

водиться коротким импульсом и инициирующая система не должна создавать «подпора», искажающего течение продуктов взрыва за фронтом детонационной волны.

*Поступила в редакцию
3/VII 1980*

ЛИТЕРАТУРА

1. M. J. Kamlet, C. Dickenson. J. Chem. Phys., 1968, 48, 1.
2. W. C. Davis. 6-th Symp. (International) on Detonation, California, 1976.
3. А. Н. Дремин, С. Д. Савров и др. Детонационные волны в конденсированных средах. М.: Наука, 1970.
4. В. Н. Зубарев, Г. С. Телегин. Докл. АН СССР, 1964, 158, 2.
5. М. В. Баталова, С. М. Бахрах и др. Тр. Всесоюз. семинара по численным методам механики вязкой жидкости. Новосибирск: Наука, 1969.
6. М. В. Баталова, С. М. Бахрах и др. ПМТФ, 1971, 3.
7. Я. Б. Зельдович. ЖЭТФ, 1942, 12, 9.

ПЕРЕСЖАТАЯ ДЕТОНАЦИОННАЯ ВОЛНА В ГАЗЕ

Т. П. Гавриленко, Е. С. Прохоров

(Новосибирск)

В работе экспериментально исследованы пересжатые детонационные волны в круглой трубе и плоском канале, возникающие при взаимодействии детонации Чепмена — Жуге с введенным в канал клином или при коническом сужении сечения круглой трубы. Угол наклона конической поверхности к образующей трубы будем называть условно углом конуса.

Когда угол между поверхностью клина (конуса) и фронтом падающей детонационной волны превышает критический, происходит нерегулярное (маховское) отражение детонации на клине, маховская ножка при этом является пересжатой детонационной волной.

Параметры пересжатых волн исследовались следовым методом, методом Теплера и с помощью фоторазверток самосвечения. Экспериментально определялась величина критического угла, зависимость пересжатия (α) от величины угла клина (конуса) ($\alpha = D_1/D_0$, где D_1 — скорость пересжатой волны, D_0 — скорость Чепмена — Жуге), зависимость размера ножки от угла клина (конуса) и величины начального давления смеси. Следовым методом наблюдалась волновая структура, возникающая при симметричном столкновении маховских ножек (вторичное маховское отражение), а также исследовалось поведение дважды пересжатой волны в канале постоянного сечения после прохождения волной сужающегося в виде конуса сечения.

В экспериментах использовался канал прямоугольного сечения 10×70 мм на расстоянии 700 мм от места инициирования, оборудованный стеклянными окнами для наблюдения. В этом месте располагался клин, угол которого изменялся от 5° до 45° через 5° , а вблизи 40° — через 1° .

Круглая труба диаметром 80, длиной 1000 мм, разрезанная пополам вдоль оси, закреплялась на пластине размером $1000 \times 120 \times 15$ мм. С одного конца проводилось инициирование, с другого вставлялся разрезанный пополам (вдоль оси) цилиндр, внутри которого коническое сечение сужалось от диаметра 80 мм до 20 или 10 мм. Угол конуса изменялся от 30° до 45° через 5° , а вблизи 45° — через 1° . В силу симметрии картина течения при такой конструкции не нарушалась, а наличие плоско-



Рис. 1.

На термограммах при всех исследованных углах маховская ножка прямая и перпендикулярна поверхности клина (рис. 1).

Для регистрации траектории тройной точки использовался метод следовых отпечатков на закопченной стекле. Поскольку величина ячейки сильно зависит от пересечения α , а маховская ножка как в круглой трубе, так и в плоском капале является пересечением волной, то ячейка

го основания позволяло методом следовых отпечатков легко получать информацию.

Опыты проведены со стехиометрическими смесями водорода и ацетилена с кислородом при начальном давлении от 0,05 до 1 ата. Установлено, что критический угол клина для обеих смесей равен $40 \pm 1^\circ$ в отличие от рассчитанного с использованием химического равновесия продуктов [1], равного $34 \pm 0,4^\circ$. В круглой трубе критический угол конуса больше, чем клина, и равен $45 \pm 1^\circ$.

