

С. Г. Андреев, А. Е. Новицкий, В. С. Соловьев

ОСОБЕННОСТИ РАЗЛОЖЕНИЯ ПРЕССОВАННЫХ ЗАРЯДОВ ТЭНА ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАЧАЛЬНЫХ ИМПУЛЬСАХ

В работе приводятся результаты экспериментальных исследований особенностей разложения тэна (чистого и флегматизированного) под действием динамических начальных импульсов (НИ) ступенчатой и многоступенчатой (за фронтами волны предварительного сжатия отсутствует спад давления) форм. Под НИ понимается закон изменения давления на плоскости его приложения к образцу, который наблюдался бы в случае взаимодействия устройства нагружения с инертной средой такой же динамической сжимаемости, что и ВВ.

В отличие от широко известных методов в настоящей работе используется метод квазитонких слоев (КТС) [1]. Заряд берется в виде слоя толщиной h_0 , недостаточной для проявления волновых процессов эволюции при заданном НИ, свойственных крупноразмерным, протяженным зарядам. Повышение давления от химической реакции КТС над давлением НИ не превышает обычно 50 % от давления импульса (для ВВ менее чувствительных, чем тэн, — 10—20 %). Это позволяет получить закономерности разложения ВВ в условно стандартных условиях: практически либо при «постоянном» давлении, либо при заданном законе его изменения. Конструкция сборки с КТС оказывается также удобной для одновременного измерения не только давления p , но и проводимости в реагирующей смеси.

С целью упрощения анализа особенностей разложения ВВ при различных НИ, включающих и сложные формы, устранения неопределенностей, вносимых в этот анализ при априорно задаваемых уравнениях состояния сложных реагирующих структурно-неоднородных веществ, в качестве характеристики ответной реакции ВВ используется величина скорости отбора энергии от реагирующего квазитонкого слоя $N = pdv/dt$. Поэтому в описании эксперимента приводится не только схема опыта и его параметры, но и вывод, обоснование использования этой величины.

Эксперимент. В случае ступенчатого начального импульса для слоя ВВ, помещенного в однородную инертную среду, значение скорости изменения удельного объема реагирующей смеси dv/dt вычисляется в соответствии с предположениями метода КТС [1]. При этом нетрудно получить выражение

$$N(t) = \frac{\rho p}{2\rho_0 h_0 \beta} \left(\sqrt{1 + 4\beta p / (\rho_{0\phi} \alpha^2)} - \sqrt{1 + 4\beta p_{\phi} / (\rho_{0\phi} \alpha^2)} \right), \quad (1)$$

где ρ_0 — плотность заряда ВВ; $\rho_{0\phi}$, α , β — плотность и коэффициенты ударной адиабаты инертной среды (фторопласта) в форме $D = \alpha + \beta u$; p — текущее давление; p_{ϕ} — давление на фронте НИ. Величина $N(t)$ достигает максимума N_{\max} одновременно с появлением максимума давления p_{\max} на поверхности КТС и максимума скорости его разложения W_{\max} .

Для прогнозирования чувствительности крупномасштабных зарядов, например в форме критерия $p^2 \tau = \text{const}$, для широкого круга ВВ различного состава оказывается удобнее пользоваться информацией не о скорости разложения, а о величине N , в частности N_{\max} (предполагается, что константа критерия определяется при прочих равных условиях реакционной способностью ВВ). Так как N , определяемая при фиксированном НИ в пренебрежении скоростью изменения кинетической энергии реагирующего КТС, равна скорости изменения суммарной удельной энергии КТС (включающей химическую составляющую) и поэтому зависит от кинетических и термохимических параметров ВВ и продуктов реакции (ПР), то в случае ступенчатого НИ следует ожидать лучшей корреляции ударно-волновой чувствительности с величиной N , чем W . Корреляционный анализ косвенно подтверждает это предположение.

