

МОДИФИЦИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ МАКРОКИНЕТИКИ ДЕТОНАЦИИ ВВ НА ОСНОВЕ ТАТБ

УДК 534.222.2

Ю. А. Аминов, А. В. Вершинин, Н. С. Еськов,
О. В. Костицын, Г. Н. Рыкованов, В. А. Сибилев,
М. А. Стриженок

ВНИИ технической физики, 456770 Снежинск

Рассматривается одностадийная модель макрокинетики детонации низкочувствительного гетерогенного взрывчатого вещества. В рамках модели удалось единообразно описать широкий класс экспериментов по возбуждению детонации пластифицированного взрывчатого вещества на основе ТАТБ, включая инициирование детонации при ударе металлической пластиной и компактными металлическими осколками.

При моделировании нестационарных детонационных процессов в низкочувствительных составах на основе ТАТБ обычно используются модели «Forest Fire» [1] и «Ignition and Growth» [2]. Многие из имеющихся экспериментальных данных по возбуждению детонационного процесса плоской, цилиндрически и сферически расходящейся ударной волной в пластифицированном составе на основе ТАТБ (ПСТ) удалось описать в рамках модели [3], базирующейся на гипотезе горячих точек. Модифицированная модель макрокинетики детонации, представленная в данной работе, позволяет единообразно описать более широкий по сравнению с [3] класс экспериментов при однократном ударно-волновом нагружении ПСТ, в том числе развитие детонации при ударе пластиной и высокоскоростными компактными стальными осколками.

Подобно [3], выражение для скорости разложения ПСТ в зависимости от давления на фронте ударной волны имеет следующий вид:

$$\frac{d\xi}{dt} = -\xi^{2/3} \rho_{\text{ВВ}}^{1/3} \exp\left(-\frac{0,15}{E_{\text{T}}}\right) f(x),$$

где ξ , $\rho_{\text{ВВ}}$ — массовая концентрация и плотность взрывчатого вещества (ВВ); E_{T} — удельная тепловая энергия; $x = p/p_{\text{J}}$, p_{J} — давление в точке Жуге. Функция $f(x)$, определяющая скорость распространения волны горения внутрь сферической гранулы ВВ, в модифицированной модели имеет вид «размытой» ступеньки:

$$f(x) = ax + b \left[1 - \frac{1}{1 + \exp(c(x - d))} \right].$$

При условии $a \ll b$ такая зависимость обеспечивает переход к кинетике типа аррениусовской при больших давлениях, когда процессы, связанные с горячими точками, выходят на насыщение и все большую роль в развитии детонации играет объемный разогрев. Значения параметров модели ($a = 0,27$ см/(г^{1/3} · мкс), $b = 55$ см/(г^{1/3} · мкс), $c = 22$, $d = 0,82$) определены по результатам описанных в [3] плосковолновых опытов по возбуждению детонации ПСТ при различных условиях инициирования и опытов «gap-test» с расходящейся

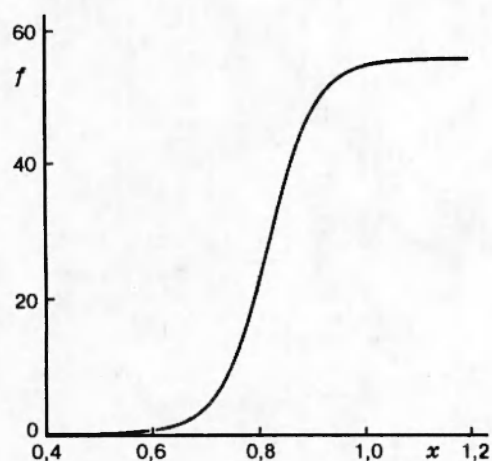


Рис. 1

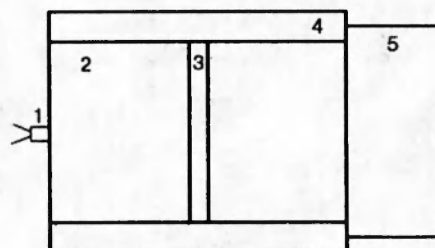


Рис. 2

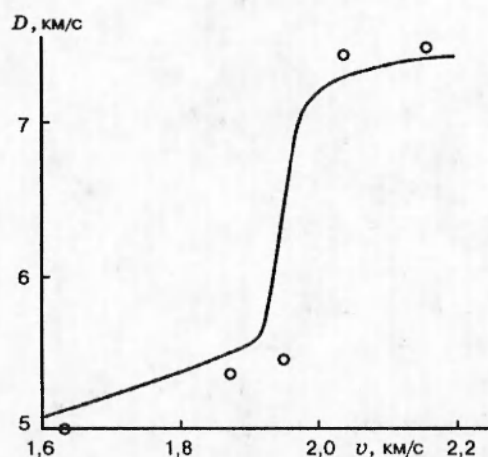
Рис. 1. Зависимость $f(x)$

Рис. 2. Схема экспериментальной установки по исследованию детонации при ударе пластиной:

