

(очагов) воспламенения, затем он развивается лавинообразно. Таким образом, в отличие от случая одиночных пор, зажигание упорядоченных пористых структур гомогенными продуктами сгорания носит очаговый характер.

Экспериментально определены условия устойчивого воспламенения пороха Н при начальном давлении 3 МПа: $S_R \geq S_R^* = 0,025 \text{ мм}^2$, $V_R \geq V_R^* = 25 \text{ мм}^3$. Найдены характерные времена процесса воспламенения и их зависимость от площади поперечного сечения канала. Минимальные времена задержки воспламенения достигаются при $S_R = 0,06 \div 0,09 \text{ мм}^2$. Показано, что увеличение суммарного объема каналов при $V_R > V_R^*$ существенного влияния на время задержки воспламенения не оказывает.

Однозначное объяснение обнаруженной в экспериментах сильной обратной зависимости времени задержки воспламенения от размера канала в области $S_R < 0,06 \text{ мм}^2$ требует дополнительного исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Ф. Беляев, В. К. Боболев, А. И. Коротков и др. Переход горения конденсированных систем во взрыв. М.: Наука, 1973.
2. М. Кумар, С. М. Ковачич, К. К. Куо. РТК, 1981, 19, 7, 78.
3. В. А. Архипов, Е. А. Козлов, Н. А. Обухов и др.— В кн.: Тез. докл. I Всесоюз. симп. по макроскопической кинетике и химической газодинамике. Черноголовка, 1984.
4. В. Н. Вилюнов. Теория зажигания конденсированных веществ. Новосибирск: Наука, 1984.

Поступила в редакцию 24/IV 1985,
после доработки — 14/X 1985

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ГОРЕНИЯ ПХА

Ю. С. Иващенко, А. Л. Садырин, В. Л. Павленко
(Красноярск)

В последнее время наблюдается интерес к изучению электрических свойств зоны горения конденсированных систем [1, 2]. Это связано с тем, что электрические явления при горении отражают основные характеристики процесса горения, включая динамические. Известно, что горение баллиститных порохов сопровождается возникновением электропроводности поверхности горения и химической ионизацией слоев газа, прилегающих к ней [3]. В работе [4] с помощью двойного электрического зонда проходного типа установлена электропроводность к-фазы при горении перхлората аммония (ПХА).

Электропроводность поверхности горения, измеряемая с помощью проволочных электродов проходного типа (заклеиваемых в образец), представляет собой аддитивную величину электропроводности непосредственно к-фазы, газовых включений в ней и слоев газа, примыкающих к поверхности. Последняя составляющая обусловлена неодновременностью выхода электродов в газ из-за перекоса фронта горения и эффекта растекания тока, который значительно (более чем на порядок) увеличивает эффективную толщину токового слоя. Кроме того, из-за малой толщины реакционного слоя в к-фазе на точности получаемых величин сказывается кратковременность полезного сигнала от электропроводности поверхности.

В данной работе с помощью модифицированной методики исследовали электропроводность поверхности горения чистого ПХА с добавками салицилатов меди и натрия. Измерения проводили сгорающими пле-

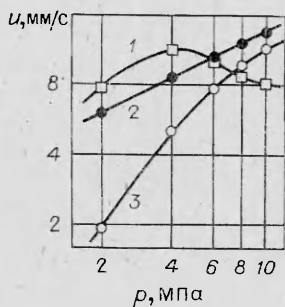


Рис. 1.

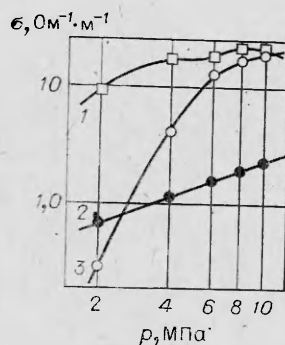


Рис. 2.

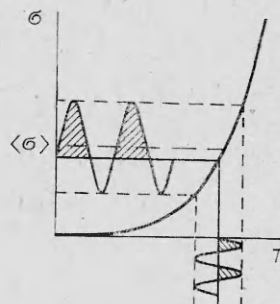


Рис. 3.

ночными электродами из олова толщиной ~ 1 мкм, которые наносили напылением в вакууме на большие грани прямоугольных образцов ПХА сечением 7×10 и длиной 30 мм. Это позволило обеспечить достаточно длительное время измерений. Для реализации торцевого горения образцы покрывали слоем парафина толщиной 0,2 мм.

Электропроводность измеряли на переменном токе частотой 4000 Гц. Для расширения динамического диапазона использовался логарифмический усилитель. Измерительный ток в цепи составлял доли миллиметра, а постоянная времени — 2 мс. Предварительно проведены опыты с проходным электрическим зондом с диаметром электродов 0,1 мм, показавшие слабую проводимость газа над поверхностью горения (фиксировался только пик электропроводности при прохождении зондом поверхности горения).

