

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСТЕКАНИЯ КАПЛИ
ДИСТИЛЛИРОВАННОЙ ВОДЫ НА НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ**

Орлова Е.Г., Феоктистов Д.В., Батищева К.А.

Научный руководитель: Кузнецов Г.В., профессор, д. ф.- м. н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: enja1991@rambler.ru

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DISTILLED WATER DROP SPREADING PROCESS ON
STAINLESS STEEL**

Orlova E.G., Feoktistov D.V., Batishcheva K.A.

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Kuznetsov G.V.

634050, National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 30

E-mail: enja1991@rambler.ru

Abstract. Experimental results analyses of macro contact angle change from the drop growth rate of distilled water on stainless steel substrates. The value of contact angle is found to depend on the drop growth rate (m): contact angle decreases at m up to 0.02ml/s and increases at m more than 0.02ml/s. At the final stage of spreading the pinning mode of contact line occurs, depending on the drop growth rate and surface roughness.

Теоретические, экспериментальные исследования и моделирование фундаментальных закономерностей процессов тепло - и массопереноса в многофазных системах чрезвычайно важны для оптимизации современных технологий в энергетике. В химической, пищевой, сельскохозяйственной и других отраслях технологиям орошения уделяется все больше внимания [1-3] по причине возможного увеличения эффективности технологических процессов за счет использования капельных систем.

Известно [4-5], что процесс растекания капли по поверхности зависит от микроструктуры последней, а также от свойств жидкости. Практически отсутствуют результаты экспериментальных исследований по определению влияния скорости образования капли на процесс растекания.

Целью работы является экспериментальное определение зависимости макрокраевого угла от скорости образования капли на микроструктурированной поверхности подложки из нержавеющей стали.

Экспериментальные исследования проведены с использованием теневого и Шлирен оптических методов на установке, принципиальная схема которой представлена на рисунке 1 [6-7]. Для реализации оптического теневого метода источник света 1, матовое стекло 2, щит с отверстием 3 и коллимирующая линза 4 использованы для получения пучка плоскопараллельного света, освещающего каплю на подложке 5. Конденсирующая линза 6 и объектив камеры 8 применялись для проецирования изображения на сенсор камеры. Для реализации Шлирен метода источник некогерентного света 17, матовое стекло 16 и конденсирующий фильтр 15 использовались для получения светового потока со ступенчатым уменьшением интенсивности по пространству. Пучок света от источника 17 проходил через коллимирующую линзу 14, которая преобразовала его в плоскопараллельный. Далее он отражался от делителя пучка 13, направлялся на подложку 5 и к линзе 12, фокусировался на фильтре 11 и при помощи объектива проецировался на сенсор камеры 10.

Шприцевым насосом 9 капля жидкости выдавливалась с нижней стороны подложки 5 через отверстие диаметром 2 мм. В процессе проведения эксперимента контролировался расход (от 0,005 мл/с до 0,16 мл/с) дистиллированной воды.

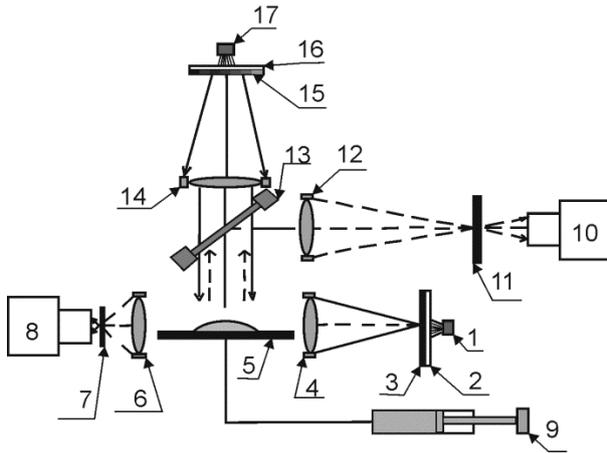


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки: 1, 17 – источник света; 2, 16 – матовое стекло; 3, 7, 11 – щит с отверстием; 4, 14 – коллимирующая линза; 5 – подложка; 6, 12 – конденсирующая линза; 8, 10 – высокоскоростные камеры; 9 – шприцевый насос; 13 – делитель пучка; 15 – кодирующий фильтр.

В экспериментах использовались три подложки из нержавеющей стали с различной шероховатостью $Ra=1.5; 1,554; 4.59$.

Известно [8] условие смачивания жидкостью материала – $90^\circ > \theta > 0^\circ$, увеличение степени шероховатости вызывает уменьшение макрокраевого угла. В отсутствие смачивая $\theta > 90^\circ$, увеличение шероховатости приводит к увеличению макрокраевого угла.

