

ИСПАРЕНИЕ КАПЕЛЬ ВОДНОГО РАСТВОРА NaCl НА ТВЕРДОЙ ПОДЛОЖКЕ

Орлова Е.Г.

Научный руководитель: Феокистов Д.В.

Национальный Исследовательский Томский Политехнический университет,

634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: enja1991@rambler.ru

Задача об испарении капли, лежащей на подложке, в процессе нагрева неоднократно рассматривалась, начиная с работ Максвелла. В настоящее время к проблеме испарения капель различных растворов обращено еще больше внимания в связи с появлением разнообразных применений. В данной работе представлены экспериментальные результаты по испарению капли водно-солевого раствора на твердых подложках.

Цель работы: проведение экспериментальных исследований по испарению капли на твердой подложке при ее интенсивном нагреве, а также расширение теоретических основ испарения капель растворов.

Эксперимент проводился на 5 разных подложках, три с гладкой поверхностью (нержавеющая сталь, анодированный алюминий, отожженная медь), остальные с шероховатостью (медь, бомбардированная частицами Al_2O_3 размером 100мкм, нержавеющая сталь, бомбардированная частицами Al_2O_3 размером 10 мкм).

Подложки предварительно замачивались в дистиллированной воде в течение суток. При проведении экспериментальных исследований нагревались с помощью элемента Пельтье до стационарного режима при температуре 75°C.

В качестве исследуемой жидкости принят раствор NaCl с тремя концентрациями: 4,8%; 9,1%, 16,7% (по масс.). Капля заданного объема (0,1мл) помещалась на заранее нагретую поверхность с помощью шприца и испарялась в атмосферу.

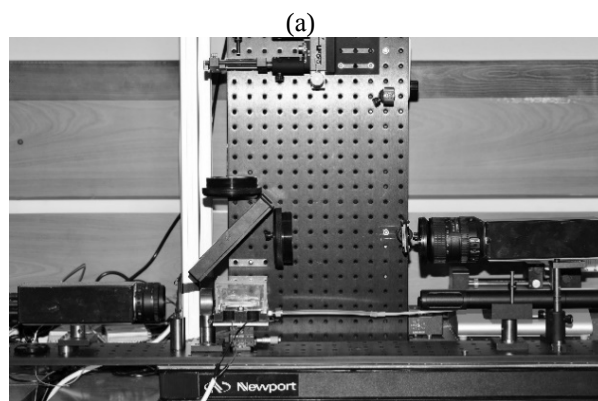
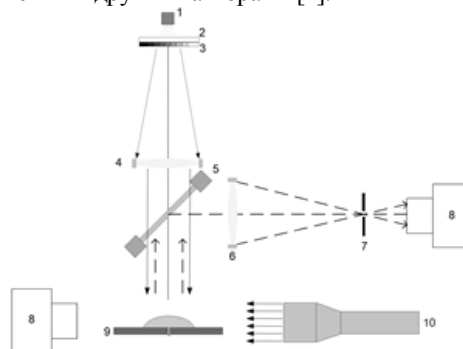
Эксперименты проводились на установке, представленной на рисунке 1.

Для проведения экспериментов использовались две методики: теневая и Шлирин методика. С помощью теневой методики получены видеокадры капель, а Шлирин система применялась только для визуального контроля, поскольку капли наносились с помощью медицинского шприца. Теневое изображение обрабатывалось с помощью программного обеспечения Kruss (метод Юнга-Лапласа).

В результате обработки экспериментальных данных получены графические зависимости скорости испарения капель с двумя концентрациями на шероховатой и гладкой подложках.

По результатам анализа графических зависимостей (рис. 2) установлено, что на шероховатой подложке при наибольшей концентрации соли в растворе скорость испарения капли наибольшая, т.е. при увеличении концентрации соли в растворе увеличивается скорость испарения,

что соответствует экспериментальным данным полученным другими авторами [1].



(б)

Рисунок 1 – Оптическая схема (а) и общий вид (б) экспериментальной установки: 1 – источник света;

2 – матовое стекло; 3 – шлирин фильтр; 4 – коллимирующая линза; 5 – делитель пучка; 6 – шлирин линза; 7 – непрозрачный щит; 8 – камера; 9 – образец; 10 – источник света для теневой методики.

Согласно теории смачивания и курсу коллоидной химии уменьшение поверхностного натяжения приводит к улучшению смачиваемости поверхности, т.е. к уменьшению контактного угла. Однако при увеличении концентрации раствора соли незначительно повышается поверхностное натяжение, что приводит к росту контактного угла. Данная теория подтверждается экспериментальными данными (рис. 3).

При испарении капли на подложках с известной шероховатостью (медь 100мкм, нержавеющая сталь 10мкм) осуществляется процесс обратного депиннинга, т.е. происходит движение контактной линии. Капля растекается в процессе всего испарения и до начала кристаллизации солей.

На подложках из нержавеющей стали 10 мкм в процессе кристаллизации осуществляется пиннинг

контактной линии на протяжении нескольких секунд, затем происходит уменьшение диаметра. Это обусловлено тем, что соль выпадает в осадок по окружности капли, в местах наибольшей концентрации.

