

Список литературы

1. Способ оценки совместимости взрывчатых веществ с конструкционными материалами и устройство для его реализации, С.Э. Гребенникова, О. М. Балякина, Н. А. Мирошниченко и др. Патент RU 2589708 от 09.06.2016.
2. Brailovsky, A.B. Millimeter range spectrometer with phase switching-novel method for reaching of the top sensitivity / A.B.Brailovsky, V.V.Khodos, V.L.Vaks // Int. J. Infrared and Millimeter Waves. – 1999. – Vol. 20, № 5. – P. 883-896.
3. Chaturvedi, S. Review on Thermal Decomposition of Ammonium Nitrate / S.Chaturvedi, P.N.Dave // J. Energ. Mater. – 2013. – Vol. 31, № 1. – P. 1-26
4. Vapor Pressure of Ammonium Nitrate / J.D. Brandner [et al.] // J. Chem. Eng. Data. – 1962. – Vol. 7, № 2. – P. 227-228
5. Chambers, D.M. Perspectives on Pentaerythrol Tetranitrate (PETN) Decomposition / D.M.Chambers, C.L.Brackett, O.D.Sparkman // Lawrence Livermore National Laboratory. – 2002. – UCRL-JC-148956. – 18 p.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ДЕТОНАЦИИ НА УГЛАХ ПОВОРОТА В КАНАЛАХ С МАЛЫМ СЕЧЕНИЕМ

Е.В. Халдеев, А.В. Бессонова, Д.А. Пронин, Ю.М. Сустаева, О.В. Шевлягин

РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров, Россия

Введение

В настоящее время в расчетных методиках РФЯЦ-ВНИИЭФ используется метод прямого численного моделирования работы каналов с поворотами, снаряженных взрывчатым веществом (ВВ) [1], который позволяет описать результаты модельных экспериментов по исследованию распространения и прерывания детонации в каналах, снаряженных ВВ, (как прямолинейных, так и с поворотами) с учетом кинетики детонации.

Исследования распространения детонации в области поворота канала, снаряженного ВВ, ведутся давно. Так, в работе [2] съемкой с помощью СФР было показано, что по каналу с поворотами под углом 90°, снаряженным ВВ на основе гексогена, детонация распространяется по пути, отличному от кратчайшего. На полученных кадрах съемки были замечены «темные зоны», которые были идентифицированы как участки с непрореагировавшим ВВ. В данной работе образование «темной зоны» связывается с тем, что давление детонационной волны (ДВ) на участок ВВ, находящийся за поворотом, относительно невелико, и, поэтому, детонация там возникает с некоторой задержкой. За время задержки детонации ВВ на внутренней части канала успевает разгрузиться и поэтому не реагирует – имеет место «темная зона».

Исследованию распространения детонации в каналах, снаряженных пластичным ВВ на основе тэна, посвящено немало работ [2], [3] и т.д. Тем не менее, до сих пор остается недостаточно исследованным процесс возникновения и размер области «темной зоны», образованной при распространении детонации в канале с поворотом, снаряженным пластичным ВВ на основе тэна. Связывается этот факт со сложностью и невысоким качеством регистрации «темных зон» в каналах, снаряженных пластичным ВВ на основе тэна с малым сечением (от 1,2×1 до 1,5×1,5 мм²) с помощью растровой съемки на СФР.

Для регистрации распространения ДВ на различных углах поворота в каналах, снаряженных пластичным ВВ на основе тэна, был использован электронно-оптический комплекс NANOGATE 2000, основой которого является высокоскоростная камера НАНОГЕЙТ 22 с частотой

съемки до 1 млрд. кадров в секунду [4]. Такие характеристики позволяют визуализировать процессы распространения детонационных и ударных волн на любом этапе их зарождения и развития.

Целью настоящей работы является исследование процесса распространения детонационной волны на различных углах поворота в каналах, снаряженных пластичным ВВ на основе тэна, с использованием современного метода высокоскоростной видеосъемки. Задачей исследования является выявление факта наличия или отсутствия «темных зон» в области поворота каналов с ВВ. Актуальность настоящей работы определяется необходимостью получения данных для прямого численного моделирования работы каналов с поворотами, снаряженных пластичным ВВ на основе тэна, разработчиков устройств взрывной логики и других прецизионных взрывных устройств.

Для исследования выбраны углы поворота (60° , 90° , 120°) и сечения каналов ($1,2 \times 1,0$, $1,5 \times 1,2$, $1,5 \times 1,5$ мм²).

