

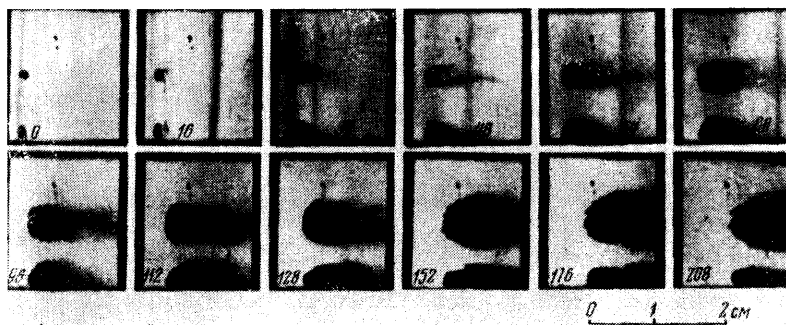
УДК 532.529.6

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ КАПЛИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ГАЗА, ДВИЖУЩЕГОСЯ ЗА УДАРНОЙ ВОЛНОЙ

Б. М. БЕЛЕНЬКИЙ, Г. А. ЕВСЕЕВ

(Москва)

При помощи теневой установки и сверхскоростного фоторегистратора получены картины обтекания и разрушения капель воды под действием потока газа, движущегося за ударной волной, в диапазоне чисел Маха обтекающего каплю потока $M = 0.8 - 1.7$ и чисел Вебера $We = 10^4 - 3 \cdot 10^5$. Показано, что число Струхали, определенное



Фиг. 1

по времени разрушения капли τ , диаметру капли d и скорости газа u , в исследованном диапазоне изменения параметров $Sh = 0.025 - 0.055$.

Известно, что при числах Вебера, близких к критическому ($We \sim 10$), капля под действием потока газа продавливается внутрь, приобретая парашютообразную фор-



Фиг. 2

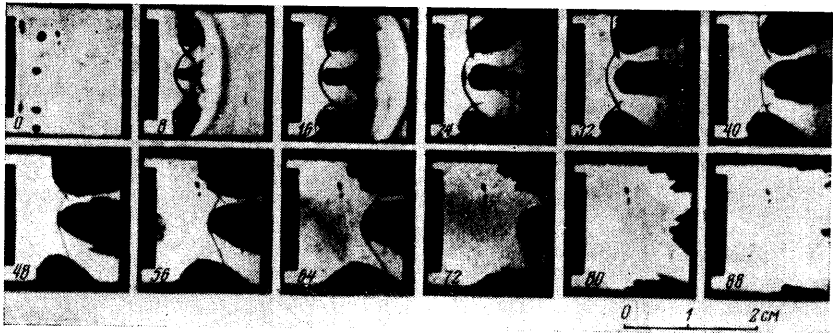
му, и затем лопается, образуя большое число мелких капелек [1, 2]. Картина разрушения существенно изменяется при увеличении скоростного напора газа. Разрушение капли в этом случае происходит за счет срыва жидкости с поверхности капли. Теоретические модели для механизма разрушения капли в этих условиях предложены в [3-5]. Результаты экспериментального исследования характера протекания во времени процессов деформации, перемещения и распада капли при помощи искровых фотоснимков приведены в работе [5].

Цель этой работы состояла в подтверждении и уточнении данных о времени разрушения капли в диапазоне параметров обтекающего каплю потока, характерного для двухфазной детонации.

Картины обтекания и разрушения капель получались при помощи теневой установки и сверхскоростного фоторегистратора СФР-1. На выходе электроразрядной удар-

ной трубы, который был открыт в атмосфере, с помощью специального устройства создавался поток капель воды. В качестве источника света использовалась лампа-вспышка. Коллимированный пучок света после прохождения исследуемого объекта фокусировался на входную диафрагму СФР. Скорость съемки в зависимости от длительности процесса варьировалась от $1.25 \cdot 10^5$ до $6.25 \cdot 10^5$ кадр./сек. Число Маха ударной волны в разных экспериментах изменялось от 1.77 до 4.80. При этом достигалось обтекание каплей как дозвуковым, так и сверхзвуковым потоком газа.

На фиг. 1–3 приведены картины разрушений каплей для трех режимов обтекания: дозвукового (число Маха ударной волны $M_s=1.77$, число Маха потока газа за



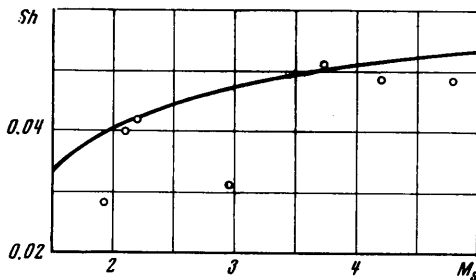
Фиг. 3

ударной волной $M_2=0.8$), околосзвукового ($M_s=2.1$, $M_2=1$) и сверхзвукового ($M_s=2.84$, $M_2=1.3$). На кадрах на фигурах приведено время в мксек. На первых кадрах видна выходящая из канала трубы ударная волна, движущаяся слева направо. По мере удаления от среза ударной трубы волна из плоской переходит в сферическую. Это особенно хорошо видно на фиг. 3, где была использована труба меньшего диаметра (13 мм, на фиг. 1 и 2 – 32.5 мм). За ударной волной виден след вихря, образующегося по периферии потока вследствие перехода плоской ударной волны в сферическую. Скорость ударной волны определялась по перемещению ее фронта. Следует отметить, что в пределах поля зрения фоторегистратора она практически постоянна.

