вдвое больше, чем между металлическим и стеклянным. Несмотря на это, изменение h для пар латунь-латунь (кривые 1, 2) значительно меньше, чем для пар латунь-стекло (кривые 3, 4). Причина состоит в неполном смачивании водой поверхности дисков. Визуально установлено, что проникновение воды в контакт латунного и стеклянного дисков сопровождается практически полным смачиванием последнего. В паре латунь-латунь фронт растекания достигает края дисков, когда площадь смачивания их поверхности не превышает $1/4-1/3$ номинальной площади контакта. Если усилить смачивание металлических дисков, например, с помощью электрохимической реакции, которая имеет место в системе латунь-водопроводная вода-алюминий (кривая 5), то изменение h возрастает примерно вдвое.

Капиллярное течение воды во всех исследованных системах ускоряется при наложении магнитного поля.

Чтобы оценить погрешности, вносимые работой соленоида, провели серию контрольных измерений. Для усиления температурных эффектов нагревали с помощью термостатируемого столика нижний диск, контролируя его температуру посредством термопары. Контрольные опыты показали, что повышение температуры ускоряет капиллярное проникновение воды. Однако даже при максимальном токе в соленоиде нагревание дисков происходит со скоростью не выше $0.15^\circ\text{C}/\text{мин}$. Его влияние на скорость изменения h обнаруживается только спустя 4-5 мин после включения питания соленоида. Как следует из рис. 2, это время превышает продолжительность заполнения водой зазоров между дисками.

Эксперименты с водопроводной водой, содержащей большое количество ферромагнитных примесей, были повторены с дистиллятом и бидистиллятом. Из таблицы видно, что разница скоростей капиллярного растекания в магнитном поле и без него возрастает с увеличением степени очистки воды.

Результаты экспериментов с прокладками из волокнистого материала — источника магнитного поля представлены на рис. 3. Включение соленоида ускоряет капиллярное течение воды в исследуемой системе (кривые 1 и 2-4). Намагничивание прокладок приводит к результату, аналогичному включению соленоида. Совпадение направлений магнитных полей прокладки и соленоида обуславливает ускорение капиллярного течения (кривая 4). Если направления этих полей противоположны, то ускорение менее интенсивно (кривая 3).

Обсуждение результатов

Полученные результаты можно объяснить изменением свойств воды, растекающейся по зазору между дисками и пересекающей силовые линии магнитного поля. По-видимому, это — одно из проявлений эффекта магнитной обработки воды [4]. Известно, что скорость течения жидкости по горизонтальному капилляру прямо пропорциональна косинусу краевого угла смачивания, поверхностному натяжению и обратно пропорциональна вязкости жидкости [5]. Проанализируем, как изменяются эти параметры воды под действием магнитного поля.

Достоверно установлено, что изменение напряженности магнитного поля от 0 до 100 кА/м не приводит к изменению поверхностного натяжения воды, в частности бидистиллята [4], а “омагниченная” вода хуже смачивает поверхности твердых тел [4,6]. В литературе имеются противоречивые сведения об изменении вязкости жидкостей в результате магнитной обработки [3,4,7]. Экспериментально обнаруженное нами ускорение капиллярного течения воды под действием магнитного поля свидетельствует, что если увеличение краевого угла смачивания действительно произошло, то оно сопровождается уменьшением вязкости воды. Причем влияние снижения вязкости на скорость течения сильнее, чем ухудшения смачивания. Для объяснения результатов, приведенных в таблице, проанализируем влияние очистки воды на эти два параметра.

Смачивание, возникающее при соприкосновении воды и поверхности образца, в гораздо большей степени зависит от свойств молекул воды, чем ионов примеси. Концентрация последних в поверхностном слое водопроводной воды близка к нулю. Поэтому изменение краевого угла смачивания в результате магнитной обработки практически не зависит от степени очистки воды. С известной долей приближения можно считать параметры смачивания постоянными в условиях эксперимента.