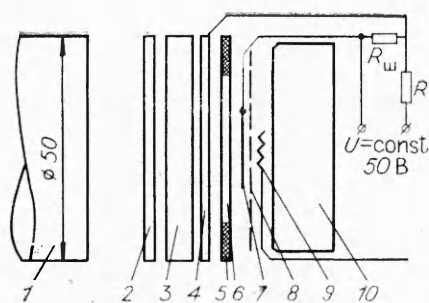


Рис. 1. Схема экспериментальной сборки. 1 — ударник; 2 — дно сборки; 3 — слой органического вещества; 4 — металлическая подложка; 5 — кольцо герметика; 6 — КТС толщиной h_0 ; 7 — электрод датчика проводимости; 8 — пленка фторопласта; 9 — манганиновый датчик давления; 10 — фторопластовый блок.

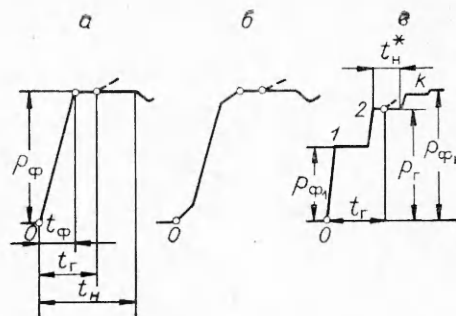


Рис. 2. Используемые формы динамических начальных импульсов.

позволяют описать связь между $p^2\tau$ и N_{\max} (при $p_{\phi} = 2,3$ ГПа) в диапазоне $N_{\max} = 0,2 \div 4,0$ ТВт/кг зависимость $p^2\tau \cdot N_{\max} = 3$ ГПа² · МДж/кг. В интервале $N_{\max} = 0,3 \div 0,7$ ТВт/кг последняя зависимость с точностью 10% совпадает с линейной регрессией $p^2\tau = 17,8 - 21,5 N_{\max} ([p^2\tau] = \text{ГПа}^2 \cdot \text{мкс})$. При этом коэффициент корреляции равен 0,898 с доверительной вероятностью 0,95.

В то же время при исследовании влияния на чувствительность индивидуальных ВВ структурных и реологических (изменяемых температурой вещества) характеристик высокая корреляция N_{\max} и \dot{W}_{\max} для ВВ постоянного состава позволяет по измеренным N_{\max} оценивать значения $\dot{W}_{\max} = N_{\max}/A$ (для чистого тэна $A = 2,8 \pm 0,3$ МДж/кг, $P = 0,95$). С учетом приведенных рассуждений в качестве характеристики ответной реакции ВВ на внешнее воздействие принята экспериментальная зависимость $N = N(t)$.

Для нагружения КТС импульсом различной формы использовалась система, состоящая из дюралюминиевого ударника, дна сборки, металлической подложки соответствующей толщины и слоя органического сплошного или пористого вещества (чаще полиэтилена или ацетона) (рис. 1). На рис. 2 показаны формы типичных начальных импульсов, используемых в работе и полученных в опытах, при которых исследуемое ВВ заменялось слоем фторопласта Ф-4 толщиной 0,4 мм. Видны полки давления с уровнями p_{ϕ} для ступенчатых и $p_{\phi k}$ ($k = 1, 2, 3 \dots$) для многоступенчатых НИ. Импульсы типа а называются ступенчатыми, несмотря на то, что время нарастания давления в переднем фронте составляет 0,2 и 0,5 мкс при $p_{\phi} = 31$ ГПа соответственно. Импульс типа б, обусловленный вязкоупругопластическими свойствами дюралюминия и наличием воздушной прослойки между ударником и дном сборки, относим уже к многоступенчатому, вернее к ступенчатому с предварительным нагружением.

Для многоступенчатого НИ типа в длительность неискаженной регистрации t_n^* полки давления $p_{\phi k}$ обусловлена волнообменом в многослойной системе. На рис. 2, а, $t_n = 2,4$ мкс — время неискаженной регистрации, обусловленное конечными размерами элементов сборки. Непременным для количественного газодинамического анализа процессов длительностью $t_{пр}$, происходящих в ВВ, является условие $t_{пр} < t_n$. Штриховые линии на рис. 2 — начальные участки регистрограмм, полученных при нагружении соответствующими импульсами. Точки t_r , p_r в работе называются точками начала газодинамического проявления реакции.

