

ОСОБЕННОСТИ НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ РАСТЕКАНИЯ КАПЛИ
НА ТВЕРДОЙ ПОВЕРХНОСТИ

С. В. Стебновский

(Новосибирск)

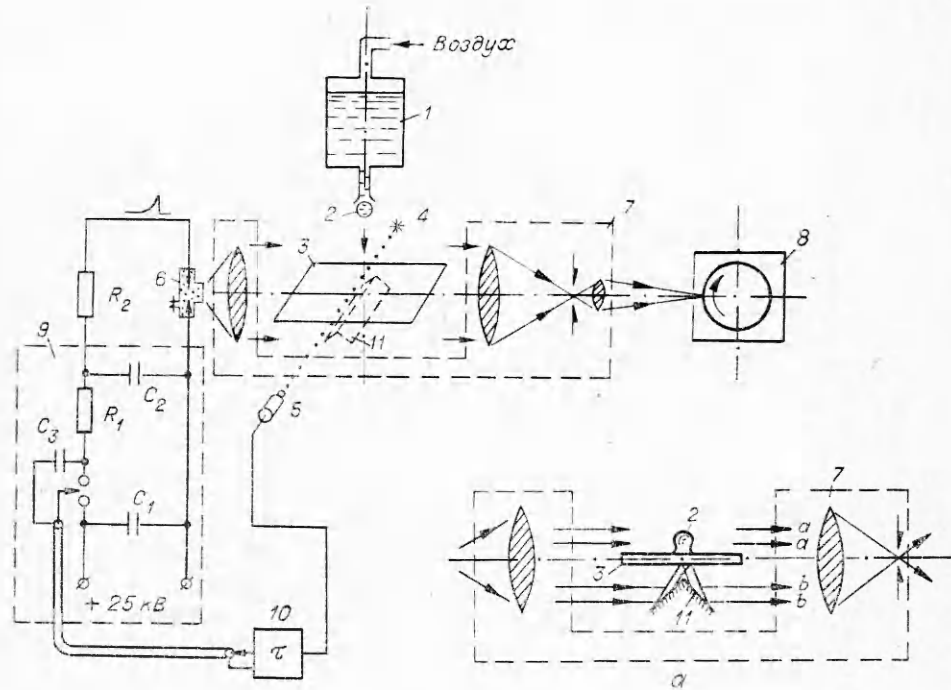
Исследованию процесса растекания капли на твердой поверхности посвящено много работ (см., например, [1, 2]). Во всех известных случаях процесс растекания рассматривался с момента времени, когда капля уже представляла собой жидкое тело, имеющее форму сферического сегмента, а угол смачивания имел величину порядка 90° . Но для точной постановки задачи о растекании сферической капли необходимо иметь представление о поведении границы смачивания капель твердой плоскости с момента их соприкосновения. Этот вопрос и рассматривается в данной работе.

Для исследования начальной стадии растекания сферической капли на твердой плоской поверхности применялась экспериментальная схема, приведенная на фиг. 1. Принцип ее работы заключается в следующем. После подачи воздуха в капельницу 1 формируется сферическая капля 2, которая, отделившись от капельницы и развивая необходимую скорость u_0 в процессе свободного падения, попадает на плоскую поверхность 3. Но прежде чем капля коснется плоскости, она в падении перекрывает световой луч в оптической системе источник света 4 — фотоэлемент 5, вследствие чего с необходимой задержкой времени устройство 10 включает в работу высоковольтный РС-генератор 9, который подает серию импульсов высокого напряжения на водородную импульсную лампу 6. Свет от периодических вспышек лампы проходит через теньевую установку 7, в поле видимости которой находится капля, растекающаяся на твердой плоскости, и попадает на фоторегистратор 8 (прозрачный вращающийся барабан с фотопленкой). Таким образом, происходит покадровая регистрация исследуемого процесса. Кроме того, с помощью двух зеркал 11, как показано на фиг. 1, а, осуществлялась регистрация растекания капли 2 на поверхности прозрачной пластинки 3 одновременно в двух проекциях: сбоку (лучи $a-a'$) и снизу (лучи $b-b'$).

Максимальная скорость съемки 40 тыс. кадр/с, исследуемый отрезок времени $\sim 10^{-2}$ с, радиус капли $r_0 = 1,5$ и 3 мм, материал капли — H_2O , C_2H_5OH , материал твердой плоскости — стекло, фторопласт.

Основная цель экспериментов заключалась в исследовании начальной стадии растекания капли на плоскости под действием сил поверхностного натяжения. Для этого скорость соприкосновения капли с плоскостью u_0 выбиралась равной всего 1 см/с.