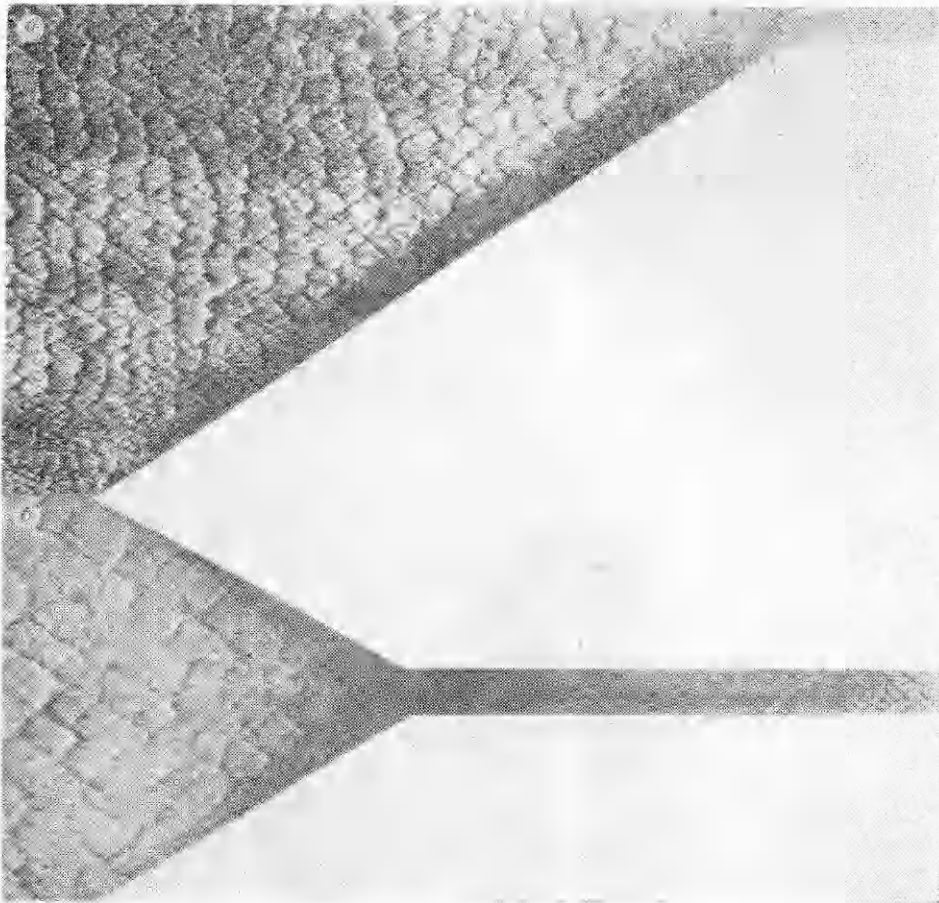


Рис. 2.

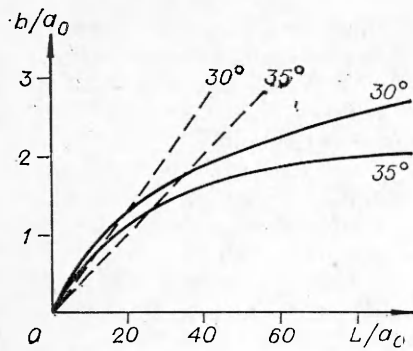


Рис. 3.

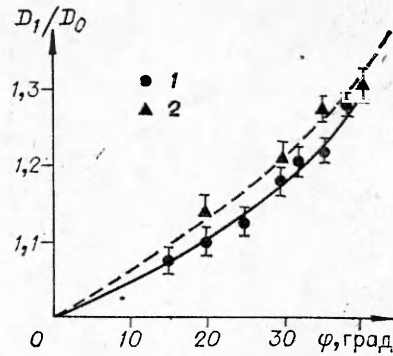


Рис. 4.

за ее фронтом существенно меньше, чем за фронтом волны Чепмена — Жуге. Одновременной фиксацией ячейки за ножкой и скорости ножки по разверткам самосвечения через щель, параллельную образующей клина, установлена зависимость размера ячейки a_1 в пересжатой волне от степени пересжатия α [2]. Полученная зависимость позволяет с высокой точностью по следовым отпечаткам определять скорость детонационных волн в каналах переменного сечения. Следовые отпечатки в плоском канале приведены на рис. 2, а, в круглой трубе — на рис. 2, б. Область с крупной ячейкой соответствует падающей волне, с мелкой — маховской ножке, граница между областями — траектория тройной точки.

