

КУМУЛЯТИВНЫЕ СТРУИ В МИКРОКАНАЛАХ ВЗРЫВЧАТОГО ВЕЩЕСТВА

М. Д. Тарасов, А. И. Толшмяков, В. С. Петушков, В. А. Судовцов,
М. Ю. Тараканов

РФЯЦ, ВНИИ экспериментальной физики, 607190 Саров

С использованием волоконных световодов диаметром 0,125 мм измерена скорость струи, формируемой в микроканале внутри пластического взрывчатого вещества. Показано, что в заполненных воздухом микроканалах, ось которых перпендикулярна фронту детонации, скорость головы струи может превышать скорость нормальной детонации в два раза.

Исследованию явлений, происходящих в каналах с воздухом и вакуумированных каналах значительного размера, расположенных внутри взрывчатых веществ (ВВ), посвящены работы [1–4]. Показано, что в полостях с поперечным размером в несколько миллиметров образуются ярко светящиеся струи из продуктов взрыва и воздуха, скорость которых до двух раз превышает скорость нормальной детонации. Продемонстрировано, что с помощью таких струй можно инициировать ВВ, прикрывая эти каналы. Явление названо опережающей детонацией [1]. Возникновение струй в микроканалах ВВ ранее экспериментально не изучалось, хотя в работе [5] отмечено, что процессы, происходящие в порах внутри гетерогенных ВВ, могут быть ответственны за возникновение и развитие детонации.

Настоящая работа посвящена экспериментальному изучению струй, возникающих в микроканалах при детонации ВВ. Для создания отверстий внутри ВВ и измерения скорости струй в микроканалах (заполненных воздухом и вакуумированных) применяли волоконные световоды.

В экспериментальной установке (рис. 1) использовали градиентные световоды с наружным диаметром 125 мкм (диаметр светопроводящей сердцевины 50 мкм) и длиной 20 м. Свет собирался непосредственно торцом ВС. Световой сигнал подавался на фотоэлектронный умножитель типа СНФТ-8М. Для расширения динамического диапазона электрические сигналы записывались двумя скоростными осциллографами С9-4А с различной чувствительностью. Суммарное время установления переходной характеристики регистрирующей системы 2 нс. Ошибка в определении временных интер-

валов не превышала 2%.

Эксперименты проводили с пластическим ВВ, изготовленным из мелкодисперсного порошка тэна с размером частиц $25 \div 30$ мкм; зерна тэна равномерно распределялись по объему ВВ; для связки использовали полиизобутилен. Этот тип ВВ был выбран по трем причинам: пластичность, малая (в пределах ошибки измерений) ширина зоны химической реакции, полупрозрачность для света, излучаемого детонационным фронтом. Скорость стационарной детонации пластического ВВ 7,8 км/с. Микроканал в образце создавали с помощью механического устройства. Волоконным световодом делали «накол» поверхности ВВ. Чтобы обеспечить перпендикулярность отверстия поверхности, световод вставляли в латунную втулку (см. рис. 1), которая двигалась по направляющей. Длина микроканалов $h = (0,5 \div 2) \pm$

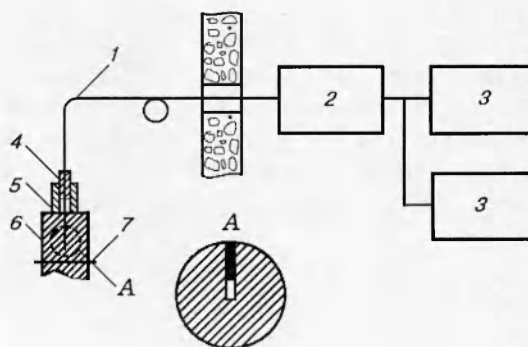


Рис. 1. Методика экспериментов:

1 — волоконные световоды, 2 — фотоэлектронный умножитель, 3 — осциллограф, 4 — втулка, 5 — направляющая, 6 — образец, 7 — фольга