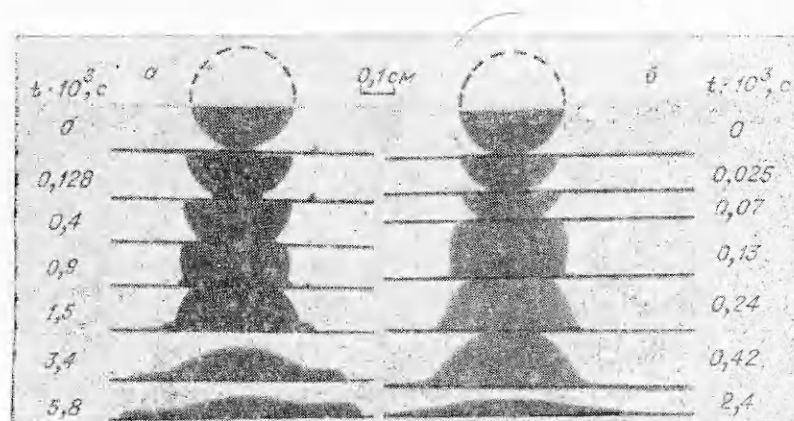
На фиг. 2, а, 3, а приводятся типичные кинограммы такого процесса растекания сферической капли воды радиуса $r_0 = 1,5$ мм на плоской поверхности фторопласта. На первых кадрах хорошо видно, что в окрестности точки соприкосновения образуется пленка жидкости, быстро растекающаяся по поверхности фторопласта. Аналогичное явление наблюдается и в случае падения капли спирта C_2H_5OH на поверхность



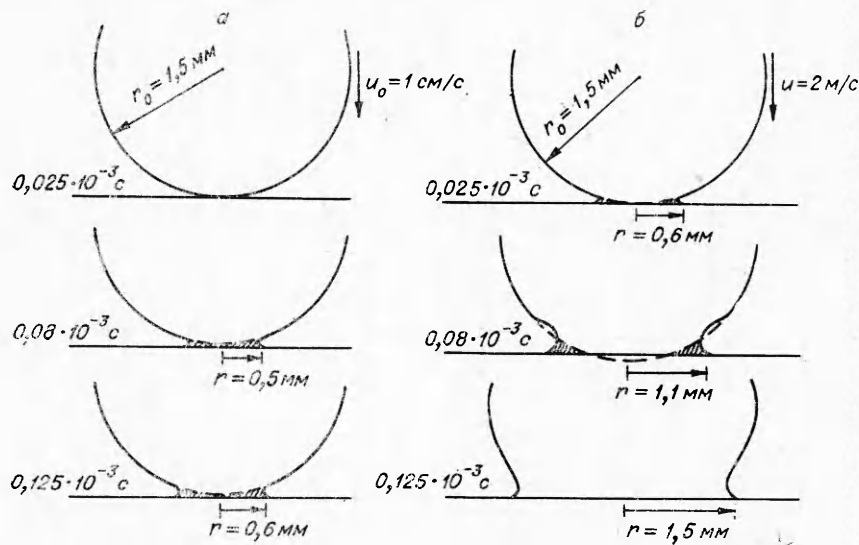
Ф и г. 1

стекла или фторопласта, а также капли воды на поверхность стекла. За время $0,12 \cdot 10^{-3}$ с радиус пленки достигает значения $r_0 = 0,6$ мм, в то время как центр капли успевает опуститься лишь на $0,12 \cdot 10^{-2}$ мм. Таким образом, можно считать, что на указанном отрезке времени капля неподвижная, а образование жидкой пленки (на фиг. 3, *a* заштрихованная область) обусловлено лишь силами смачивания, под действием которых происходит перемещение частиц жидкости с поверхностного слоя капли на поверхность фторопласта (стекла).

Использование зеркал (см. фиг. 1) позволило одновременно наблюдать за боковой проекцией растекающейся капли и за площадью пятна,



Ф и г. 2



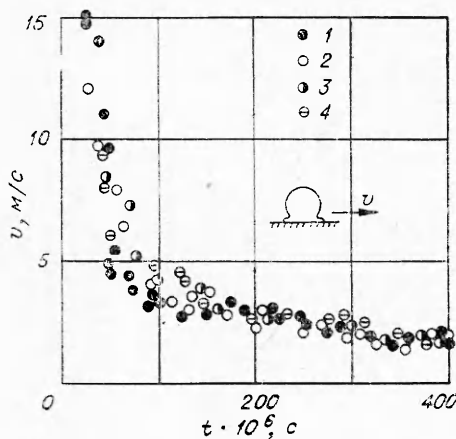
Фиг. 3

которое является следом жидкой пленки на поверхности стеклянной пластинки. Такой метод дал возможность довольно точно определять значения радиуса области смачивания на поверхности стекла. Измеренные по размеру пятна значения радиуса на первых стадиях растекания жидкой пленки ($t \leq 10^{-4}$ с) несколько больше значений, измеренных по боковой проекции капли. Отсюда следует, что на указанном отрезке времени растекания передняя кромка жидкой пленки очень тонкая и на боковой проекции не просматривается.