Картина обтекания капли сходна с картиной обтекания затупленного твердого тела. В сверхзвуковом и околосзвуковом потоках перед каплей образуется отошедшая ударная волна, позади – скачки уплотнения. На фиг. 2 виден быстрый отход слабой ударной волны, образовавшейся перед каплей, в результате небольшого уменьшения скорости потока относительно капли.

Через некоторое время после прохождения капли фронтом ударной волны начинается срыв жидкости с поверхности капли, образующей позади нее след. Эта картина обтекания хорошо согласуется с данными, приведенными в работе [3]. Толщина слоя, срываемого с поверхности капли, была оценена по фотоснимкам и оказалась равной ~ 0.1 мм.

Сравнивая картины процессов, полученные при разных скоростях обтекания каплей (от дозвуковых до сверхзвуковых), можно заметить, что механизм разрушения каплей одинаков. В процессе



Фиг. 4

се разрушения, который состоит в срыве поверхностного слоя жидкости, капля деформируется. При этом ее поперечный размер растет, увеличиваясь к моменту полного разрушения в 3–5 раз.

За конец разрушения капли был принят тот момент времени, в который кромка капли, обращенная к потоку и имеющая обтекаемую гладкую форму, начинала искажаться. В ней появлялись «провалы» и «выступы», свидетельствующие о том, что разные части облака, в которое превратилась капля, начинали двигаться относительно друг друга, т. е. капля перестала существовать как единое целое.

По-видимому, такое определение времени разрушения дает несколько завышенную величину. Об этом можно судить по фиг. 3, на которой время разрушения со-

гласно указанному критерию ~ 64 мксек. Но если проанализировать характер перемещения ударной волны, видно, что сначала она отходит от капли (до 40 мксек), что связано с уменьшением скорости потока относительно капли, а также с ростом поперечного размера капли, а затем (48 мксек) ударная волна «садится» на облако, свидетельствуя о том, что процесс разрушения завершился. Поэтому время разрушения при сверхзвуковом обтекании определялось по поведению ударной волны. В случае дозвукового потока процесс разрушения считался законченным, когда капля теряла обтекаемую форму. На фиг. 1 время разрушения капли — 152 мксек, на фиг. 2 — 144 мксек.

Нужно отметить, что времена разрушения капель, полученные в данной работе, в 3–4 раза меньше, чем в работе [5]. Это объясняется разницей критериев для определения конца разрушения капли. В пользу критерия, принятого в настоящей работе, можно привести следующие соображения. По данным работы [5] за время, в 3–4 раза меньшее, чем время разрушения, поперечный размер капли возрастает в 4 раза, а сама капля приобретает вид эллипсоида вращения. Размер капли в направлении потока можно оценить, считая, что унос жидкости с поверхности капли отсутствовал. Он оказывается равным ~ 0.1 мм, т. е. сравнимым с толщиной срываемого с капли поверхностного слоя. В это время, по-видимому, уже нельзя говорить о капле как о неразрушившемся целом.

Зависимость числа Струхала $Sh = d(u\tau)^{-1}$, где d — начальный диаметр капли, u — скорость газа за ударной волной, τ — время разрушения капли, от числа Маха M_s ударной волны приведена на фиг. 4. Здесь же показана теоретическая зависимость $Sh = k^{-1} \sqrt{\rho_g/\rho_f}$, взятая из работы [3]; $k = 1.5$, ρ_g и ρ_f — соответственно плотности газа и жидкости. Видно хорошее совпадение теоретических и экспериментальных данных в широкой области изменения параметров.

Поступила 2 VII 1972

ЛИТЕРАТУРА

1. *Волинский М. С.* Изучение дробления капель в газовом потоке. Докл. АН СССР, 1949, т. 68, вып. 2.
2. *Gordon G. D.* Mechanism and speed of breakup of drops. Appl. Phys., 1959, vol. 30, No. 11.
3. *Бузуков А. А.* Разрушение капель и струй жидкости воздушной ударной волной. ПМТФ, 1963, № 2.
4. *Mayer E.* Theory of liquid atomization in high velocity gas streams. ARS Journal, 1961, vol. 31, No. 12.
5. *Ranger A. A., Nicholls J. A.* Aerodynamic shattering of liquid drops. AIAA Journal, 1969, vol. 7, No. 2.

УДК 532.546

О ПРЯМОТОЧНО-ПРОТИВОТОЧНОЙ КАПИЛЛЯРНОЙ ПРОПИТКЕ В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ

Б. В. ШАЛИМОВ, М. И. ШВИДЛЕР

(Москва)

Процесс противоточной капиллярной пропитки изучен достаточно полно [1]. Пример прямооточно-противоточного течения и численный анализ автомоделного решения даны в [2]. Экспериментально на физических моделях прямооточно-противоточную пропитку изучали В. Г. Оганджянц и А. А. Мац. В [3] задача о прямооточно-противоточной пропитке сведена к уравнению в частных производных высокого порядка относительно насыщенности. Ниже предлагается иной подход к решению этой задачи, приводятся алгоритм и результаты численного решения.

1. Рассмотрим цилиндрический образец однородной недеформируемой пористой среды, насыщенной смачивающей и несмачивающей несжимаемыми жидкими фазами (например, водой и нефтью), находящимися в капиллярном равновесии. Последнее эквивалентно постоянству капиллярного давления или насыщенности вдоль образца. Будем считать боковую поверхность образца непроницаемой для жидкостей, а к торцам при заданных, в общем случае различных, внешних давлениях подведем смачивающую и несмачивающую фазы соответственно. Дальнейшее перераспределение жидкостей в образце описывается уравнениями неразрывности и обобщенного закона Дарси для смачивающей ($i=1$) и несмачивающей ($i=2$) фаз с учетом капил-