Скорость отбора энергии от реагирующего КТС, заключенного между фторопластовым блоком и толстой металлической подложкой, находится в рамках следующих предположений. Газодинамическое проявление

реакции начинается в промежутке времени существования в окрестности плоскости раздела металл — ВВ (а также ВВ — фторопласт) постоянного уровня давления импульса p_r или p_{ϕ_k} . При этом определяющими параметрами движения на плоскости раздела КТС с металлом и фторопластом являются давление p_r и массовая скорость u_r , которые принимаются за начальные и связаны соотношением $p_r = \rho_{0\phi} u_r (\alpha + \beta u_r)$. Новые, текущие состояния движения, возникающие на обеих плоскостях КТС вследствие химической реакции при $t > t_r$ (в течение времени существования постоянного уровня p_r), находятся из условия равенства давления по толщине реагирующего слоя. Используя связь давления и массовой скорости, которая существует время $\sim t_n$ в окрестности границы фторопласт — ВВ в волне, обращенной в глубь фторопласта ($p = \rho_{0\phi} u_+ (\alpha + \beta u_+)$ [2]), и в окрестности границы металл — ВВ в волне, обращенной в глубь металла ($p = p_r - \rho_{0m} c_{0m} (u_- - u_r)$ — в рамках акустического приближения), получаем выражение для скорости отбора энергии от реагирующего КТС

$$N = p dv/dt;$$

где $dv/dt = (u_+ - u_-)/(\rho_0 h_0)$, и окончательно

$$N = \frac{p\alpha}{\rho_0 h_0 2\beta} \left(\sqrt{1 + \frac{4\beta p}{\rho_{0\phi} \alpha^2}} - \sqrt{1 + \frac{4\beta p_r}{\rho_{0\phi} \alpha^2} + \frac{p - p_r}{\rho_{0\phi} c_{0m}}} \right). \quad (2)$$

Здесь ρ_{0m} , c_{0m} — плотность и скорость звука металлической подложки.

Этой формулой можно пользоваться для оценки N и на протяжении следующего промежутка t_n для нового уровня давления p_{ϕ_k} , подставив вместо p_r соответствующее значение p_{ϕ_k} при условии пренебрежимо малого разложения ВВ на предыдущем уровне постоянного давления импульса.

Из сопоставления (1) и (2) можно заключить, что при одинаковом p скорость отбора энергии от КТС, помещенного между алюминием и фторопластом, меньше, чем в случае КТС, расположенным между фторопластовыми дисками. Однако при $p = 2 \div 3$ ГПа эта разница не превышает 10—15 %.

С целью расширения информации о процессах, протекающих в ВВ при ударно-волновом сжатии, дополнительно использована методика измерения проводимости реагирующего слоя между подложкой и верхним медным электродом диаметром 18 мм из фольги толщиной 0,04 мм (см. рис. 1). Определялось отношение проводимости к толщине реагирующего слоя (длине «реагирующего проводника») $\sigma_s = \sigma/h$ (при регистрации h изменялось в диапазоне 0,4—1,0 мм).

Поскольку установление особенностей, анализ механизма проводимости и описание связи ее величины с кинетическими и термодинамическими параметрами разложения ВВ представляет самостоятельную задачу, в настоящей работе в основном использовались задержки появления проводимости t_s (время электрического проявления реакции) между электродами, отсчитываемые относительно начала регистрации переднего фронта НИ (рис. 3, 4).

Если проводимость регистрировалась в опытах, когда КТС помещался на толстой дюралюминиевой подложке, величина N рассчитывалась по формуле (2). Если же КТС располагали на фторопластовом слое толщиной 6 мм с нанесенной на него медной фольгой толщиной 0,04 мм, то N вычислялась по формуле (1), так как наличие релаксационных процессов, вызываемых ею, не фиксируется используемой методикой измерения давления.