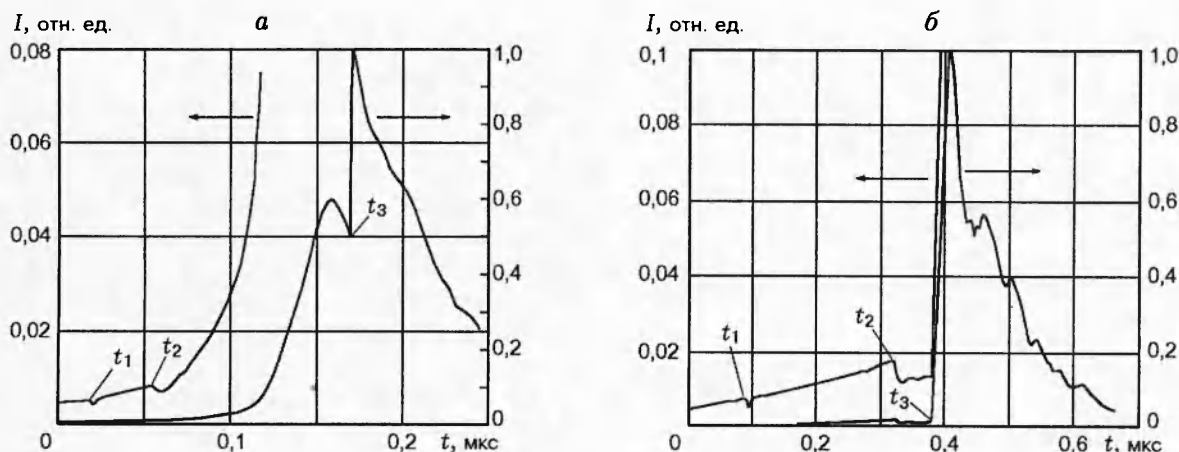


Рис. 2. Осциллограммы опытов с микроканалами, заполненными воздухом (а) и вакуумированными (б): $h = 1,5$ (а) и 1 мм (б)

0,05 мм. Проведя несколько контрольных «наколов» с полным удалением световода из отверстия, мы не обнаружили заметного различия диаметров микроканала и световода. При этом на торце световода отсутствовали остатки ВВ.

Часть опытов проведена при пониженном до 10^3 Па давлении. В этом случае микроканалы формировали на специальной взрывной установке, «накол» ВВ и обратное перемещение световода осуществляли в вакууме.

Момент выхода ударной волны на свободную поверхность, которой является дно микроканала, определяли по резкому спаду интенсивности света. Внутри ВВ располагались фольги из лавсана (см. рис. 1) толщиной 5 мкм, которые за счет уменьшения пропускания света при ударном сжатии давали четкие временные отметки на осциллограммах. Специально проведенные опыты показали, что такая фольга практически не дает задержки распространения детонации по ВВ.

На рис. 2,а представлены осциллограммы опытов с микроканалами, заполненными воздухом. Здесь t_1 — время прихода ударной волны на лавсановую фольгу, t_2 — момент выхода детонационного фронта на дно микроканала, t_3 — время взаимодействия воздушной ударной волны с торцом световода. В течение $2 \div 4$ нс от момента времени t_3 яркость свечения продолжает нарастать. В опытах с вакуумированными микроканалами характер осциллограмм был иной (см. рис. 2,б). В этом случае ударная волна, образованная струей продуктов взрыва,

движется по воздуху низкой плотности. Поэтому интенсивность свечения мала. Момент взаимодействия струи с торцом световода определяли по началу увеличения интенсивности света. Нарастание интенсивности продолжается ≈ 30 нс и отражает характер взаимодействия струи продуктов взрыва с торцом световода.

Экспериментальные значения времени от выхода детонационного фронта на дно микроканала до начала взаимодействия струи с торцом световода для микроканалов различной длины представлены на рис. 3. Кривая

$$h = -0,193 + 16t - 10,8t^2, \quad (1)$$

на рис. 3 получена методом наименьших квадратов. С учетом ошибки измерений линия проходит через все экспериментальные точки, полученные в опытах с микроканалами, заполненными воздухом. Зависимость (1) пересекает ось t в точке $t_0 = 0,012$ мкс. Это значение должно соответствовать времени τ формирования струи продуктов взрыва, разлетающихся со скоростью v со стенок микроканала и начинающих взаимодействовать между собой (микроканал смыкается):

$$\tau = d/2v, \quad (2)$$

где d — диаметр микроканала.