В отличие от регулярного отражения сильных ударных волн движение тройной точки при нерегулярном отражении детонации Чепмена — Жуге неавтоматично. По-видимому, это можно объяснить сложной (и пока неизученной) картиной взаимодействия вблизи тройной точки волн, входящих в структуру большой и малой ячеек.

Форма траектории тройной точки (размер маховской ножки h) сильно зависит от величины начального давления смеси. Однако если эти траектории построить в координатах, безразмерных относительно размера ячейки a_0 в падающей волне Чепмена — Жуге (L — длина вдоль поверхности клина или конуса), то при одном и том же угле клина траектории при различных начальных давлениях для разных смесей совпадают с точностью до «шероховатостей» кривых. «Шероховатости» не превышают размера ячейки a_0 . На рис. 3 приведены траектории тройных точек, усредненные с точностью до «шероховатостей» в зависимости от угла клина или конуса. Сплошные линии относятся к величинам в плоском канале, штриховые — к величинам в круглой трубе. Их отличие состоит в том, что в плоском канале примерно после $L/a_0 \approx 40$ маховская ножка начинает расти медленно, а в круглой трубе такого изменения скорости не наблюдалось. Размер ячейки в этих процессах является как бы масштабом, определяющим их геометрические размеры и важнейшие характеристики. Эта явно выраженная корреляция пока не нашла своего объяснения. Размер маховской ножки (обезразмеренный по a_0) увеличивается при уменьшении угла клина (конуса), пересжатие α при этом падает. На рис. 4 приведена зависимость D_1/D_0 от угла клина или конуса (1 — для плоского канала, 2 — для круглой трубы).

Максимальное пересжатие, которое наблюдалось в опытах, равнялось 1,30 в плоском канале при угле 38° , при том же угле конуса пересжатие выше. Пересжатие можно существенно увеличить при последующем нерегулярном отражении маховских ножек. Картину такого отражения можно видеть на рис. 2, б. Угол между осью симметрии (совпадающей с осью трубы) и фронтом ножки критический, поэтому ма-

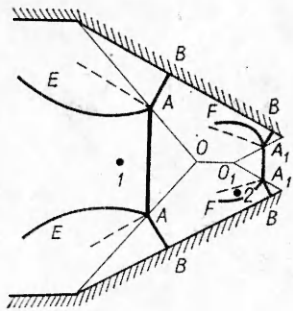


Рис. 5.

ховские ножки при столкновении отражаются нерегулярно. Схема такого отражения с предшествующим ростом ножек приведена на рис. 5. На следовых отпечатках вблизи точки O фиксируется регулярное отражение ножек (линия OO_1), а затем возникает нерегулярное (после точки O_1). Наличие регулярного отражения свидетельствует об искривлении маховской ножки вблизи тройной точки (хотя вблизи поверхности клина ножка перпендикулярна к ней) настолько что угол между ее фронтом и осью симметрии докритический. Образованная при вторичном нерегулярном отражении волна A_1A_1 пересжата. Фоторазвертки самосвечения через щель, параллельную оси, фиксируют скорость волны A_1A_1 , равную $1,5-1,7D_0$. Детонационная волна, распространяющаяся с такой скоростью, согласно работам [3, 4], имеет гладкий фронт. Действительно, в этой области ячейка на следовых отпечатках отсутствует.

Если на пути распространения волны A_1A_1 размещали канал постоянного сечения так, чтобы фронт A_1A_1 был перпендикулярен стенкам и по размерам совпадал с шириной, то скорость этой волны на расстояниях порядка калибра остается практически постоянной, а затем спадает и примерно на 10—15 калибрах выходит на скорость Чепмена — Жуге.

Поршнем, поддерживающим квазистационарное распространение волны A_1A_1 , в этом случае являются отраженные волны A_1F , возникающие при вторичном нерегулярном отражении и распространяющиеся по состоянию газа, сформированному волнами AE . Волны AE могут также оказывать поршневое воздействие на фронт волны Чепмена — Жуге при ее регулярном отражении от клина. Это наблюдалось в [4], когда угол клина был докритическим. Дальнейшее изучение динамических характеристик волн при таких взаимодействиях позволит (пока эмпирически) прогнозировать характеристики распространения детонационных волн по каналам с переменным сечением.

