

Стадия VIII — горение коксового остатка, как правило, это самая продолжительная стадия, время течения которой в меньшей степени меняется при изменении температуры среды, чем у других стадий. Она протекает при определяющей роли массопереноса при плавном падающей температуре T и непрерывно уменьшающемся значении параметра b' .

Стадия IX — догорание коксового остатка, которое протекает также при определяющем влиянии массопереноса с более резким, чем в стадии VIII, падением температуры T во времени. Процесс горения завершается стадией X — охлаждением и стабилизацией формы зольного остатка; заканчивается она при охлаждении поверхности частицы до температуры среды; активных химических реакций не происходит.

Анализ развития процесса горения частицы угля во времени показывает, что основные, самые продолжительные стадии его развиваются в диффузионном режиме даже при низких температурах, а потому и в целом (при правильной организации процесса, обеспечивающей нормальное его развитие, особенно на стадиях IV и VI, протекающих в кинетическом режиме) процесс горения частицы натурального угля, даже очень мелкой, протекает при определяющем влиянии диффузионных составляющих.

Рассмотренные стадии выгорания частицы особенно четко выражены при температурах среды до 700°C . Повышение температуры в основном приводит к относительному сокращению протяженности стадий: I, II, III, IV (рис. 2) и, как следствие этого, уменьшению степени изменения массы частицы на этих стадиях. Так, увеличение температуры среды с 300 до 1000°C сокращает продолжительность первых шести стадий (до $T = T_{\text{max}}$) в 10—15 раз при общем снижении времени горения частицы всего в 4 раза.

Рассмотренная модель горения частицы натурального угля сохраняется при изменении начальных условий (температуры среды, начальной массы частицы и др.); особенности состава исходного угля могут существенно изменить относительную роль отдельных стадий в суммарном процессе. Предложенная физическая модель закономерностей развития процесса горения частицы натурального твердого топлива и топливных систем позволяет более детально проанализировать особенности горения твердых топлив различного состава и степени углефикации.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Бабий, И. Ф. Попова. ИФЖ, 1971, 21, 3, 411.
2. А. И. Кулинич, Г. Н. Делягин. Автоматические быстродействующие термовесы. Межотраслевой информационный листок № 0018—79. М.: ЦНИИЭУголь, 1979.

УДК 662.215.12

РАЗВИТИЕ ВОЗМУЩЕНИЙ НА ФРОНТЕ ДЕТОНАЦИИ

*В. Н. Минеев, А. А. Викторов, В. Е. Клаповский, А. П. Волков,
Т. И. Желтова, В. П. Горбунов*
(Москва)

При проведении измерений с ударными волнами, генерированными продуктами взрыва (ПВ), возникает необходимость учета неоднородности параметров заряда ВВ, например плотности и распределения компонентов. Эти неоднородности приводят к возмущениям фронта детонационной волны (ДВ) и параметров ПВ за фронтом.

В работах [1—4] приводятся данные об условиях возникновения волн Маха при взаимодействии плоских ДВ и продемонстрирована возможность расчетных методов оценки параметров ПВ за фронтом волны.

Цель настоящей работы — изучение закона развития возмущений на фронте ДВ.

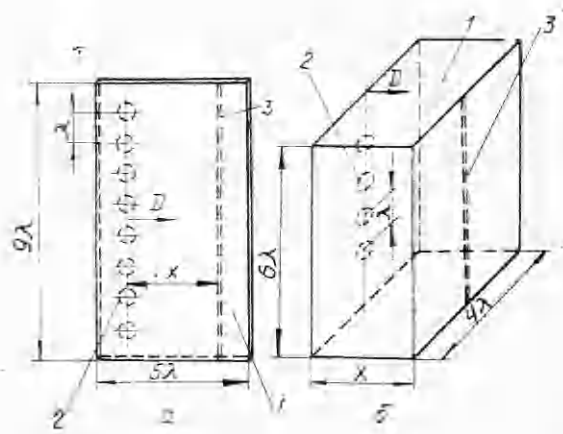
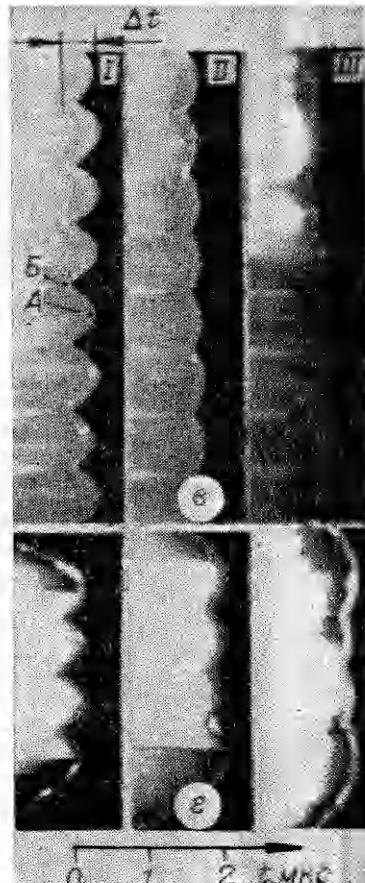


Рис. 1. Исследованные заряды и фоторегистрограммы возмущений (стрелкой показано направление разветки, $1 \text{ мкс} = 10,5 \text{ мм}$) на фронте детонационной волны.