В опытах с тэном со ступенчатыми импульсами весь период регистрации расчетная температура продуктов реакции монотонно падает [1], оставаясь в диапазоне 3000—2500 К (плотность ПР сначала растет, а затем уменьшается), электропроводность продуктов σ монотонно уве-

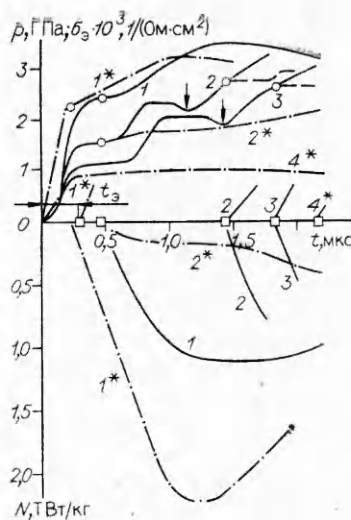
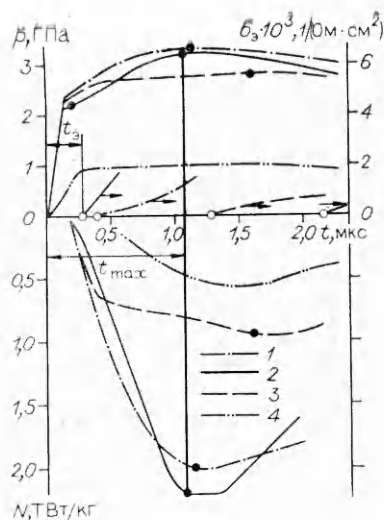


Рис. 3. Результаты экспериментов со ступенчатыми начальными импульсами для тэна.

Рис. 4. Результаты экспериментов с многоступенчатыми начальными импульсами для тэна; $\rho_0 = 1,52 \text{ г/см}^3$.

$\rho_0, \text{ г/см}^3$: 1 — 1,72, 2, 4 — 1,52, 3 — 1,54 (тэн флегматизированный); $p, \text{ ГПа}$: 1 — 2,4, 2 — 2,2, 3 — 2,35, 4 — 0,95; \circ — момент времени t_0 ; \blacksquare — время достижения максимумов удельной скорости отбора энергии (t_{\max}) от КТС и давления p_{\max} в КТС.

личивается, достигая максимума в окрестности времени завершения реакции. В конце реакции при $h \approx 0,1 \text{ см}$ и $p = 2 \div 3 \text{ ГПа}$ $\sigma = 10^{-3} \div 10^{-4} \text{ 1/(Ом} \cdot \text{см)}$. После завершения реакции величина σ начинает снижаться вместе с температурой и плотностью.

Зависимость электропроводности от времени до момента достижения максимума скорости разложения с точностью до практически постоянно для данного НИ множителя повторяет нарастание во времени глубины разложения ВВ. Поэтому предполагаем (при рассуждениях на качественном уровне), что момент t_0 соответствует образованию ряда параллельных цепочек соединенных микроканалов, заполненных токопроводящими продуктами и электрически соединяющих обкладки КТС. Последующее изменение во времени проводимости «реагирующего проводника», которым является КТС, связано главным образом с увеличением поперечного сечения каналов, заполненных токопроводящими ПР.

Использование в опытах тонкодисперсного тэна вызвано необходимостью проанализировать его разложение до значительных глубин, близких к глубине максимальной скорости разложения, за короткое время, равное длительности полук давления многоступенчатого импульса $t_n^* = 0,5 \div 0,2 \text{ мкс}$.

КТС низкоплотного тэна ($\rho_0 = 1,52 \text{ г/см}^3$) прессовались из растертого порошка, просеянного через сито с ячейкой 100 мкм. При этом значительная часть его имеет дисперсность (неконтролируемую) значительно меньше 100 мкм. Для улучшения прессуемости слоев к растертому тэну добавлялся в количестве 50 % по массе порошок кристаллитов, прошедших через сито с ячейкой 200 мкм. Слои высокоплотного тэна ($\rho_0 = 1,72 \text{ г/см}^3$) прессовались из полидисперсных порошков кристаллитов в состоянии поставки, прошедших через сито с ячейкой 100 мкм. Кристаллиты порошка этой же партии, покрытые вододисперсионным способом парафином, использовались для изготовления КТС флегматизированного тэна ($\rho_0 = 1,54 \text{ г/см}^3$ при 10%-ной добавке парафина).