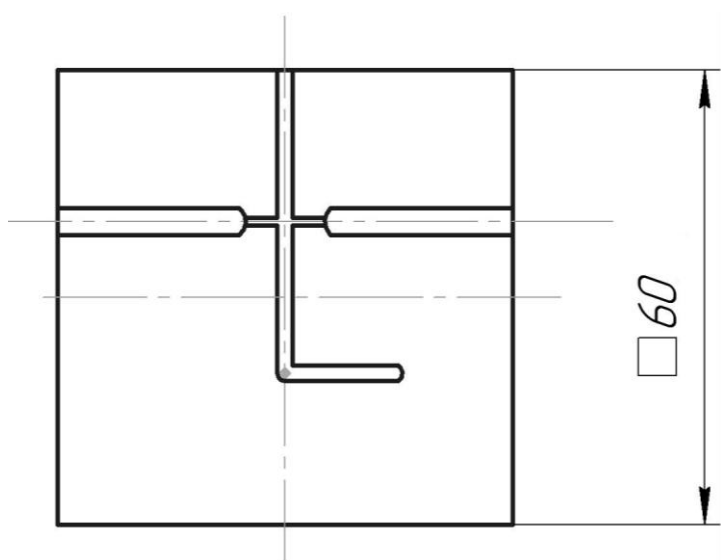
1 Конструкция макета канала с поворотом

В качестве объекта испытаний был использован макет с каналом, снаряженным ВВ, который изготовлен из пенопласта ПС-1-600 толщиной 20 мм. Сечения каналов были выбраны в трех вариантах:

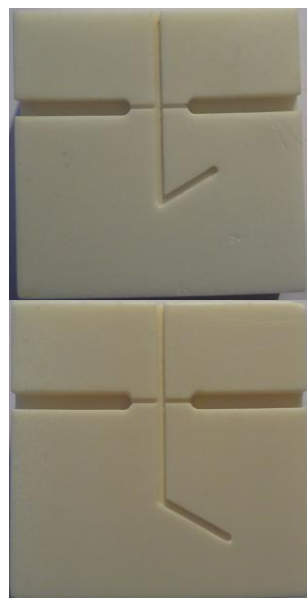
- ширина 1,2 мм; глубина 1 мм;
- ширина 1,5 мм; глубина 1,2 мм;
- ширина 1,5 мм; глубина 1,5 мм.

Углы поворотов каналов выбраны в трех вариантах: 60° , 90° и 120° .

Канал макета был снаряжен пластичным ВВ на основе тэна. Эскиз (угол поворота 90°) и внешний вид макета (угол поворота 60° , 120°) представлены на рисунке 1.



а) Эскиз макета с углом поворота 90°



б) Внешний вид макета с углом поворота 60° , 120°

Рисунок 1. Эскиз и внешний вид макета с углами поворота 90° , 60° , 120°

2 Исследование процесса распространения детонации в каналах с различными углами поворота

Во всех представленных в этой главе экспериментах для регистрации процесса распространения детонационных волн использовали камеру НАНОГЕЙТ 22 [4]. Запуск камеры осуществлялся по срабатыванию волоконно-оптического датчика, который был установлен в пазе конструкции макета (см. рисунок 2). Момент срабатывания волоконно-оптического датчика принят за начало отсчета времени. Время экспозиции кадра во всех опытах составляло 20 нс, межкадровое

расстояние 80 нс, задержка запуска камеры НАНОГЕЙТ 22 равна 2,1 мкс. Для улучшения качества регистрации процесса распространения ДВ поверхность макета (кроме канала) была покрашена чернилами.

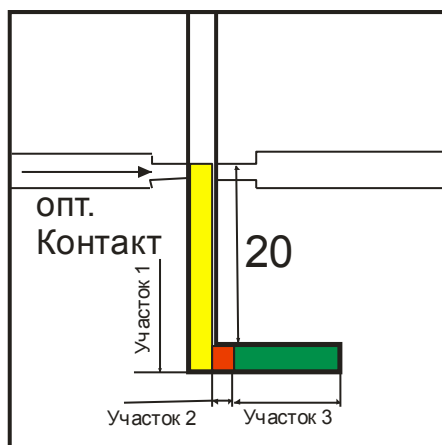


Рисунок 2. Схема модельной сборки с указанием местоположения контакта для запуска камеры НАНОГЕЙТ 22

Для удобства описания процесса распространения ДВ в канале макета весь канал разбили на три участка (см. рисунок 2):

- участок 1 – весь прямолинейный участок от паза для установки оптического датчика до конца канала;
- участок 2 – область части канала за поворотом (область с вероятным образованием «темной зоны») длиной 2- 4 миллиметра;
- участок 3 – оставшийся прямолинейный участок канала за поворотом.