1 — капсуль-детонатор, 2 — заряд ВВ, 3 — стальная пластина, 4 — корпус из стали, 5 — блок ПСТ

волной. График функции $f(x)$ изображен на рис. 1. Наибольшее изменение $f(x)$ происходит в интервале $0,5 < x < 1$, а при $x > 1$ ($p > p_J$) значение $f(x)$ практически не меняется. Расчетное значение ширины химической зоны стационарной детонационной волны в ПСТ (0,24 мм) не противоречит эксперименту [4].

Экспериментальная установка по исследованию детонации при ударе пластиной, показанная на рис. 2, состоит из активного заряда ВВ диаметром 60 и шириной 50 мм, к которому примыкает пластина из стали толщиной 5 мм. Иницирование производится в центре свободного торца активного ВВ. Изменение скорости ударника достигается использованием различных составов ВВ. На расстоянии 50 мм от пластины находится блок ПСТ. С помощью датчиков, расположенных в ПСТ вдоль оси симметрии системы на рас-

Рис. 3. Зависимость $D(v)$ (сплошная линия — расчет, точки — эксперимент)

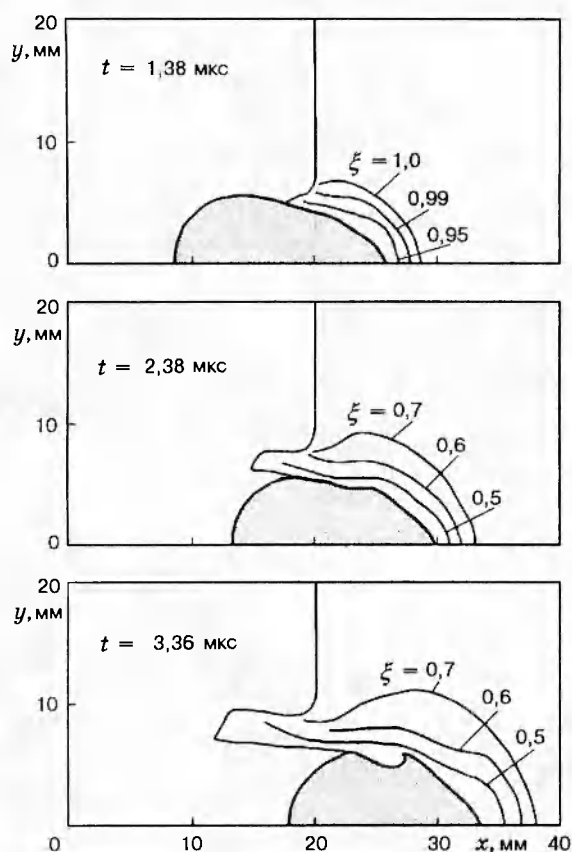


Рис. 4

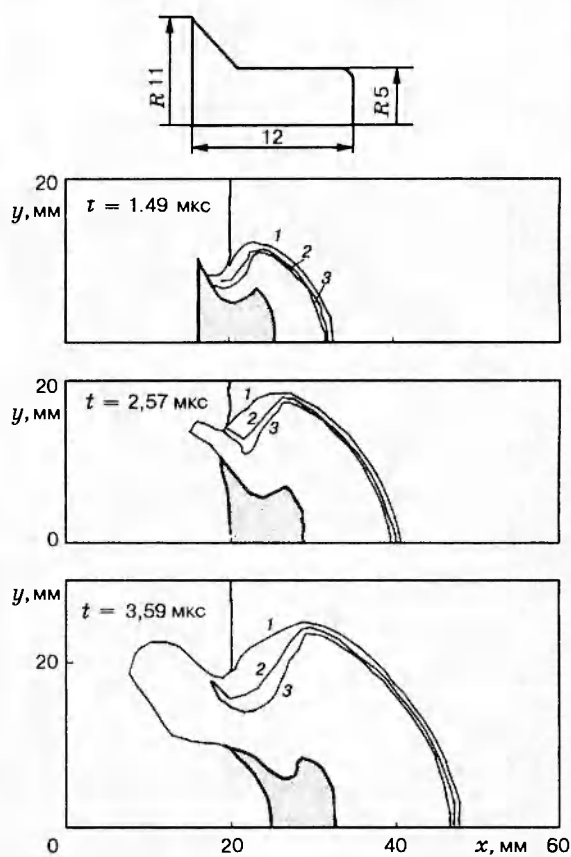


Рис. 5

Рис. 4. Профили концентрации ВВ при $M = 8$ г, $v = 4,6$ км/с

Рис. 5. Профили концентрации ВВ при $M = 12$ г, $v = 4,8$ км/с ($\xi = 1$ (1), 0,95 (2), 0,1 (3))

стоянии 5 и 15 мм от поверхности соударения, регистрируется средняя скорость ударной или детонационной волны D на базе 10 мм.