Исследуемые слои (см. рис. 1) накладывались на полированную плоскость металлической подложки, прижимались под давлением 10 МПа и затем вместе с верхним медным электродом из фольги герметизировались пленкой фторопласта толщиной 20 мкм и периферийным кольцом из

липкого нетекучего герметика. Фторопластовый блок с вмонтированным в него заподлицо манганиновым датчиком устанавливался на вазелине с прижатием под давлением 10 МПа.

Результаты и обсуждение. На рис. 3 представлена часть результатов исследований со ступенчатым НИ амплитудой 1—2,5 ГПа, иллюстрирующих обсуждаемые особенности разложения ВВ.

При выполнении условия $t_r < t_n$, $t_a < t_n$ между моментами газодинамического и электрического проявления реакции в ВВ выполняется соотношение $t_a \geq t_r$, $t_a \leq t_{max}$.

С повышением p_ϕ и уменьшением плотности чистого тэна $t_a \rightarrow t_r$. При $p_\phi > 2,5$ ГПа, $\rho_0 = 1,52$ г/м³, различия t_a и t_r не разрешаются в рамках используемой экспериментальной методики $t_a \approx t_r$. С повышением плотности ВВ и особенно при наличии флегматизатора $t_a \rightarrow t_{max}$. При $p_\phi < 2$ ГПа во флегматизированном тэне, а также других флегматизированных более чувствительных ВВ, не являющихся нитроэффирами, $t_a \approx t_{max}$.

Если НИ с $p_\phi \approx 1$ ГПа, газодинамическое проявление реакции почти не регистрируется, а задержка t_a достигает 2,4 мкс. Наличие реакции в этом случае подтверждается в опытах, аналогичных приведенным в [3] с использованием ударных труб сохранного нагружения, которые показали, что пороговое давление возбуждения очагового разложения тэна, флегматизированного 5 % парафина, равно ориентировочно 0,5 ГПа (при использовании НИ длительностью 100 мкс).

Предлагается следующее объяснение совокупности наблюдаемых результатов. Прессованные ВВ содержат связанные и несвязанные поры [4]. Первые будем считать гидродинамическими эквивалентными цилиндрическим каналам, а вторые — сферическими. Известно, что в высокоплотном тэне и флегматизированном преобладают несвязанные поры, а в низкоплотном наоборот. Несвязанные поры более реакционноспособны [5, 6] в том смысле, что при одинаковом p_ϕ воспламеняют ВВ, имея меньший радиус, чем в случае цилиндрических пор. Реакционная способность пор определяется не только их формой и размерами: она увеличивается с ростом общей пористости, т. е. снижением плотности ВВ [7].

В случае высоких давлений и низкоплотного тэна ВВ воспламеняется на большей части несвязанных пор и, возможно, на связанных порах. Продукты горения из несвязанных пор, расположенных вблизи каналов связанных пор (соединяющих подложку и верхний электрод), быстро получают возможность, проникнув в связанное поровое пространство, шунтировать промежуток между электродами, наложенными на КТС. При этих параметрах КТС и НИ момент электрического проявления реакции незначительно отличается от начала ее газодинамического проявления.