2.1 Исследование процесса распространения детонации в канале с углом поворота 90°

При исследовании процесса распространения ДВ в канале с углом поворота 90° проведены эксперименты с сечениями каналов 1,2×1,0, 1,5×1,2, 1,5×1,5 мм² (по одному эксперименту на каждое сечение). Кадры распространения ДВ в канале с сечением 1,5×1,2 мм² представлены на рисунке 3. Изображения получены в результате наложения рабочего снимка на предварительный. Для наглядности предварительный снимок переведен в негатив.

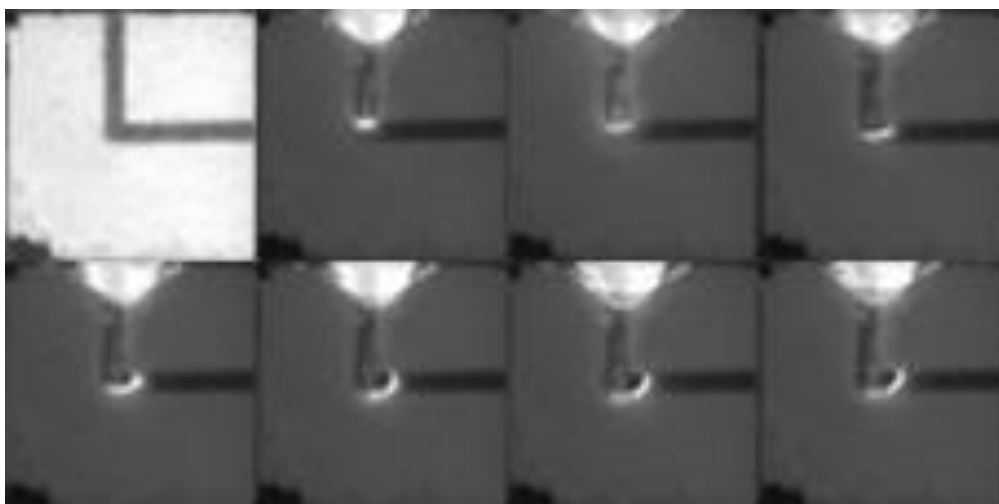


Рисунок 3. Кадры распространения ДВ в канале с сечением 1,5×1,2 мм² и углом поворота 90°

Кадры распространения ДВ в области поворота на 90° в псевдоцветах¹ (увеличенный масштаб) представлены на рисунке 4.