Измерение давлений пьезодатчиками при угле конуса 30° в смеси $C_2H_2 + 2,5O_2$, размещенными в точках 1, 2 (см. рис. 5) показывают, что за фронтом пересжатой волны AB давление равно $137p_0$ и держится 30 мкс, т. е. длина пробки с такими параметрами равна 76 мм, что соответствует скорости маховской ножки, равной $1,3D_0$.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы.

1. Критический угол клина при отражении детонации Чепмена — Жуге в смесях $2H_2 + O_2$ и $C_2H_2 + 2,5O_2$ равен $40 \pm 1^\circ$, критический угол конуса для этих же смесей равен $45 \pm 1^\circ$.

2. Маховская ножка является пересжатой волной, перпендикулярной поверхности клина. Максимальное пересжатие ножки в плоском канале составляет 1,30, в круглой трубе — 1,4. При отходе от поверхности ножка искривляется.

3. Движение тройной ножки вдоль поверхности конуса или клина неавтономно. Существует четко выраженная корреляция между размером маховской ножки и величиной ячейки в падающей волне.

4. Нерегулярное отражение маховских ножек порождает волну с пересжатием $1,5-1,7$, которая способна распространяться квазистационарно на расстояния, порядка калибра канала.

5. Полученная зависимость размера ячейки от степени пересжатия позволяет использовать метод следовых отпечатков для измерения скорости пересжатых волн по величине ячейки.

6. Измерение давления за маховскими ножками показывает, что за

маховскими ножками пробка газа имеет высокие параметры на длине, равной диаметру трубы, что может быть использовано для технологических приложений газовой детонации, например для детонационного напыления.

Поступила в редакцию
20/IV 1981

ЛИТЕРАТУРА

1. Т. П. Гавриленко, Ю. А. Николаев, М. Е. Топчийн. ФГВ, 1979, 15, 5.
2. Т. П. Гавриленко, Е. С. Прохоров. Матер. VI Всесоз. симп. по горению и взрыву, Черногоровка, 1980.
3. В. И. Манжалец, В. А. Субботин. ФГВ, 1976, 12, 6.
4. В. Е. Гордеев. Докл. АН СССР, 1976, 226, 3.

ВЛИЯНИЕ ТАНГЕНЦИАЛЬНОГО РАЗРЫВА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ СОУДАРЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛАСТИН

В. В. Сильвестров
(Новосибирск)

Возникновение волн на поверхности раздела при косом соударении металлических пластин [1] в ряде работ связывается с неустойчивостью тангенциального разрыва, реализуемого за счет образования обратной струи перед точкой контакта [2] или движения переходного слоя за точкой контакта [3]. Роль точки контакта сводится к генерации случайных возмущений, дальнейшее развитие которых происходит по механизму гидродинамической неустойчивости Кельвина — Гельмгольца. Согласно другому варианту теории, параметры волн определяются геометрическими характеристиками течения и свойствами материала в окрестности точки контакта [1, 4]. Поэтому определенный интерес представляет исследование устойчивости поверхности раздела при наличии только тангенциального разрыва в условиях, приближенных (по величине и длительности импульса давления, интенсивности тангенциального разрыва) к реализуемым в обычной схеме сварки взрывом.

В работе рассмотрены две схемы плоского столкновения металлических пластин при наличии тангенциального разрыва в значениях касательной (к поверхности соударения) составляющей скорости v_{τ} . В первой схеме (рис. 1, а) — ударник 1 толщиной $\delta_1 = 3-5$ мм, разогнанный до скорости $v_1 = 550-650$ м/с, соударяется с мишенью 2 ($\delta_2 = 1$ см, диа-

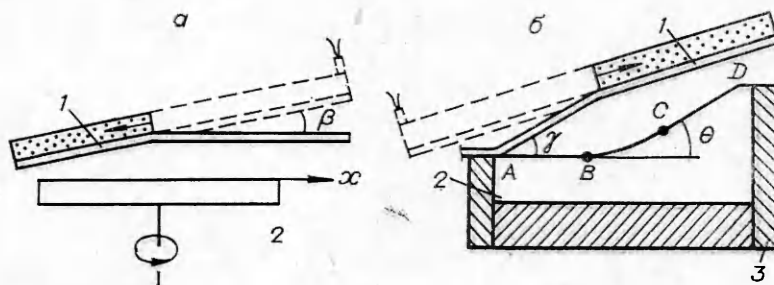


Рис. 1.