Поровое пространство под действием НИ сильно сжато, но не выбрано практически полностью, как этого можно было бы ожидать, исходя из расчетной оценки равновесного состояния сжатого пористого вещества [7]. Газы, содержащиеся в порах до нагружения и образующиеся при пиролизе ВВ на начальной стадии сжатия пор с размерами, недостаточными для воспламенения, препятствуют сжатию ВВ до практически монолитного состояния. Продукты реакции ВВ у пор, которые могут воспламениться внутри фронта УВ [7, 8], вероятно, способны также быстро перетекать через перегорающие перемычки в соседние (невоспламенившиеся) связанные поры. Это также способствует существованию за фронтом УВ немонолитного состояния ВВ, имеющего конечную, хотя и значительно меньшую (чем исходная) газопроницаемость. Из-за сильного сжатия порового пространства продукты реакции, фильтрующиеся из очагов горения, неспособны воспламенить значительную часть всей исходной межзеренной поверхности до момента достижения максимума скорости разложения, обусловленного соприкосновением фронтов горения [1, 9—12], возникшего на первоначальных компактных очагах разложения (сферических или цилиндрических).

С увеличением начальной плотности тэна падение газопроницаемости сжатого пористого пространства снижает скорость фильтрации продуктов горения по каналам, а уменьшение концентрации сферических очагов воспламенения удлиняет путь струй ПР до момента соприкосновения друг с другом и образования электрического контакта между обкладками КТС. Это приводит к запаздыванию момента электрического проявления реакции t_3 по отношению к t_r и приближению t_3 к t_{max} .

В случае флегматизированного тэна межкристаллитное пространство в основном заполнено парафином, что предельно затрудняет выброс продуктов из очагов горения, возникших в горячих точках, и воспламенение ВВ по свободным поверхностям зерен [13]. Здесь очаги горения, вероятно, наиболее компактны и шароподобны. Очевидно, что высокотемпературный «газовый» проводник между обкладками КТС образуется как бы в результате касания сферических поверхностей горения, т. е. при смене топологий горения и достижении максимальной скорости разложения.

При $p_\phi \approx 1$ ГПа концентрация воспламеняющихся пор, имевших до сжатия достаточно большой размер, настолько мала, что очаговое горение практически не проявляется газодинамическим образом, а газоприход мал для выброса продуктов в межзеренное пространство и фильтрации по нему со скоростью, достаточной для быстрого образования газового проводника длиной, равной толщине КТС. Полагая, что компактные очаги горения в виде сфер (в момент их появления) равномерно рассредоточены на расстоянии $a \approx 100$ мкм друг от друга, получим оценку максимальной скорости разложения [1] $0,01 \text{ мкс}^{-1}$ при $p_\phi \approx 1$ ГПа. Это значение соответствует регистрограммам давления на поверхности КТС, при которых превышение p_{max} над p_ϕ становится соизмеримым с точностью измерения давления. Принимая полученную оценку $a \approx 100$ мкм и зарегистрированные значения t_r и t_3 , получим скорость движения струй продуктов горения по межзеренному пространству $a/[2(t_3 - t_\phi)] \approx 50 \text{ м/с}$. Это значение на порядок превышает скорость ламинарного горения тэна при $p = 1$ ГПа.

Полученные величины дают основания считать, что в зарядах с начальной пористостью факторами, определяющими изменения поверхности горения во времени, а следовательно и скорости разложения, являются не только концентрация воспламеняющихся горячих точек, порядок их рассредоточения в пространстве [1], скорость послынного горения, но и скорость «фильтрации», распространения продуктов горения по межблочному пространству ударно-сжатого ВВ. Они указывают на высокую степень неравновесности давлений газовой и конденсированных компонентов реагирующего ВВ на начальных стадиях разложения ВВ.

На рис. 4 представлены результаты экспериментов, иллюстрирующих влияние многоступенчатости набора давления в НИ на разложение низкоплотного тэна. Кривые 1—4 получены при расположении КТС на толстой (5,5 мм) дюралюминиевой подложке, 1* — для КТС, лежащего между фторопластовыми дисками с медной фольгой (ступенчатый НИ). Штриховыми линиями показаны участки соответствующих начальных импульсов, полученных при замене ВВ на слой фторопласта толщиной 0,4 мм, но сохранении скорости ударника (начальные участки сплошных и штриховых линий практически не различаются — отклонения по давлению не превышают 2—3 %).