В дальнейшем опыты проводили с помощью пленочных электродов. Как показал осмотр погашенных образцов, электроды, находясь в контакте с поверхностью горения, не выступали в газовую фазу. Определялась удельная электропроводность поверхности $\sigma = d/Rbh$, где R — измеренное сопротивление; d — расстояние между электродами; b — ширина пленочных электродов; h — толщина реакционного слоя в к-фазе. Из-за неопределенности h заменяли значениями толщины прогретого слоя $\delta = \kappa/u$ ($\kappa = 1,5 \cdot 10^{-3}$ см²/с — коэффициент температуропроводности; u — скорость горения). Последняя позволяла косвенно учитывать характер влияния u на h .

Образцы чистого ПХА плотностью $\rho = 1,93 \div 1,94$ г/см³ готовили прессованием порошка марки ХЧ с размерами частиц менее 200 мкм. Исследовали также образцы ПХА с массовыми добавками 5% салицилатов меди ($\rho = 1,90 \div 1,91$ г/см³) и 5% натрия ($\rho = 1,89 \div 1,90$ г/см³) и размерами частиц менее 10 мкм.

На рис. 1 приведены опытные зависимости скорости горения u от давления образцов чистого ПХА (3) и с добавкой салицилатов меди (2) и натрия (1). Результаты измерений получены по 10 опытам при каждом давлении. Видно, что значение u для чистого ПХА растет с давлением. При этом начиная с $p = 6$ МПа рост скорости замедляется. В дальнейшем в области $15 < p < 30$ МПа, как известно, скорость горения с давлением снижается.

Введение добавки салицилата меди резко увеличивает скорость горения при низких давлениях. С ростом p значения u приближаются к скорости горения чистого ПХА.

Иначе выглядит зависимость $u(p)$ для ПХА с добавкой салицилата натрия. В области $p < 4$ МПа величина u растет, а затем при $p > 5$ МПа начинает снижаться. Ход зависимостей $u(p)$ напоминает аналогичную при горении ПХА с добавкой LiF, образующей на поверхности жидкий слой, вспениваемый пузырьками газа [5].

В таблице приведены значения u , σ для чистого ПХА, с добавкой салицилатов меди (СМ) и натрия (СН) при разных p . Там же даны величины поверхностной проводимости $\sigma_{\pi} = d/Rb$ указанных образцов.

Состав	p , МПа	u , мм/с	$\sigma_{II} \cdot 10^5$, Ом $^{-1}$	σ , Ом $^{-1} \cdot м^{-1}$
ПХА	2	1,9	2	0,3
	4	5,0	13	4,2
	6	7,7	25	12,8
	8	9,7	26	16,9
	10	11,3	26	19,3
ПХА + 5% СМ	2	6,0	1,7	0,7
	4	8,6	2,0	1,1
	6	10,6	2,2	1,6
	8	11,9	2,4	1,9
	10	13,5	2,5	2,3
ПХА + 5% СН	2	7,7	18	9,3
	4	11,2	23	17,5
	6	10,0	27	18,1
	8	8,6	38	21,8
	10	8,1	39	20,8

На рис. 2 даны зависимости $\sigma(p)$ (обозначения см. на рис. 1), характер которых повторяет ход кривых $u(p)$, за исключением случая ПХА с добавкой СН в области $p > 5$ МПа. Сходство зависимостей $\sigma(p)$ и $u(p)$ для чистого ПХА связано с тем, что в процессе термического распада происходит диссоциация на ионы NH_4^+ и ClO_4^- , концентрация которых растет со скоростью горения, определяя электропроводность поверхности.

То же самое характерно для образцов ПХА + СМ. Более низкая величина σ здесь связана со структурой поверхности горения. Как показал осмотр погашенных образцов под микроскопом, она имеет сухой, комкообразный характер. Превышение электропроводности поверхности при $p = 2$ МПа над чистым ПХА обусловлено более стабильным режимом горения при этом давлении, обеспечивающим более полное протекание реакций распада.

У образцов ПХА + СН поверхность покрыта слоем расплава сравнительно большой толщины. Наличие жидкого слоя должно приводить к увеличению удельной электропроводности поверхности за счет роста подвижности носителей заряда в слое, а его исчезновение — к уменьшению σ . Для этих образцов зависимости $\sigma(p)$ и $u(p)$ повторяют друг друга лишь в области $p < 5$ МПа. При $p > 6$ МПа величина σ возрастает с давлением, принимая значения до $20 \text{ Ом}^{-1} \cdot м^{-1}$. Это можно объяснить, предположив, что при $p > 6$ МПа имеют место пульсации температуры поверхности горения. Учитывая экспоненциальный характер зависимости электропроводности к-фазы от температуры T , можно ожидать повышения эффективной (измеряемой) электропроводности $\langle \sigma \rangle$ за счет нелинейного характера ее усреднения [6] (рис. 3).