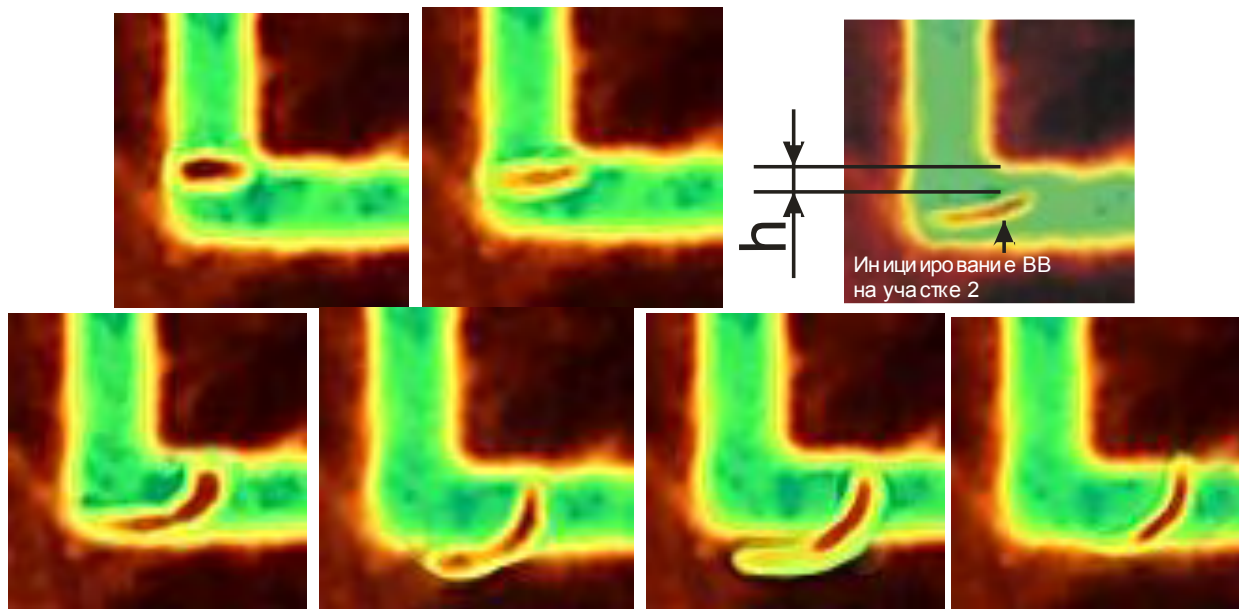


Рисунок 4. Кадры распространения ДВ в канале с сечением $1,5 \times 1,2$ мм² и углом поворота 90° (увеличенный масштаб)

На полученных изображениях (см. рисунки 4 - 5) видно, что на протяжении участка 1 до угла поворота детонационный фронт сохраняет линейный характер. При достижении угла поворота наблюдается «проскок» детонации (см. рисунок 4), т.е. происходит дальнейшее движение ДВ по участку 1 без ее вхождения на участок 2. Величина «проскока» детонации (h), вероятнее всего, определяется детонационными характеристиками пластичного ВВ на основе тэна (критическими сечением и диаметром детонации) [3] и для угла 90° равняется нескольким долям миллиметра $h=0,3 - 0,5$ мм от внутреннего угла. После «проскока» детонации в области поворота на участке 2 (см. рисунок 4) происходит иницирование ВВ, при этом по участку 2 начинает распространяться расходящаяся детонационная волна, фронт ДВ, распространяющийся по участку 1 начинает приобретать некоторый наклон. Качественная оценка показала, что по внешней стороне канала за поворотом ДВ распространяется с большей скоростью чем по внутренней. На участке 3 фронт расходящейся ДВ, имеющий первоначально изгиб, начинает выравниваться и становится линейным. Детонационная волна после поворота распространяется под некоторым углом к нормали, значение которого изменяется от $\sim 45^\circ$ вблизи поворота до $\sim 75^\circ$ на расстоянии 1,5 – 2,5 мм от угла.

Видимых (очевидных) областей с «темными зонами» - областей с непрореагировавшим ВВ в каналах не обнаружено. Свечение на фронте ДВ зарегистрировано по всей области возможного образования «темной зоны». Для иллюстрации областей с отсутствием свечения ДВ, которые были идентифицированы как «темные зоны», на рисунках 5 и 6 представлены снимки, демонстрирующие области с «темными зонами», зарегистрированные в работах, где исследовалось распространение детонации в каналах сечением 3×3 мм², снаряженных пластичным ВВ на основе тексогена.

¹ При работе с монохромными изображениями некоторые области могут восприниматься человеческим зрением как области постоянной яркости. Фильтр Псевдоцвета позволяет преобразовать монохромное изображение в цветное. Присвоение пикселям тех или иных цветов происходит в результате квантования по уровням яркости. Интенсивность свечения увеличивается от сиреневого к бордовому цвету.

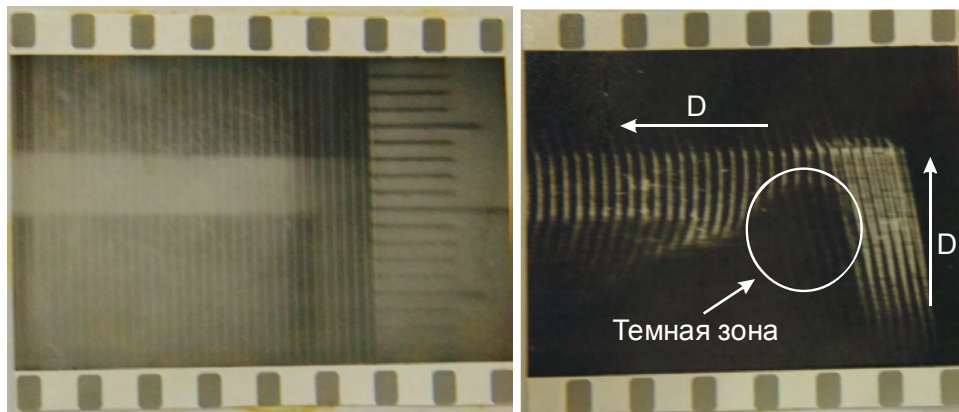


Рисунок 5. Предварительный и рабочий снимок (получен с помощью растровой съемки на СФР) распространения детонации на повороте угла 90° в канале макета, снаряженным пластичным ВВ на основе гексогена