Сравнение кривых 1 и 1* (при $p_\phi = 2,4$ и $2,2$ ГПа соответственно) указывают на более чем двукратное уменьшение скорости отбора энергии от реагирующего слоя и, следовательно, скорости разложения ВВ при замене фторопластовой подложки на алюминиевую именно из-за размытия переднего фронта НИ, а не ухудшения условий отбора энергии от реагирующего слоя вследствие большей динамической жесткости алюминия по сравнению с фторопластом.

Десенсибилизирующее действие предварительного сжатия, достаточного для воспламенения части пор, еще сильнее проявляется с увеличе-

нием размытия НИ (см. рис. 4, 2, 3). Так, при ступенчатом нагружении НИ с $p_{\phi} = 2,2$ ГПа (КТС между фторопластом с обеих сторон) за 1 мкс мощность достигает 2 ТВт/кг. При наличии предвестника амплитудой 1,6 ГПа (см. рис. 4, 2) величина N 0,5—0,6 мкс по крайней мере на 1—2 порядка меньше (на рисунке часть этой кривой $N(t)$ уже не показана) несмотря на то, что давление на второй полке НИ достигает того же уровня 2,4 ГПа.

Из сравнения кривых I^* , I , 2^* , 2 , 3 можно заключить, что в случае приблизительного равенства давления ступенчатого НИ и p_{ϕ} , при котором явно проявляется реакция, задержка этого проявления (электрического и газодинамического) позже наступает при размытом импульсе, чем при ступенчатом. По сравнению со ступенчатым импульсом (по амплитуде равным первому предвестнику в многоступенчатом НИ — кривые 2 , 2^* и 3 , 4) электрическое проявление реакции может наступить как позже (2 и 2^*), так и раньше (3 и 4^*). Это можно объяснить тем, что газовыделение реакции, возникшее в первом предвестнике многоступенчатого НИ и недостаточное для газодинамического его проявления, тем не менее достаточно для проникания газов в межблочное пространство и приведения его в токопроводящее состояние. Это косвенно свидетельствует и о подготовке к газодинамическому проявлению (горению по большей части удельной поверхности зерен ВВ).

До проведения экспериментов предполагалась тривиальная роль второй ступеньки давления НИ с интенсивностью, достаточной для воспламенения значительного числа пор: незначительное ускорение уже начавшегося разложения за счет подъема скорости горения, приблизительно отслеживающей внешнее давление, без образования дополнительных очагов реакции. Однако сравнение кривых 2 и 2^* на рис. 4 показало способность второй ступеньки сложного импульса притормаживать (по крайней мере временно) разложение, начавшееся под действием первой ступеньки. Простейшее объяснение такого явления заключается либо в уменьшении поверхности горения под действием прироста внешнего давления, либо в снижении скорости горения. По истечению некоторого времени тлеющее разложение способно интенсифицироваться.

Развиваемые при этом скорости отбора энергии от КТС, а следовательно и скорости разложения, по порядку близки к параметрам процесса при ступенчатом импульсе с давлением, равным давлению начала проявления реакции. Малое время полка t_n^* не позволяет, к сожалению, ответить на другой вопрос — окажутся ли равными максимумы скоростей отбора энергии от реагирующих КТС? Это расширило бы представление о механизме десенсибилизации.

Обращает на себя внимание следующая особенность. Электрически и газодинамически реакция проявляется непосредственно вслед за локальным спадом давления (на рис. 4 отмечено стрелками), возникающим в конце полка многоступенчатого НИ с подобранными одинаковыми давлениями 2,4—2,3 ГПа. Специальная серия экспериментов по установлению форм НИ, в которых ВВ заменялось на слой фторопластового имитатора, при различных соотношениях толщин подложек (см. рис. 1, 3, 4), их материалов и количества их попарного повторения показала, что образование локального спада давления обусловлено геометрическими параметрами сборки, используемой для получения кривых 2 , 2^* и 3 , 3^* на рис. 4.