Прогиб пластины при полете к ПСТ определялся в контрольном эксперименте, схема которого отличается от изображенной на рис. 2 только заменой ПСТ оргстеклом толщиной 20 мм. С помощью фотохронометра определялось время выхода ударной волны в оргстекло на глубину 1 мм в зависимости от расстояния до оси симметрии. Оказалось, что геометрию наружной поверхности стальной пластины можно аппроксимировать сферой радиусом $R \approx 100$ мм. Близкое значение получается, если оценивать кривизну поверхности в предположении сферичности детонационной волны, распространяющейся по активному ВВ, и последующего сферического разлета продуктов взрыва. В этом случае радиус кривизны внутренней поверхности стальной пластины при ударе по образцу ПСТ равен сумме длины заряда активного ВВ и базы полета: $R = 50 + 50 = 100$ мм.

Численное моделирование экспериментов выполнено в сферически-симметричной постановке по программе MAX [5] с учетом кинетики разложения ПСТ. Расчет начинался с момента удара пластины по образцу ПСТ. Начальный радиус границы сталь — ПСТ составлял 100 мм. В стальном сферическом слое толщиной 5 мм задавалась начальная

скорость v . Согласно расчету при $v < 1,9$ км/с по ПСТ распространяется ударная волна со скоростью $D < 5,5$ км/с; при $v > 2$ км/с развивается полноценная детонация. Расчетная зависимость $D(v)$, показанная на рис. 3, согласуется с экспериментальными данными. Результаты аналогичных расчетов в плоской постановке заметно отличаются от экспериментальных.

Моделировались также эксперименты по воздействию на ПСТ высокоскоростных стальных осколочных элементов. Последовательные фазы развития детонационного процесса в двумерном расчете для двух типов осесимметричных осколков представлены на рис. 4, 5 в виде профилей концентрации ВВ. В первом случае реализуется неполное выгорание ВВ в зоне, прилегающей к движущемуся осколку. Область разложения ВВ движется вместе с фрагментом, детонационный процесс не развивается. Во втором случае реализуется полномасштабная детонация ПСТ (детонационная волна отрывается от фрагмента). Видно, что в этом случае для развития процесса разложения ПСТ достаточно воздействия передней части стального фрагмента, имеющей диаметр ~ 10 мм. В обоих случаях наблюдается согласие расчета и эксперимента: в опытах зафиксировано отсутствие детонационного процесса в ПСТ для первого осколочного элемента и полномасштабная детонация для второго.

Еще один вариант с осколком второго типа выполнен с уменьшенным значением скорости ($v_2 = 3,5$ км/с). На этот раз кинетическая энергия осколочного элемента была такой же, как у осколочного элемента первого типа, однако картина развития детонации оказалась сходной со вторым из рассмотренных примеров. Такое отличие в результатах воздействия на ПСТ указывает на влияние формы осколочного элемента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Johnson J. N., Tang P. K., Forest C. A. Shock-wave initiation of heterogeneous reactive solids // J. Appl. Phys. 1985. V. 57. P. 4323.
2. Lee E. L., Tarver C. M. Phenomenological model of shock initiation in heterogeneous explosives // Phys. Fluids. 1980. V. 23. P. 2362.
3. Аминов Ю. А., Вершинин А. В., Еськов Н. С. и др. Исследование ударно-волновой чувствительности пластифицированного ВВ на основе ТАТБ // Физика горения и взрыва. 1995. Т. 31, № 1. С. 103.
4. Lubyatinsky S. N., Vorobey V. A. Study of detonation front structure in high explosives using a photoelectric technique // Proc. Second Int. Symp. on Intense Dynamic Loading and its Effects. Chengdu, China, 1992.
5. Anuchina N. N., Es'kov N. S., Volkov V. I. Numerical modeling of multi-dimensional flows with large deformation // Proc. Russian — U. S. Weapons Laboratories Introductory Technical Exchange in Computational and Computer Science. Livermore, USA, 1992.

Поступила в редакцию 3/1 1996 г.,
в окончательном варианте — 19/VI 1996 г.