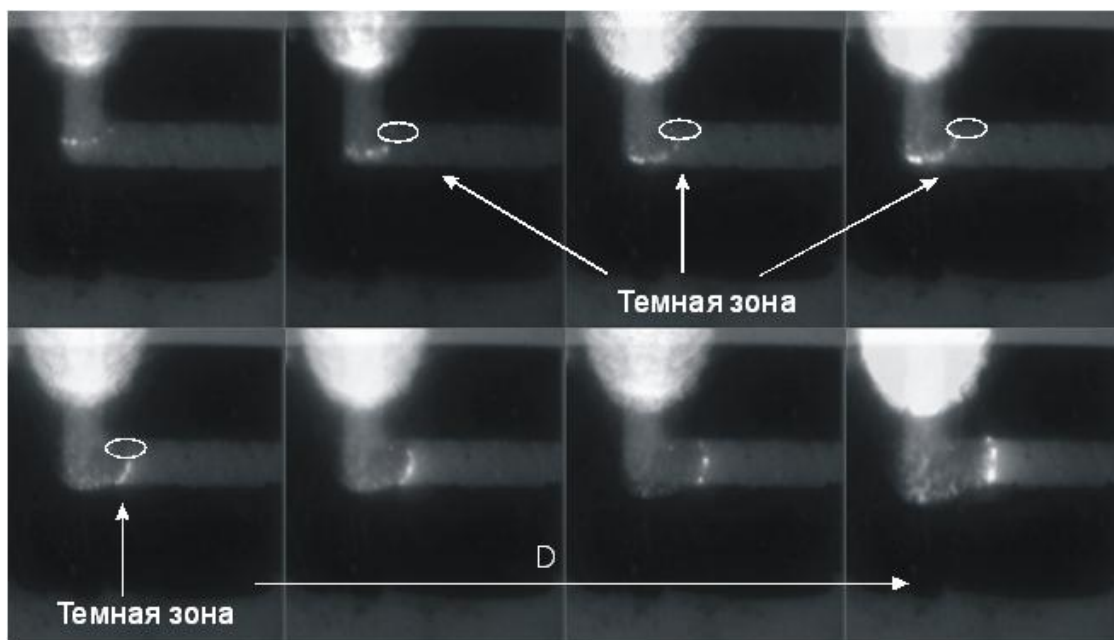


Рисунок 6. Рабочий снимок (получен с помощью съемки на НАНОГЕЙТ 22) распространения детонации на повороте угла 90° в канале макета, снаряженным пластичным ВВ на основе гексогена

2.2 Исследование процесса распространения детонации в канале с углом поворота 60°

При исследовании процесса распространения ДВ в канале с углом поворота 60° проведены эксперименты с сечениями каналов $1,2 \times 1,0$, $1,5 \times 1,2$, $1,5 \times 1,5$ мм² (по одному эксперименту на каждое сечение). Кадры распространения ДВ в канале с сечением $1,5 \times 1,2$ мм² представлены на рисунке 7.