Временное согласование локальных спадов давления и последующих за ними проявлений реакции представляется нам не случайным. Локальный спад давления помогает продуктам предыдущего разложения ВВ деформировать матричное вещество и генерировать в нем новые горячие точки, раздвигать и «рыхлить» межблочное пространство, готовя его к воспламенению имеющимися и образующимися при повышении давления продуктами горения. Локальный спад давления может также интенсифицировать транспорт реагентов, обуславливающих автокаталити-

ческую направленность реакции ВВ и ее ускорение. Возможность этого отмечалась в [14, 15].

Заметим, что связь параметров НИ и проявления реакции (времени $t_{\text{ф}}$ достижения уровня давления p_r , при котором фиксируется начало электрического проявления реакции с задержкой t_0 относительно начала сжатия ВВ передним фронтом импульса) для низкоплотного тэна аппроксимируется зависимостью $(p_r/t_{\text{ф}})t_0 = 4$ ГПа, построенной по девяти опытам. Уменьшение пористости заряда и добавка к нему парафина увеличивают задержку электрического проявления реакции по сравнению с этой зависимостью на 20—50 %.

Таким образом, в работе получена информация, полезная для расширения и обоснования модельных представлений при описании очагового разложения пористых ВВ в ударных волнах. Делается предположение о том, что скорость разложения элементарной ячейки реагирующей смеси, образованной из структурно-неоднородного ВВ, в общем случае определяется не только мгновенным значением давления и скорости его изменения, параметрами предыстории процесса, но и тем, за счет какого источника энергии происходит изменение давления — внешнего или внутреннего по отношению к элементарной ячейке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев С. Г., Зюзин В. В., Имховик Н. А. и др. // IV Всесоюз. совещание по детонации.— Телави, 1988.— С. 118.
2. Кондратьев В. И., Немчинов И. В., Христофоров Б. Д. // ПМТФ.— 1968.— № 4.— С. 61.
3. Андреев С. Г., Бойко М. М., Кобылкин И. Ф. и др. Образование очагов в тротиле и тетриле при слабом ударном воздействии // ФГВ.— 1979.— 15, № 6.— С. 143.
4. Беляев А. Ф., Боболев В. К. и др. Переход горения конденсированных систем во взрыв.— М.: Наука, 1973.
5. Хасанов Б. А., Ермолаев В. В. // Детонация и ударные волны // VII Всесоюз. симп. по горению и взрыву.— Черногоровка, 1986.
6. Хасанов Б. А., Борисов А. А., Ермолаев Г. С. // Хим. физика.— 1988.— 7, № 7.— С. 989.
7. Аттетков А. В., Соловьев В. С. О возможности разложения гетерогенных волн во фронте слабой ударной волны // ФГВ.— 1987.— 23, № 4.
8. Балинец Ю. М., Боболев В. К., Карпухин И. А. // Детонация // VI Всесоюз. симп. по горению и взрыву.— Черногоровка, 1980.
9. Eyring H., Powell R. F. et al. // Chem. Revs.— 1949.— N 45.— P. 69.
10. Соловьев В. С., Постнов В. Н. // Тр. МВТУ, № 32.— М., 1980.
11. Уткин А. В., Маляренко С. И., Капель Г. И. // Детонация // XI Всесоюз. симп. по горению и взрыву.— Черногоровка, 1989.
12. Лобанов В. Ф. Моделирование детонационных волн в гетерогенном конденсированном ВВ // ФГВ.— 1980.— 16, № 6.— С. 113.
13. Карпухин И. А., Боболев В. К. Критические условия возбуждения взрыва твердых смесевых ВВ ударом // ФГВ.— 1967.— 3, № 4.
14. Андреев С. Г., Соловьев В. С., Лазарев В. В. // Детонация и ударные волны // VII Всесоюз. симп. по горению и взрыву.— Черногоровка, 1986.
15. Андреев С. Г., Бойко М. М., Лазарев В. В. и др. Влияние реологических свойств на избирательную чувствительность ВВ к форме импульса ударно-волнового воздействия // ФГВ.— 1985.— 21, № 3.— С. 80.

г. Москва

Поступила в редакцию 10/V 1989,
после доработки — 5/XII 1990