

ДИНАМИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КАПЛИ ЖИДКОСТИ С ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ТВЕРДОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Кравчук А.С.

Научный руководитель: Феохтистов Д.В., ассистент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: anastasia.tom@mail.ru

Исследования растекания капли по твердой поверхности в настоящее время вызывают большой интерес. Это связано с важной ролью, которую этот процесс играет в ряде технологических процессов, например, при капельном охлаждении поверхностей, нанесении различных покрытий и т.д. [1-3].

Несмотря на большое количество работ, посвященных изучению этой темы, на сегодняшний день нет полной, экспериментально проверенной теории описания свойств линии трехфазного контакта [4].

По этим причинам экспериментальные исследования процессов растекания капли жидкости по твердой горизонтальной поверхности, направленные на установление основных закономерностей изменения динамических характеристик процесса, являются актуальными.

Капля, посаженная на твердую поверхность, растекается, стремясь принять некое равновесное состояние [1]. Основными характеристиками, используемыми для описания растекания капли по твердой поверхности являются: динамический краевой угол, скорость движения линии трехфазного контакта (ЛТФК) и диаметр пятнышка контакта.

Исследования проводились на установке, включающей улучшенную теневую и шпирен системы [5]. Основными элементами установки, представленной на рис. 1, являются: исследуемая подложка 5, высокоскоростная видеокамера 8, шприцевый насос 9. Для уменьшения влияния внешних источников света на измерения, в фокусе линзы 6 устанавливается непрозрачный щит 7 с отверстием. Полученные изображения обрабатывались при помощи программного обеспечения компании KRUSS.

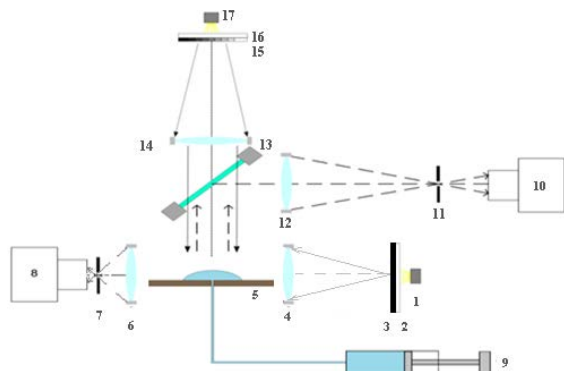


Рис. 1 – Экспериментальная установка: 1, 17 – источник света; 2, 16 – матовое стекло; 3 – щель; 4, 14 – коллимирующая линза; 5 – подложка; 6 – конденсирующая линза; 7, 11 – непрозрачный щит

с отверстием; 9 – шприцевый насос; 8, 10 – высокоскоростная камера; 12 – шпирен линза; 13 – делитель пучка; 15 – кодирующий фильтр.

Эксперименты проводились в изотермических условиях при температуре воздуха 293...298 К и атмосферном давлении 99.90...101.99 МПа.

В качестве жидкости использовалась дистиллированная вода из-за слабой зависимости её физических характеристик от параметров окружающей среды [4]. Экспериментальные исследования проводились на шести подложках. В качестве подложек использовались круглые диски толщиной 4 мм и диаметром 54 мм. Для подачи воды в каждой из них просверлено отверстие диаметром 2 мм. Три подложки изготовлены из нержавеющей стали: две поверхности получены бомбардировкой гладких поверхностей частицами оксида алюминия размерами 10 мкм (шероховатость Ra 1,50 мкм – нержавеющая сталь II) и 100 мкм (шероховатость Ra 4,59 мкм – нержавеющая сталь III); и гладкая подложка с Ra 1,46 мкм – нержавеющая сталь I. Три подложки изготовлены из меди: две поверхности получены бомбардировкой гладких поверхностей частицами оксида алюминия размерами 10 мкм (шероховатость Ra 5,19 мкм – медь II) и 100 мкм (шероховатость Ra 6,21 мкм – медь III); и гладкая подложка с Ra 1,47 мкм – медь I. Микрорельеф подложек, бомбардированных частицами оксида алюминия, представляет собой совокупность концентрично расположенных микроканалов, а поверхность подложек, не подвергавшихся бомбардированию – последовательность параллельно расположенных канавок. Микрорельеф поверхностей измерялся профилометром Micro Measure 3D Station.

Расход дистиллированной воды варьировался от 0,005 мл/с до 0,160 мл/с и составил 0,005; 0,010; 0,020; 0,040; 0,080; 0,160; мл/с. При каждой скорости подачи воды объем капли увеличивался с 0 до конечного объема 0,3 мл.

При растекании дистиллированной воды по нержавеющей стали I, меди II и меди III (Рис. 2) хорошо прослеживаются 2 стадии. Стадия I в зависимости от расхода дистиллята длится от 80 до 90% всего времени растекания и характеризуется постепенным уменьшением краевого угла натекания. Во время стадии II краевой угол натекания уменьшается значительно (на 10 – 20°). Растекание капли происходит до тех пор, пока движущая сила больше нуля. Увеличение расхода дистиллированной воды при растекании по стали I привело к увеличению максимального значения краевого угла

натекания на 15%; на меди II на 30%; на меди III на 37%. В процессе растекания капли по данным подложкам несмачивание поверхности сменяется смачиванием.

