
ВЗРЫВНЫЕ ВОЛНЫ, ГЕНЕРИРУЕМЫЕ НЕИДЕАЛЬНОЙ ДЕТОНАЦИЕЙ ВЫСОКОПЛОТНЫХ ПЕРХЛОРАТНЫХ СОСТАВОВ, ОБОГАЩЕННЫХ АЛЮМИНИЕМ

А. А. Сулимов¹

Остановимся на результатах исследований неидеальной детонации высокоплотных высокоэнергетических составов алюминий – перхлорат аммония – органическое горючее – взрывчатое вещество (ВВ) и на параметрах образующихся

¹Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, aasul@chph.ras.ru



взрывных волн [1–3]. Неидеальная детонация позволяет получать взрывные волны более сложной конфигурации, чем при использовании нормальной детонации традиционных ВВ, с возможностью регулирования давления и импульса взрывной волны. Исследования проводились с целью разработки научных основ управления неидеальной детонацией и создания новых высокоэнергетических высокоплотных смесевых составов с повышенным фугасным эффектом. Исследовались прессованные безоболочечные заряды из 4-компонентных составов на основе перхлората аммония и алюминия с добавками гексогена в качестве сенсibilизатора и органического горючего. Данные составы, обогащенные алюминием, обладают высокими плотностями, до 2 г/см^3 и энергией, почти вдвое превышающей энергию тротила. Определены эффективно действующие факторы, позволяющие управлять неидеальной детонацией таких зарядов. К ним относятся пористость (плотность) заряда, дисперсность, соотношение компонентов и содержание взрывчатого сенсibilизатора. Показано, что при содержании гексогена выше 15%, по аналогии с мощными бризантными ВВ, скорость детонации составов линейно возрастает с ростом плотности, а критический диаметр детонации уменьшается. При увеличении содержания гексогена в смеси скорость детонации возрастает, подчиняясь линейной зависимости. При замене перхлората аммония на перхлорат калия характер указанных зависимостей сохраняется. Путем изменения плотности, содержания ВВ, соотношения компонентов смеси и диаметра заряда удается регулировать скорость детонации высокоплотных зарядов в широком интервале — 4–7 км/с. Для исследованных систем характерно многостадийное химическое превращение, при этом в детонационной волне выделяется только небольшая часть энергии (в основном, за счет разложения сенсibilизатора), а остальная — за плоскостью Чепмена–Жуге в процессе расширения реагирующих продуктов.

С целью определения работоспособности (фугасного действия) взрыва были измерены профили давление–время воздушных взрывных волн, образующихся при детонации рассматриваемых систем, на различных расстояниях от заряда с помощью высокочастотных датчиков и цифровой регистрирующей аппаратуры. Обработкой полученных профилей давления определяли избыточное давление на переднем фронте волны и импульс давления. Результаты, полученные для смесевых составов, сопоставлялись с аналогичными данными, полученными в тех же условиях при детонации прессованного заряда ТНТ плотностью $1,5 \text{ г/см}^3$, при этом заряды смесевого состава и тротила имели одинаковый вес. Это позволило непосредственно сопоставить значения избыточного давления на переднем фронте и импульса волны для смесевого заряда и тротила на различных расстояниях от заряда (до 5 м), а также оценить тротиловый эквивалент взрыва по давлению и импульсу.

Эксперименты с измерением параметров воздушных взрывных волн проводились в двух постановках: в цилиндрической трубе с зарядами массой 100 г и в открытом воздушном пространстве с зарядами массой 290 г. Опыты в трубе позволяют провести измерения в области более высоких амплитуд взрывной волны, но практически исключают участие воздуха в окислении избыточного горючего

в отличие от опытов в открытом пространстве. На примере составов перхлорат аммония + алюминий + парафин + гексоген плотностью $1,8 \text{ г/см}^3$ показана высокая работоспособность исследуемых композиций как в цилиндрической трубе в диапазоне амплитуд взрывной волны 30–60 атм, так и в открытом воздушном пространстве в диапазоне амплитуд 0,3–7 атм. Давление и импульс взрывных волн, отнесенные к аналогичным величинам для заряда тротила равной массы, составили 1,3–2,4. Тротиловые эквиваленты взрыва по давлению и импульсу меняются с расстоянием немонотонно и лежат в диапазоне 1,1–2,8.

Подчеркнем, что высокие параметры взрывных волн в открытом пространстве обусловлены как высокой энергетикой исследованных систем, так и процессом дожигания избытка алюминия кислородом воздуха.

Для анализа и объяснения механизмов выделения энергии на различных стадиях взрывного процесса использовалось численное моделирование. В частности, показано, что для повышения эффективности взрыва необходима организация струйного истечения продуктов детонации, обеспечивающего значительное увеличение поверхности контакта между продуктами детонации и окисляющим воздухом. Наиболее подходящий режим детонации — «низкоскоростная детонация», создающая мелкие (порядка 1 мкм) частицы продуктов и разрушающая оболочку на крупные осколки (полосы). Проведенные расчеты показывают возможность существенного увеличения эффекта взрывов энергетических материалов, содержащих твердый окислитель и алюминий, как за счет их более высокой энергии по сравнению с обычными взрывчатыми веществами, так и за счет более оптимального распределения выделения энергии в пространстве и вовлечения кислорода воздуха в реакцию. Эксперимент и расчеты демонстрируют неравномерное распределение повышенных значений тротилового эквивалента в пространстве. Проведение взрывного процесса в заряде в режиме неидеальной детонации естественно приводит к резкому снижению эквивалента в области высоких амплитуд волны. Порог, с которого неидеальные режимы взрыва становятся более эффективными, чем детонационные взрывы идеальных ВВ, зависит от доли энергии, выделившейся в пределах самого заряда (т. е. от давления продуктов детонации перед их расширением). Для зарядов с избытком металла, при взрывах которых вклад от реакции с воздухом ожидается существенным, максимальные тротиловые эквиваленты значительно превышают единицу (до 4 по давлению и до 2 по импульсу волны) только в области амплитуд волны, не превышающих 50 атм, и только при наличии в заряде так называемого газ-провайдера. Следует подчеркнуть, что оптимизация фугасного эффекта гетерогенных смесей, детонирующих в неидеальных режимах, требует проведения большого объема расчетных исследований, поскольку экспериментальная отработка зарядов чрезвычайно трудоемкая и дорогостоящая.

Литература

1. Сулимов А. А., Сукоян М. К., Борисов А. А., Ермолаев Б. С., Королев В. П. Взрывчатый состав и заряд из него. Патент РФ на изобретение № 2215725 от 10 ноября 2003 г.

2. Сулимов А. А., Борисов А. А., Ермолаев Б. С. и др. Генерирование взрывных волн в канале детонацией высокоплотных смесевых составов, обогащенных алюминием // Хим. физика, 2009. Т. 28. № 9. С. 70–79.
3. Борисов А. А., Сулимов А. А., Сукоян М. К. и др. Взрывные волны в открытом пространстве при неидеальной детонации высокоплотных смесевых составов, обогащенных алюминием // Хим. физика, 2009. Т. 28. № 11. С. 59–68.

