

03

© 1991

ЗАТУХАНИЕ ВОЗМУЩЕНИЙ НА УДАРНОМ ФРОНТЕ  
ПРИ НЕУСТОЙЧИВОСТИ РИХТМАЙЕРА-МЕШКОВАА.Н. Алешин, С.Г. Зайцев,  
Е.В. Лазарева

В работе исследуется динамика выполаживания возмущений на фронте преломленной ударной волны, возникших в результате взаимодействия плоской ударной волны с возмущенным контактным разрывом, разделяющим газы разной плотности.

Эксперименты проводились на ударной трубе квадратного сечения  $72 \times 72$  мм<sup>2</sup>. Канал низкого давления разделялся на два объема тонкой лавсановой пленкой, масса которой эквивалентна массе слоя контактирующих газов после взаимодействия толщиной менее 1 мм. В качестве рабочих газов использовались инертные газы: 1) Ar - Xe, число Атвуда  $A=0.45$  ( $A = (\rho_b - \rho_a) / (\rho_b + \rho_a)$ ), где  $\rho_b$  и  $\rho_a$  - плотность "тяжелого" и "легкого" газа на контактном разрыве после взаимодействия); 2) He - Ar,  $A=0.77$ ; 3) He - Xe,  $A=0.92$ . Начальное давление - 0.5 атм, а число Маха падающей ударной волны подбиралось так, чтобы число Маха преломленной ударной волны было порядка 4. На лавсановой пленке специальным устройством задавалось двумерное искажение контактного разрыва вида:

$$x = x_0 + \frac{a_0}{2} \sin ky, \quad k = \frac{2\pi}{\lambda},$$

где  $a_0=10$  мм;  $y$  - координата вдоль оси ударной трубы;  $x$  - координата, перпендикулярная оси трубы и оси визуализации;  $\lambda$  - длина волны возмущения ( $\lambda=24, 36, 72$  мм). Визуализация процесса осуществлялась оптическим методом при помощи прибора

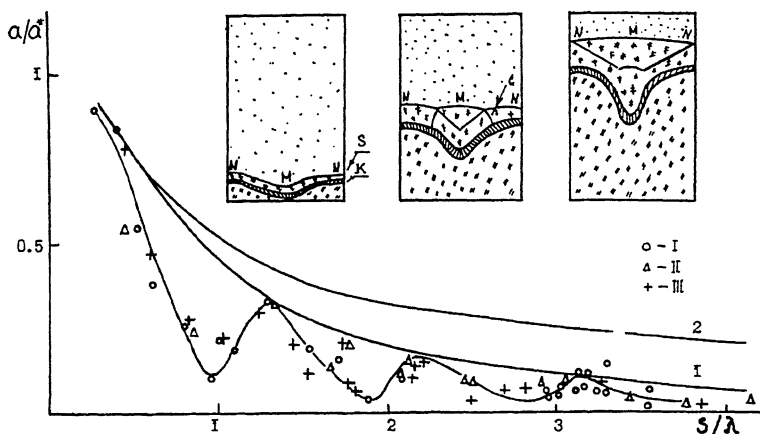


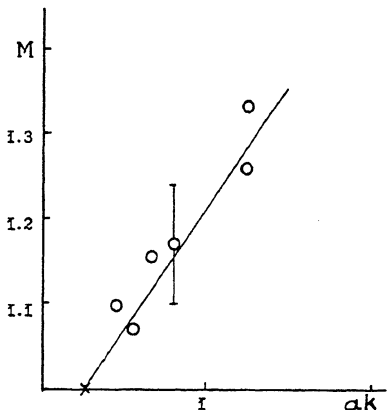
Рис. 1. Затухание возмущений на ударном фронте: а - экспериментальные данные для различных длин волн: линия 1 -  $He-Xe$ ; I -  $\lambda = 72$  мм, II -  $\lambda = 36$  мм, III -  $\lambda = 24$  мм; линия 2 -  $Ar-Xe$ ; б - схематическое изображение теплерограмм.

ИАБ-451 с регистрацией на фотопленку прибора ЖФР-3. В качестве источника света использовался рубиновый лазер в режиме модулированной добротности, что позволяло получать кадры с частотой съемки  $(80-120) \cdot 10^3$  кадров в секунду. В эксперименте визуализировалась зона  $(10 < X < 170)$  мм.

В работе был проведен одномерный расчет задачи о распаде произвольного разрыва. Результаты расчета сравнивались с экспериментальными данными, полученными при исследовании преломления ударной волны на плоском контактном разрыве, причем в этих экспериментах лавсановая пленка была в два раза толще штатной. В пределах ошибки эксперимента результаты расчета совпали с экспериментальными данными. Это позволяет сделать вывод, что влиянием лавсановой пленки на газодинамику процесса можно пренебречь.