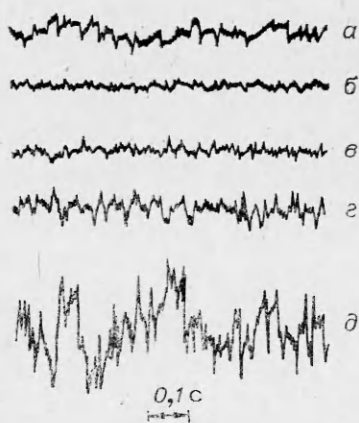


Рис. 4.

На рис. 4 приведены осциллограммы электропроводности поверхности горения образцов ПХА + СН при $p = 8$ (а) и 5 МПа (б). Видно, что переход от меньшего давления к большему, т. е. области снижения скорости горения с давлением, сопровождается увеличением пульсации электропроводности поверхности, экспоненциально связанной с ее температурой. При этом следует отметить, что осциллограммы записаны в одинаковом логарифмическом масштабе при общей нулевой линии.

Представляет интерес использование рассматриваемой методики измерения электропроводности для оценки стабильности горения по виду осциллограмм.

На рис. 4, $\epsilon-\delta$ приведены осциллограммы электропроводности поверхности горения образцов чистого ПХА при давлениях 8, 4 и 2 МПа. Видно, что при $p = 2$ МПа наблюдаются сильные низкочастотные пульсации. При переходе к высоким давлениям они сглаживаются. В случае необходимости возможна запись дисперсии пульсаций путем выделения переменной составляющей электропроводности, ее линейного усиления в широком диапазоне частот, квадратичном детектировании и усреднении сигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. И. Ксенофонтов и др. — В кн.: Физика горения и методы ее исследования. Чебоксары, 1981.
2. Б. С. Фялков и др. ФГВ, 1983, 19, 5, 29.
3. Ю. С. Иващенко, В. М. Зенченко, В. Л. Павленко и др. ФГВ, 1984, 20, 5, 55.
4. В. С. Логачев, А. С. Дмитриев, П. Ф. Похил. Докл. АН СССР, 1972, 205, 2, 400.
5. Н. Н. Бахман, С. А. Цыганов, В. Б. Захаров. ФГВ, 1970, 6, 1, 98.
6. Деметриадес, Грабоу. РТК, 1971, 9, 8, 118.

Поступила в редакцию 30/XI 1984,
после доработки — 19/IX 1985

САМОВОСПЛАМЕНЕНИЕ РАСПЫЛЕННОГО ЖИДКОГО ТОПЛИВА В УДАРНЫХ ВОЛНАХ С ПЕРЕМЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ГАЗА

А. А. Борисов, Б. Е. Гельфанд, С. М. Фролов,
А. Н. Поженов, С. А. Цыганов
(Москва)

Все исследования процесса самовоспламенения распыленного жидкого топлива за ударными волнами (УВ) выполнены в условиях, когда капли жидкости подвержены влиянию ударно-сжатого газа с постоянной температурой и давлением [1—6]. В опытах [1—6] предпринимались специальные меры для обеспечения постоянства температуры T и давления газа p в течение периода задержки самовоспламенения τ . С этой целью условия работы ударных труб выбирались такими, чтобы время существования пробки газа с неизменным давлением и температурой $\Delta t_n > \tau$, или $\Delta t_n \gg \tau$.

Характер изменения p и T за УВ в [1—6] не типичен для взрывных процессов, поскольку на практике редко существуют возмущения давления с постоянными за фронтом волны параметрами.

Один из важных случаев реализуется при проникновении в двухфазную или гомогенную среду сферической или цилиндрической взрывной волны от заряда ВВ, детонации или быстрого сгорания объема газовой смеси и т. д. Другой отмечается при ведении буровзрывных работ в шахтах, тоннелях, трубах. При подрыве вблизи торцов каналов малых зарядов ВВ или малых объемов горючей смеси в остальной части канала, не заполненной горючей смесью, формируются волны с непрерывно меняющимся давлением и температурой. Сведения о подобного рода исследованиях в литературе отсутствуют. Вопрос о возможности и способах переноса данных из [1—6] на практически важные случаи [7] не решен.

Для учета нестационарности за фронтом волны при релаксации или из-за взаимодействия с тыльной волной разрежения пока пользуются интегральным соотношением из [8]

$$\int_0^{\tau_i} \frac{dt}{\tau_i} = 1,$$