Уравнение Венцеля-Дерягина [8] не учитывает структуру расположения выступов и канавок, образующих шероховатость, а также скорость образования капли. Авторы [8] полагают, что расчет макрокраевых углов с использованием термодинамического уравнения возможен только в том случае, если шероховатость поверхности образована параллельно расположенными канавками. При хаотичном расположении последних значения макрокраевых углов могут не согласовываться с выводами, полученными на основе термодинамического анализа [8]. К настоящему времени отсутствуют экспериментальные данные по анализу влияния микроструктуры (расположение канавок на поверхности) при различной скорости образования капли на макрокраевой угол.

По результатам экспериментов (таблица 1) установлено, что скорость образования капли на поверхностях образцов влияет на краевой угол. Он уменьшается с увеличением расхода (скорости образования капли), достигая минимального значения при $m=0.02$ мл/с. При значениях расхода свыше 0.02мл/с установлено его увеличение. Стоит отметить, что такая зависимость получена для поверхностей с шероховатостью, образованной как продольно, так и хаотично расположенными канавками.

Таблица 1.

Макрокраевые углы смачивания

Подложка	Расход дистиллированной воды (скорость образования капли), мл/с					
	0,005	0,010	0,020	0,040	0,080	0,160
Образец №1 (Ra 1,500 мкм)	78°	77°	76°	80°	81°	82°
Образец №2 (Ra 1,554 мкм)	89°	84°	83°	91°	93°	94°
Образец №3 (Ra 4,590 мкм)	97°	95°	83°	84°	85°	89°

По результатам анализа значений θ (таблица 1) установлено, что при скорости образования

капли до 0,02 мл/с с увеличением степени шероховатости макрокраевой угол увеличивается. Меньшим скоростям образования капли соответствует большее значение краевого угла, а также его увеличение с повышением степени шероховатости.

Установлено, что при среднем арифметическом отклонении профиля $Ra=4,590$ мкм и скорости образования капли до 0,01 мл/с угол $\theta > 90^\circ$ – смачивание отсутствует. При повышении скорости образования капли до 0,02 мл/с θ изменяется в диапазоне $90^\circ > \theta > 0^\circ$ (жидкость смачивает поверхность).

При скоростях образования капли свыше 0,02 мл/с с увеличением степени шероховатости макрокраевой угол увеличивается. Стоит отметить, что наибольшие значения θ зафиксированы на подложке с $Ra=1,554$ мкм (шероховатость подложки сформирована хаотически расположенными канавками). Причем $\theta > 90^\circ$, что характеризует отсутствие смачивания. На образце №3 при $Ra=4,590$ мкм значение угла изменяется в диапазоне $90^\circ > \theta > 0^\circ$ (жидкость смачивает поверхность).

По результатам анализа экспериментальных данных (таблица 1), полученных для образцов №2 и 3 (со средним арифметическим отклонением профиля 1,554 мкм и 4,590 мкм, соответственно) установлено, что при хаотичном расположении канавок, образующих шероховатость, выводы, сделанные на основе термодинамического анализа уравнения Венцеля-Дерягина, не согласуются с опытными данными. Наиболее вероятно это связано с тем, что на гидрофобные и гидрофильные свойства поверхности помимо шероховатости значительно влияет скорость образования капли.

Работа выполнена в рамках НИР Госзадания «Наука» №13.1339.2014/К (шифр Федеральной целевой научно-технической программы 2.1410.2014).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Мисюра С.Я., Накоряков В.Е., Елистратов С.Л. Особенности испарения капель воды на нагреваемой поверхности // Доклады Академии Наук. – 2013. – Т. 448. – № 3. – С. 293–296.
2. Bartashevich M.V., Marchuk I.V., Kabov O.A. Numerical simulation of natural convection in a sessile liquid droplet // Microgravity Science and Technology. – 2012. – V. 24 (1). – PP. 17–31.
3. Gatarova E. Ya., Semenov A. A., Zaitsev D. V., Kabov O. A. Evaporation of a sessile water drop on a heated surface with controlled wettability // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 2014. – V. 441. – PP. 776–785.
4. Birdi K.S., Vu D.T., Winter A. A study of the evaporation rates of small water drops placed on a solid surface // The Journal of Physical Chemistry. – 1989. – V. 93(9). – PP.3702–3703.
5. Rowan S.M., Newton M.I., McHale G. Evaporation of microdroplets and the wetting of solid surfaces // The Journal of Physical Chemistry. – 1995. – V. 99. – PP.13268–13271.
6. Orlova E.G., Kuznetsov G.V., Feoktistov D.V. The evaporation of the water-sodium chlorides solution droplets on the heated substrate // EPJ Web of Conferences. – 2014. – V. 76. PP.1–8.
7. Batischeva K. A., Orlova E.G., Feoktistov D. V. Effect of surface temperature on spreading rate of liquid droplet // MATEC Web of Conferences. – 2014. – V. 19. PP.1–4.
8. Сумм Б.Д., Горюнов Ю.В. Физико-химические основы смачивания и растекания. – М.: Химия, 1976. 273 с.