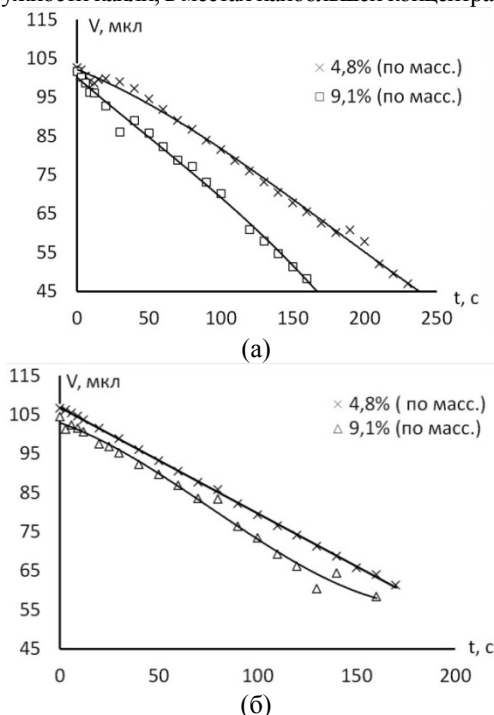


Рисунок 2 – Скорость испарения капель различной концентрации: (а) медная подложка с шероховатостью 100мкм; (б) анодированный алюминий.

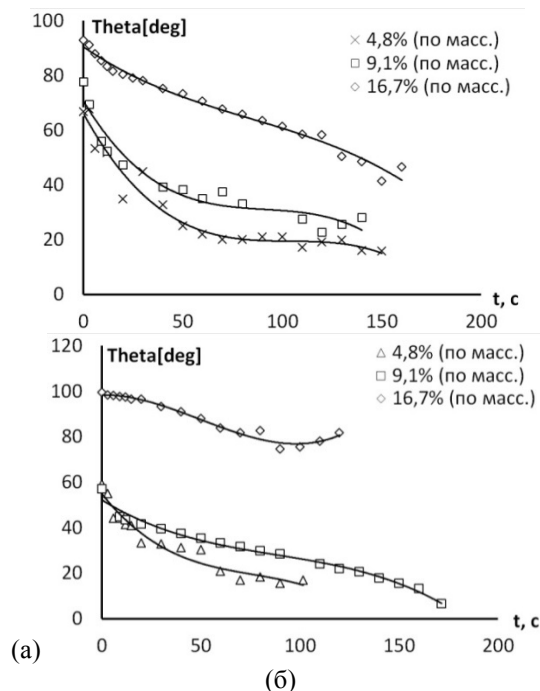


Рисунок 3 – Скорость изменения контактного угла капель различной концентрации: (а) подложка из нержавеющей стали с шероховатостью 10мкм; (б) подложка из гладкой нержавеющей стали.

По результатам анализа графической зависимости представленной на рис. 4 установлено, что шероховатость поверхностей улучшает растекание

капли, т.е. уменьшает контактный угол. Данное утверждение касается гидрофильных подложек (контактный угол капли меньше 90°).

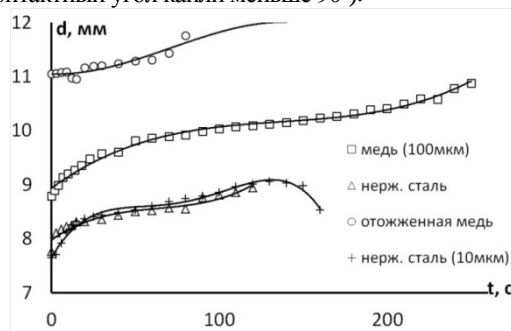


Рисунок 4 – Изменение диаметра капель с концентрацией 9,1% и объемом 0,1мл на различных подложках.

В процессе испарения капли на гладких подложках (нержавеющая сталь, отожженная медь) по сравнению с шероховатыми диаметр увеличивается медленнее (т.е. капля растекается спустя 30 – 40 секунд после начала процесса испарения).

В результате проведенных экспериментов обнаружен режим испарения солевых растворов, так называемый обратный депиннинг (растекание), отличающийся от режимов испарения воды (при неизменной площади или неизменном контактном угле) [2]. Возможно, что причиной растекания капель может служить эффект Марангони, возникающий из-за наличия температурных и концентрационных градиентов. Градиенты появляются на разных участках поверхности и в объеме капли, что приводит к неоднородности поверхностного натяжения, инициирующей конвективные течения Марангони [3].

Установлено, что при испарении капли солевого раствора на шероховатых поверхностях растекание капли происходит в течение всего процесса испарения до момента начала кристаллизации солей, которая наблюдается по окружности капли. Пиннинг начинается в процессе кристаллизации на шероховатых поверхностях. В процессе испарения на гладких поверхностях начало растекания капли наблюдается в момент увеличения концентрации вблизи контактной линии. Пиннинг капли наблюдается в начале процесса испарения.

Список литературы:

1. Чесноков М.Н., Казакова И.Н., Грызунова Т.В., Андрианова И.С. Испарение капель водных растворов натрия-хлор в электрическом поле// Физика аэродисперсных систем., 2001.- вып. 38.- С. 170-176.
2. H. Yildirim Erbil et al. Drop Evaporation on Solid Surfaces: Constant Contact Angle Mode// Langmuir.- 2002.- N 18.- с. 2636-2641.
3. Тарасевич Ю.Ю., Православнова Д.М. Качественный анализ закономерностей высыхания капли многокомпонентного раствора на твердой подложке// Журнал технической физики.- 2007. вып.2.- с. 17-21.