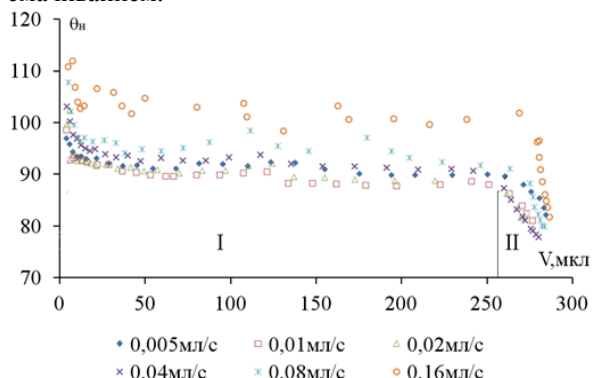
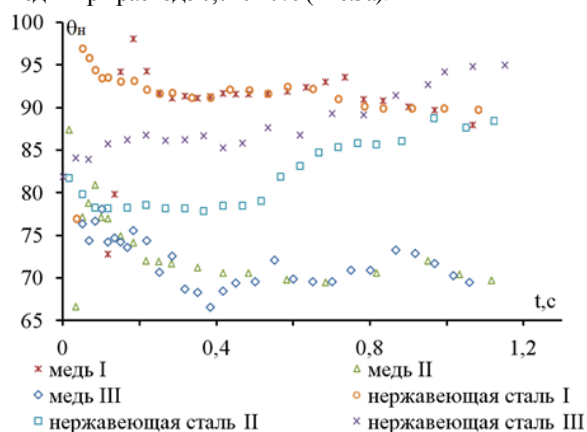
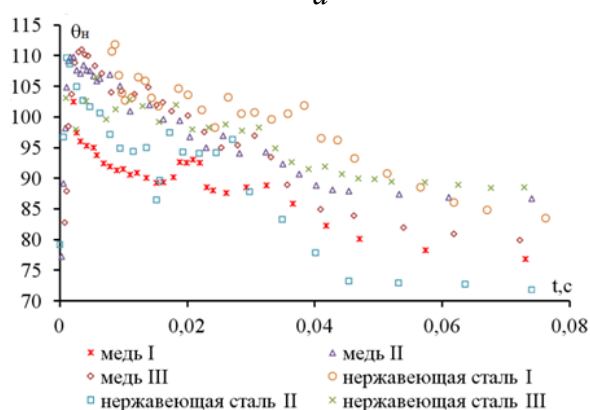


Рис. 2 – Зависимость наступающего краевого угла от объема капли при растекании дистиллированной воды по нержавеющей стали I.

Установлено, краевой угол натекания увеличивается по мере растекания капли по стали II при расходе 0,005 мл/с, по стали III при расходе 0,005 – 0,010 мл/с и по меди I при расходе 0,010 мл/с (Рис.3а).



а



б

Рис. 3 – Зависимость наступающего краевого угла от времени процесса при расходе дистиллированной воды: (а) – 0,005 мл/с; (б) – 0,160 мл/с.

Увеличение шероховатости не привело к увеличению максимального значения наступающего краевого угла при растекании капли по поверхностям из нержавеющей стали. Максимальное значение краевого угла 112° получено на стали I при

расходе дистиллированной воды 0,160 мл/с, скорости ЛТФК 2,15 мм/с и на стали II при расходе дистиллированной воды 0,080 мл/с, скорости ЛТФК 4,40 мм/с. Однако увеличение шероховатости привело к увеличению максимального значения наступающего краевого угла при растекании капли по медным подложкам. Максимум краевого угла натекания в 111° при растекании капли по поверхностям из меди так же зафиксирован при расходе дистиллированной воды 0,16 мл/с: на меди II при скорости ЛТФК 4,25 мм/с и на меди III в диапазоне скорости ЛТФК 2,43 – 3,48 мм/с (Рис.3б).

Анализ полученных результатов показал, что конечный диаметр пятна контакта слабо зависит от расхода дистиллированной воды, от шероховатости и от материала подложки. В процессе растекания наблюдается монотонное увеличение диаметра пятна контакта капли и уменьшение скорости ЛТФК. При расходах 0,005 – 0,040 мл/с зависимость диаметра пятна контакта от времени хорошо описывается полиномом второй степени, а при расходах 0,080 – 0,160 мл/с наблюдается линейная зависимость. Максимальный наблюдаемый диаметр пятна контакта 14,38 мм. Скорость ЛТФК при расходе 0,16 мл/с достигает 4,50 мм/с.

Таким образом, вышеизложенный материал позволяет сделать заключение о том, что микроструктура поверхности значительно влияет на краевой угол натекания при малых расходах дистиллированной воды – наличие концентрично расположенных микроканалов и микровыступов привело к увеличению краевого угла натекания в процессе растекания капли. Увеличение расхода жидкости в целом приводит к возрастанию краевого угла натекания (увеличивается зона «несмачивания»). Вероятно, при больших расходах поверхностные «дефекты» сглаживаются капиллярными волнами на поверхности жидкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bonn D. Wetting and spreading // Reviews of modern physics.–2009.–№89.–P. 739-805.
2. Wege H.A., Aguilar J.A. Dynamic contact angle and spreading rate measurements for the characterization of the effect of dentin surface treatments // Journal of Colloid and Interface Science.–2003.–№263. –P. 162-169.
3. Кабов О.А., Зайцев Д.В. Влияние гистерезиса смачивания на растекание капли под действием гравитации // Доклады Академии Наук.–2013.–Т.451, №1.–С.37-40.
4. Архипов В.А., Усанина А.С. Исследование характеристик растекания капли при малых числах Вебера // Инженерная физика.–2010.–№5.–С.38-42.
5. Zaitsev D., Semenov A., Kravchuk A. The effect of the substrate wettability and roughness on the dynamic contact angle // Droplets of pure and complex fluids: 1st Int. Workshop on Wetting and evaporation.–Marseilles, 2013. – P. 93-95.