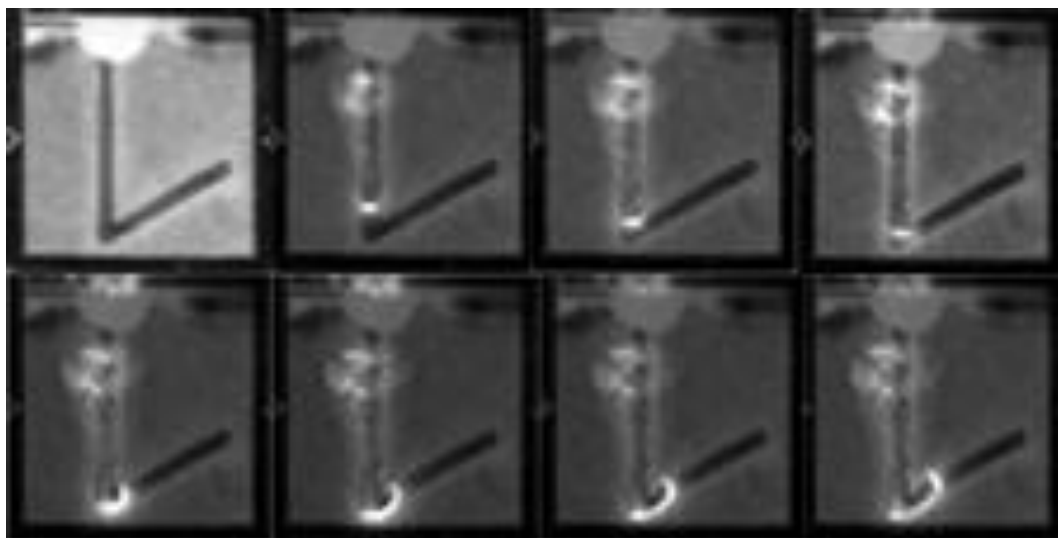


Рисунок 7. Кадры распространения ДВ в канале с сечением $1,5 \times 1,2 \text{ мм}^2$ и углом поворота 60°

Кадры распространения ДВ в области поворота на 60° в псевдоцветах (увеличенный масштаб) представлены на рисунке 8.

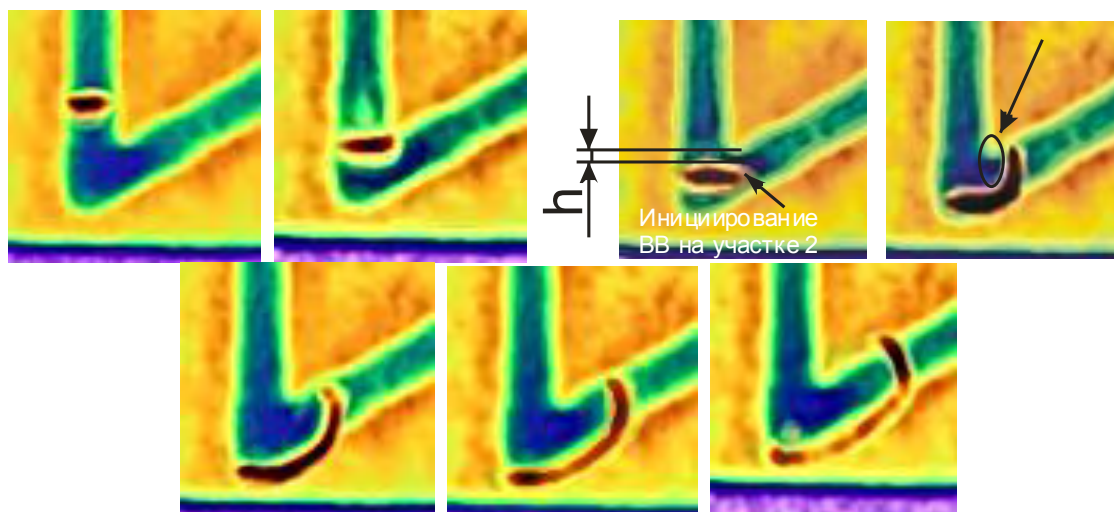


Рисунок 8. Кадры распространения ДВ в канале с сечением $1,5 \times 1,2 \text{ мм}^2$ и углом поворота 60° (увеличенный масштаб)

На полученных изображениях (см. рисунки 7 - 8) видно, что на протяжении участка 1 до угла поворота детонационный фронт сохраняет линейный характер. При достижении угла поворота наблюдается «проскок» детонации (см. рисунок 8), величина которого равна примерно половине ширины канала $h=0,6 - 0,8 \text{ мм}$, считая от внутреннего угла. На кадрах в области вблизи поворота угла во внутренней части канала отсутствует свечение фронта ДВ (выделенная область со стрелками на рисунке 8). Исходя из этого, можно предположить, что в повороте угла возможно образование «темной зоны» размерами не более $0,5 \times (0,3 - 0,4) \text{ мм}$. Дальнейшее распространение детонации в пластичном ВВ на основе тэна в каналах за поворотом угла 60° осуществляется аналогично с распространением ДВ в каналах с поворотом угла 90° (см. главу 2.1).