В работе рассматривался только переход ударной волны из газа меньшей плотности в газ с большей плотностью. Ударная волна, взаимодействуя с возмущенным контактном разрывом, формирует преломленную и отраженную ударные волны, имеющие форму, подобную первоначальному контактному разрыву. Со временем фронты ударных волн стремятся к выхолаживанию, которое происходит в результате их взаимодействия с вторичными ударными волнами или волнами сжатия, возникающими в областях повышенного давления, формирующимися за сходящимися участками фронтов преломленной и отраженной ударных волн. На рис. 1 схематически изображены теплерограммы, отражающие процесс затухания возмущений на ударном фронте преломленной волны, распространяющейся в ксеноне при наличии за ней контактной поверхности, отделяющей ксенон от гелия. Видно, что на синусоидальном фронте ударной волны в области

Рис. 2. Число Маха вторичных ударных волн в зависимости от  $\alpha^*k$ .



минимума (точка М) со временем появляется излом. Это происходит в результате формирования за точкой М области повышенного давления, что приводит к формированию вторичной цилиндрического вида ударной волны. Взаимодействие вторичной ударной волны с преломленной приводит к формированию типичных тройных конфигураций, которые перемещаются по фронту преломленной ударной волны от точки М к точкам N. В процессе своего движения поперек потока интенсивность вторичной ударной волны падает. К падению интенсивности приводит и взаимодействие двух вторичных волн, идущих из различных точек М. По мере падения интенсивности вторичных волн идет выполаживание преломленной ударной волны.

В работе измерялась амплитуда искажения преломленной ударной волны в зависимости от пройденного фронтом ударной волны пути, отнесенного к  $\lambda$ . На рис. 1 представлены результаты по затуханию для  $He-Xe$  (1) и для  $Ar-Xe$  (2). Видно, что амплитуда возмущения уменьшается колебательным образом, данные для различных  $\lambda$ , но одной и той же пары газов, ложатся на одну линию.

Закон затухания возмущений на ударном фронте можно записать через уравнения для огибающей (рис. 1):  $\alpha / \alpha^* = B(S/\lambda)^n$ , где  $n$  — степень затухания,  $S$  — путь, пройденный преломленной ударной волной,  $B$  — безразмерный коэффициент,  $\alpha^*$  — начальная кривизна ударной волны:  $\alpha^* = \alpha_0(1 - W_b/W_a)$ ,  $W_a$  и  $W_b$  — скорость падающей и преломленной ударных волн соответственно. Из рис. 1 видно, что для пары  $He-Xe$  амплитуда возмущения падает быстрее в зависимости от  $S/\lambda$ , чем для  $Ar-Xe$ . Вероятно, это связано с различием отношения плотностей на контактном разрыве: для пары  $He-Xe$  —  $\rho_b/\rho_a = 24$ , а для  $Ar-Xe$  —  $\rho_b/\rho_a = 2.6$ . Вторичная ударная волна, распространяясь в потоке тяжелого газа за преломленной ударной волной, взаимодействует с контактным разрывом и переходит в более легкий газ. В этом случае отраженной волной будет волна разрежения. Следовательно, в более плотном газе за преломленной ударной волной наряду с вторичными ударными волнами будут и волны разрежения. Последние будут разгружать области с повышенным давлением, а, следовательно, ускорять процесс затухания возмущений на фронте преломленной ударной волны. Этот процесс будет идти тем интенсивнее, чем больше отношение плотностей на контактной поверхности.

A	0	0,45	0,77	0,91
$\kappa$	0,5	0,64	0,92	1,22

В работе определялось число  $\kappa$  для различных пар газов. Результаты представлены в таблице. Значение  $\kappa=0,5$ , при  $A=0$  получено теоретически и экспериментально в [1-2] и соответствует затуханию возмущений на фронте ударной волны, распространяющейся в однородном потоке.

В работе измерялась интенсивность вторичных ударных волн в момент их формирования в зависимости от начальной кривизны преломленной ударной волны. Измерения проводились двумя способами:

1. Измерялись углы в трехударной конфигурации и перемещение тройной точки; в результате определялась интенсивность вторичной ударной волны. 2. Измерялись скорости движения точек  $M$  и  $N$ , по этим скоростям рассчитывалось давление в точках  $M$  и  $N$ ; скачок давления между точками  $M$  и  $N$  приписывался вторичной ударной волне и по нему определялась их интенсивность. Результаты обоих типов измерений с точностью до ошибки измерений совпали между собой.

На рис. 2 представлена экспериментальная зависимость числа Маха вторичной ударной волны от  $\alpha^*k$ .

В ы в о д ы:

1. Затухание возмущения синусоидального вида на сильной ударной волне ( $M \sim 4$ ) при  $\alpha^*k > 0,3$  осуществляется вторичными ударными волнами, распространяющимися поперек потока.

2. Амплитуда возмущения ударной волны, пульсируя, уменьшается до нуля, причем скорость затухания увеличивается с увеличением числа Атвуда на контактном разрыве.

3. Интенсивность вторичных ударных волн растет с увеличением начальной кривизны ударной волны.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Баженова Т.В., Гвоздева Л.Г. Нестационарные взаимодействия ударных волн. М.: Наука, 1977. 274 с.
- [2] Неужаев В.Е. Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша. Исследование гидродинамической устойчивости с помощью ЭВМ. Москва, 1981. 250 с.

Поступило в Редакцию  
14 апреля 1991 г.