Влияние примесей на вязкость воды удобно рассмотреть с позиций теории клатратных гидратов [8]. Молекулы воды, соединяясь водородными связями друг с другом, образуют трехмерный каркас, в пустотах которого размещаются молекулы и ионы примесей. Последние в большей мере стабилизируют клатратные гидраты, чем относительно слабые водородные связи, поэтому вязкость в ряду водопроводная вода-дистиллят-бидистиллят уменьшается. Естественно, что при прочих равных условиях скорость капиллярного проникновения жидкостей в этом ряду увеличивается. Эффект магнитной обработки, разрушающей клатратные гидраты, усиливается с повышением степени очистки воды. После магнитной обработки вязкость водопроводной воды изменяется меньше, чем бидистиллята. Соответственно влияние магнитной обработки на капиллярное проникновение жидкостей увеличивается в ряду водопроводная вода-дистиллят-бидистиллят.

Когда между дисками расположена пористая прокладка – источник магнитного поля, капиллярный поток воды растекается по прокладке и зонам ее контакта с дисками. На рис. 3 отражены следующие случаи взаимодействия магнитных полей и потока воды и исследуемой капиллярной системе.

а) В ненамагниченной прокладке частицы феррита имеют естественную спонтанную намагниченность. Под действием магнитного поля соленоида происходит ориентация магнитных моментов частиц в направлении поля. Суммарное магнитное поле соленоида и прокладки ускоряет капиллярное течение воды, о чем свидетельствует расположение кривой 2 ниже кривой 1 на рис. 3.

б) Прокладка намагничена, поле соленоида отключено. Кинетические кривые 5 капиллярного течения воды совпадают при любом расположении магнитных полюсов прокладки относительно дисков. Считают [4], что обязательным условием магнитной обработки жидкостей является пересечение потоком жидкости силовых линий магнитного поля. Поскольку силовые линии магнитного поля прокладки всегда расположены по нормали к поверхности дисков, капиллярный поток между дисками пересекает их одинаково при любом расположении полюсов. Следовательно, направление силовых линий в ту или в противоположную стороны не влияет на эффективность магнитной обработки воды.

в) Прокладка намагничена, соленоид включен. Положение кинетических кривых течения воды определяется напряженностью суммарного магнитного поля соленоида и прокладки. Эффект магнитной обработки воды сильнее при одинаковом направлении полей (кривая 4) и слабее (кривая 5) при противоположном.

Заключение

Представленные результаты могут быть использованы для усовершенствования систем фильтрации, конструкций уплотнений, подшипников, дроссельных устройств и других элементов машин и механизмов, работа которых связана с протеканием воды по зазорам контактирующих деталей.

Авторы благодарят Б.Б. Бойко, В.А. Гольдаде и А.В. Макаревич за консультации и ценные советы.

Работа выполнялась в рамках Государственного заказа Республики Беларусь “Фильтропласт”.

Список литературы

- [1] *Класен В.И.* // ДАН СССР. 1966. Т. 166. № 6. С. 1383.
- [2] *Демецкий А.М., Алексеев А.Г.* Искусственные магнитные поля в медицине. Минск: Беларусь, 1981. 94 с.
- [3] *Кульский Л.А., Душкин С.С.* Магнитное поле и процессы водообработки. Киев: Наукова думка, 1988. 112 с.
- [4] *Класен В.И.* Омагничивание водных систем. М.: Химия, 1982. 296 с.
- [5] *Физическая энциклопедия.* М.: Сов. энциклопедия, 1990. Т. 2. 701 с.
- [6] *Сумм Б.Д., Горюнов Ю.В.* Физико-химические основы смачивания и растекания. М.: Химия, 1976. 232 с.
- [7] *Сокольский Ю.М.* Омагничивание воды: правда и вымысел. Л.: Химия, 1990. 144 с.
- [8] *Water: a Comprehensive Treatise / Ed. by F. Franks.* New York; London, 1979. Vol. 8. 702 p.