2.3 Исследование процесса распространения детонации в канале с углом поворота 120°

При исследовании процесса распространения ДВ в канале с углом поворота 120° проведены эксперименты с сечениями каналов $1,2 \times 1,0$, $1,5 \times 1,2$, $1,5 \times 1,5 \text{ мм}^2$ (по одному эксперименту на каждое сечение). Кадры распространения ДВ в канале с сечением $1,5 \times 1,2 \text{ мм}^2$ представлены на рисунке 9.

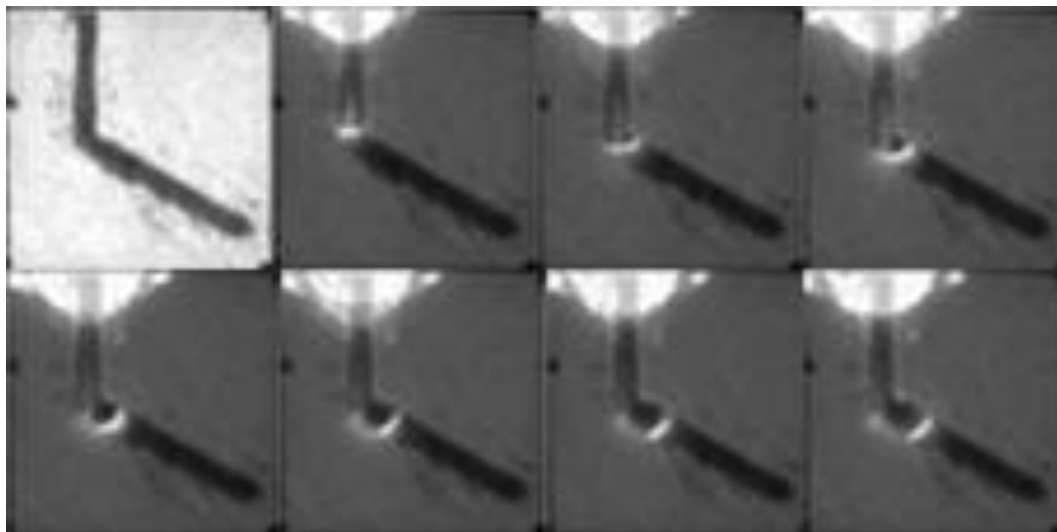


Рисунок 9. Кадры распространения ДВ в канале с сечением $1,5 \times 1,2$ мм² и углом поворота 120°

Кадры распространения ДВ в области поворота на 120° в псевдоцветах (увеличенный масштаб) представлены на рисунке 10.

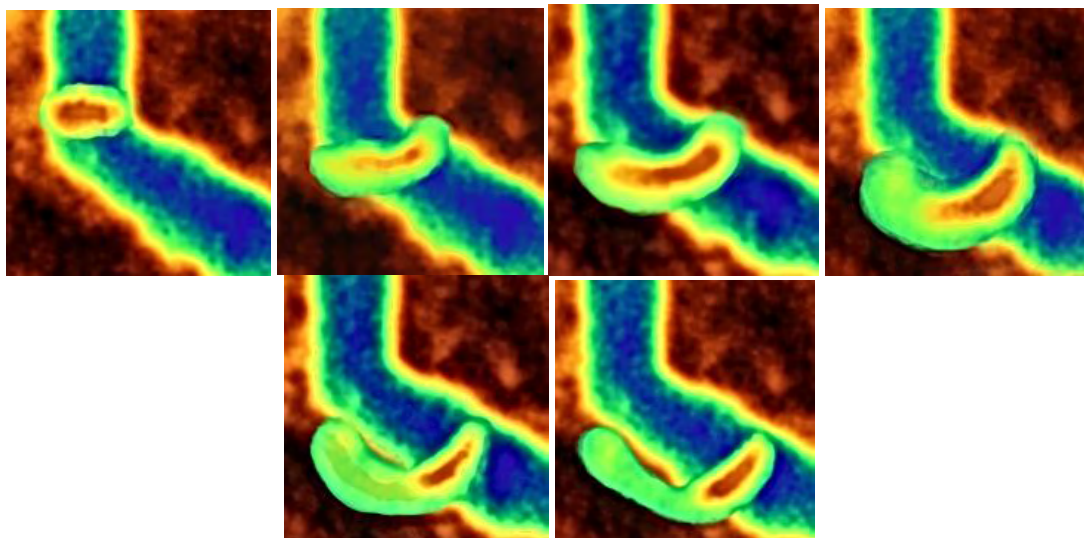


Рисунок 10. Кадры распространения ДВ в канале с сечением $1,5 \times 1,2$ мм² и углом поворота 120° (увеличенный масштаб)

Из представленных на рисунках 9 – 10 кадрах, видно, что распространение детонации в пластичном ВВ на основе тэна в каналах с поворотом угла 120° осуществляется аналогично с распространением ДВ в каналах с поворотом угла 90° (см. главу 2.1). «Проскок» детонации (см. рисунок 10) в области поворота на 120° не наблюдается. Видимых (очевидных) областей с «темными зонами» в каналах с поворотом угла 120° не обнаружено.