Согласно [6] скорость движения продуктов взрыва в направлении нормали к стенке микроканала определяется по формуле

$$v = \frac{2c}{k-1}. \quad (3)$$

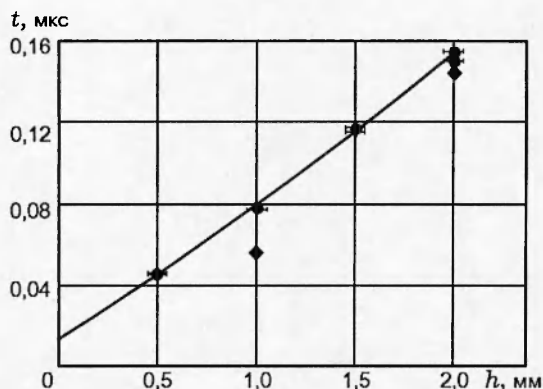


Рис. 3. Зависимость времени прохождения струи по капилляру от его длины:

● — микроканалы с воздухом, ◆ — вакуумированные

Здесь c — скорость звука,

$$c = D \frac{k}{k+1}, \quad (4)$$

k — показатель политропы, D — скорость нормальной детонации.

Для $k = 3$, $D = 7,8$ км/с из (4) получаем $\tau = 0,011$ мкс, что хорошо согласуется со значением t_0 . Из (1) находим мгновенное значение скорости струи по микроканалу с воздухом:

$$\frac{dh}{dt} \left[\frac{\text{мм}}{\text{мкс}} \right] = 16 - 21,6t. \quad (5)$$

Для $t = 0,02$ мкс из (5) получаем $dh/dt = 15,6$ мм/мкс, что превышает скорость нормальной детонации пластичного ВВ в два раза.

Из рис. 3 следует, что скорость головы струи в вакуумированных микроканалах заметно выше, чем в заполненных воздухом. Это связано с тем, что возникающая в воздухе ударная волна задерживает движение кумулятивной струи продуктов взрыва.

Таким образом, в полостях ВВ размером $\approx 0,1$ мм могут возникать струи из воздуха и продуктов взрыва, движущиеся со скоростью, по крайней мере вдвое превышающей скорость нормальной детонации. Отметим, что в настоящих экспериментах интенсивность свечения была значительной. В дальнейшем это позволит провести опыты с волокнами диаметром ~ 10 мкм, что приблизит нас к изучению процессов, проходящих в собственных порах, возникающих в гетерогенных ВВ при их изготовлении.

Кроме временных измерений настоящая методика позволяет также измерять температуру газа в струе при ее движении по микроканалу и во время взаимодействия с торцом волоконного световода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Woodhead D. W. Advance detonation in a tubular charge of explosive // Nature. 1959. V. 183, N 4677. P. 1756–1757.
2. Султанов М. Вопросы горения и детонационных волн. М.: Оборонгиз, 1958. С. 352.
3. Дубнов А. В., Хотина Л. Д. О механизме канального эффекта при детонации конденсированных ВВ // Физика горения и взрыва. 1966. № 4. С. 97–104.
4. Загуменнов А. С., Титова Н. С., Фадеенко Ю. П., Чистяков В. П. Детонация удлиненных зарядов с полостями // ПМТФ. 1969. № 2. С. 79–83.
5. Мейдер Ч. Численное моделирование детонации. М.: Мир, 1985. С. 119–219.
6. Физика взрыва / Ф. А. Баум, Л. П. Орленко, К. П. Станюкович, Р. П. Челышев, Б. И. Шехтер. М.: Наука, 1975. С. 459.

Поступила в редакцию 24/IV 1998 г.