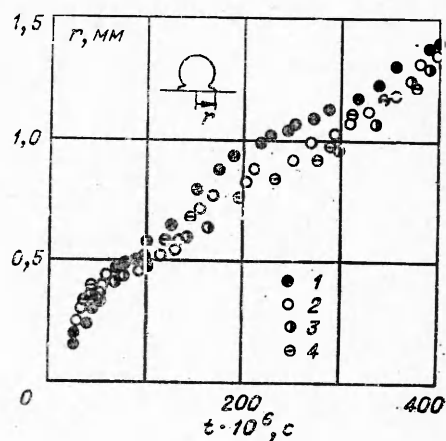
На фиг. 4, 5 приводятся соответственно зависимость скорости растекания жидкой пленки v и радиуса области смачивания r от времени для различных жидкостей и твердых поверхностей (1 — вода на стекле, $r_0 = 3$ мм; 2 — вода на стекле, $r_0 = 1,5$ мм; 3 — вода на фторопласте, $r_0 = 1,5$ мм; 4 — спирт на фторопласте, $r_0 = 1,5$ мм). Из фиг. 4 видно, что на рассматриваемом отрезке времени скорость растекания жидкой пленки очень быстро убывает от значений $v > 15$ м/с до 1—2 м/с. (На начальном отрезке времени, меньшем $25 \cdot 10^{-6}$ с, скорость растекания, очевидно, больше 15 м/с, но зарегистрировать это не удалось, так как максимальная частота съемки процесса не превышала 40 тыс. кадр/с.) С уменьшением v толщина пленки быстро растет (см. фиг. 2, а), в результате чего угол смачивания увеличивается до 90° . На основании экспериментальных данных фиг. 5 с некоторым приближением можно полагать, что на отрезке времени $0,1 \cdot 10^{-3}$ с $< t < 0,4 \cdot 10^{-3}$ с радиус области смачивания возрастает по закону $r \sim t^{0,6}$.

На последних стадиях ($t > 0,6 \cdot 10^{-3}$ с) на процесс растекания капли существенное влияние оказывает сила тяжести, что приводит к заметному искажению сферической формы капли. Угол смачивания, по крайней мере, до $13 \cdot 10^{-3}$ с остается равным примерно 90° .

Необходимо отметить, что, согласно результатам, приведенным на фиг. 4, материалы капли и твердой поверхности, применяемые в данной работе, существенного влияния на скорость растекания не оказывают. Следовательно, на основании этих результатов невозможно определить степень влияния эффекта смачивания на динамику образования жидкой пленки.



Ф и г. 4.



Ф и г. 5

Проводились исследования влияния скорости падения капли на механизм ее растекания на твердой плоскости. На фиг. 2, б, 3, б приведены типичные кинограммы процесса растекания капли воды ($r_0 = 1,5$ мм), падающей на плоскую поверхность фторопласта со скоростью $u_0 = 2$ м/с. Можно заметить, что увеличение скорости падения на два порядка приводит к качественно и количественно новым результатам. Так, скорость растекания жидкой пленки через $25 \cdot 10^{-6}$ с после момента касания равна 27 м/с. Это, очевидно, объясняется тем, что увеличение скорости падения капли приводит к развитию кумулятивного течения в точке удара сферической поверхности жидкости о твердую плоскую поверхность, т. е. в данном случае начальная скорость растекания жидкой пленки определяется не только капиллярным, но и кумулятивным эффектом. Вследствие этого процесс деформации капли становится заметным гораздо раньше (примерно через 10^{-4} с после момента удара).

Угол смачивания вначале равен нулю, затем медленно растет, оставаясь меньше 90° , по крайней мере, на отрезке времени $13 \cdot 10^{-3}$ с. В этой серии экспериментов не представлялось возможным достаточно точно определить величину угла смачивания из-за очень малой толщины передней кромки жидкой пленки.

Автор выражает благодарность В. В. Пухначеву, обратившему внимание на актуальность этой задачи, а также В. М. Волосухину и Б. А. Горбунову за помощь в проведении экспериментов и обработке результатов.

Поступила 7 II 1978

ЛИТЕРАТУРА

1. Ogarev V. A., Timonina T. N., Arslanov V. V., Trapeznikov A. A. Spreading of polydimethylsiloxane drops on solid horizontal surfaces.— «J. Adhesion», 1974, vol. 6, N 4.
2. Войнов О. В. Гидродинамика смачивания.— «Изв. АН СССР. МЖГ», 1976, № 5.