Заключение

Проведено исследование процесса распространения детонационной волны на различных углах поворота в каналах, снаряженных пластичным ВВ на основе тэна, на примере макета из пенопласта. Сечения каналов макета были выбраны в трех вариантах:

- ширина 1,2 мм; глубина 1 мм;
- ширина 1,5 мм; глубина 1,2 мм;
- ширина 1,5 мм; глубина 1,5 мм.

Углы поворотов каналов выбраны в трех вариантах: 60° , 90° и 120° . Для регистрации процесса распространения детонационных волн использовали камеру НАНОГЕЙТ 22.

Характер распространения детонации в пластичном ВВ на основе тэна в каналах сечениями $1,2 \times 1,0$; $1,5 \times 1,2$; $1,5 \times 1,5$ мм² и поворотами угла 60° , 90° , 120° примерно одинаковый:

- на первоначальном прямолинейном участке канала до угла поворота фронт ДВ линейный;
- при достижении угла поворота происходит «проскок» детонации, величина которого $h=0,6 - 0,8$ мм для каналов с углом поворота 60° и $h=0,3 - 0,5$ мм для каналов с углами поворота 90° , «проскок» детонации в области поворота на 120° не наблюдается;
- после «проскока» детонации в области поворота угла происходит инициирование ВВ, при этом начинает распространяться расходящаяся детонационная волна, фронт ДВ, распространяющийся по прямолинейному участку за поворотом, начинает приобретать некоторый наклон;
- по внешней стороне канала за его поворотом ДВ распространяется с большей скоростью, чем по внутренней;
- в начале участка за поворотом канала фронт расходящейся ДВ, имеющий первоначально изгиб, начинает выравниваться и становится линейным. Детонационная волна вблизи поворота распространяется под углом $\sim 45^\circ$ к нормали и по мере движения по каналу стремится к 90° .

Видимых (очевидных) областей с «темными зонами» в каналах с углами поворота 90° и 120° не обнаружено. В области поворота канала с углом 60° происходит образование «темной зоны» размерами не более $0,5 \times (0,3 - 0,4)$ мм.

Данные о процессе распространения детонационной волны в каналах с поворотами малого сечения, снаряженных пластичным ВВ на основе тэна, получены впервые и представляют несомненный интерес как для специалистов по прямому численному моделированию, так и для разработчиков устройств взрывной логики и других прецизионных взрывных устройств.

Список литературы

1. Модель ударно-волновой чувствительности ВВ с учетом предварительного ударного нагружения и разгрузки. Современное состояние. В.Г.Морозов, И.И.Карпенко, Л.В.Дмитриева и др. IX Харитоновские чтения. 2007 РФЯЦ-ВНИИЭФ Саров
2. Новиков С.А., Шутов В.И. «О распространении детонации в полосе, имеющей углы поворота». «Физика горения и взрыва» 1980 т.3 с.153-154
3. Практический способ контроля детонационного сечения повышенной точности Л.А.Андреевских, Л.В.Фомичева, И.П.Хабаров XII Симпозиум по горению и взрыву. 2000 Институт проблем физической физики РАН Черноголовка
4. Электронно-оптическая восьмиканальная камера НАНОГЕЙТ-22. Руководство по эксплуатации. Москва 2012

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ И СТРУКТУРЫ ГЕКСОГЕНА НА ЕГО РЕАКЦИОННУЮ СПОСОБНОСТЬ

П.С. Белухина, В.А. Бурнашов, С.А. Вахмистров, С.Э. Гребенникова, Н.А. Мирошниченко, Ю.В. Шейков

РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров, Россия

Введение

Известно, что реакционная способность взрывчатых веществ (ВВ) связана с процессом формирования «горячих точек», на который оказывают влияние размерные эффекты. Различают два типа размерных эффектов: внутренний и внешний. Внутренний размерный эффект связан с электронными и структурными свойствами частиц, определяющими их химическую активность,