а) листовый заряд ВВ толщиной 2 мм; б) заряд ВВ в форме параллелепипеда; в) фоторегистрограмма ДВ в листовом заряде ($\lambda = 17,5 \text{ мм}$): I — $x = 17,5 \text{ мм}$, II — $x = 35,0$, III — $x = 52,5 \text{ мм}$; г) фоторегистрограмма ДВ в заряде в форме параллелепипеда ($\lambda = 17,5 \text{ мм}$): I — $x = 12,7 \text{ мм}$, II — $x = 26,0$, III — $x = 53,7 \text{ мм}$. 1 — заряд ВВ; 2 — инициаторы диаметром 10 мм; 3 — проекция щели фотохронографа. А, Б — выпуклая и вогнутая области фронта ДВ; Δt — регистрируемый в опыте интервал времени выхода точек А, Б в сечении x .



Исследование проведено на зарядах ВВ в виде листа (рис. 1, а) и в виде параллелепипеда (рис. 1, б). Применялось ВВ, содержащее 80% тэна, остальное — связка, плотность ВВ $\rho = 1,48 \text{ г/см}^3$, скорость детонации $D = 7,7 \text{ км/с}$, критическая толщина заряда в виде листа 0,35 мм. Возмущения на фронте ДВ задавались одновременным (не более 0,3 мкс) инициированием зарядов в четырех — восьми точках вдоль линии (см. рис. 1).

В эксперименте методом высокоскоростной фотографии регистрировалась форма фронта ДВ в зависимости от пути x , пройденного ДВ, и расстояния между точками инициирования — длины волны возмущений λ . Амплитуда возмущения характеризуется линейным размером между выпуклыми (точка А) и вогнутыми (точка Б) областями фронта ДВ [4]. Переход от временной амплитуды возмущения Δt , измеряемой по регистрограммам опытов (см. рис. 1, б, г и рис. 2), к линейной Δl иллюстрируется рис. 3. При этом предполагается, что возмущения на фронте волны развиваются по принципу Гюйгенса, отрезок ΔR соответствует времени Δt (см. рис. 1, в): $\Delta R = D\Delta t$.

Результаты экспериментов приведены на рис. 4 в виде зависимости амплитуды возмущений в безразмерных единицах $\Delta l/\lambda$ к пути, пройденному ДВ, в безразмерных единицах x/λ . Каждая точка на рис. 4 — результат усреднения регистрограммы одного опыта. На рис. 4 указан доверительный интервал приведенных значений $\Delta l/\lambda$, соответствующий вероятности 0,95.

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать следующие выводы.

1. Возмущения на фронте ДВ с $\lambda = 17,5, 35,0$ и $52,5 \text{ мм}$ распространяются по мере движения волны в исследованных зарядах по принципу Гюйгенса.

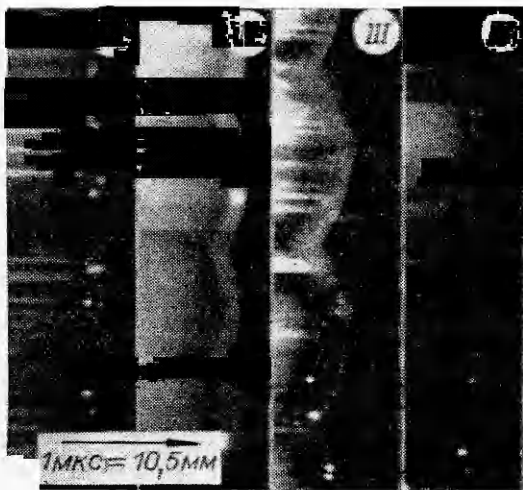


Рис. 2. Фоторегистрограмма ДВ в листовом заряде.

а) $x=70$ мм, $\lambda=35$ мм; б) $x=105$, $\lambda=35$; в) $x=105$, $\lambda=52,5$; г) $x=157,5$ мм, $\lambda=52,5$ мм.

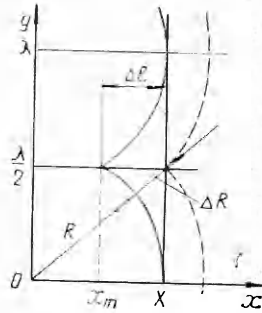


Рис. 3. Схема перехода от Δt к ΔL .

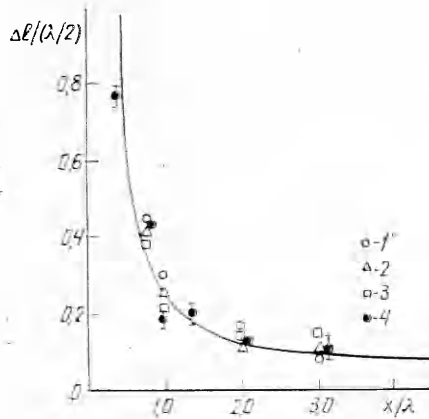


Рис. 4. Измерение амплитуды возмущения при распространении детонационной волны по заряду ВВ.

Лист: 1 — $\lambda=17,5$ мм; 2 — $\lambda=35,0$, 3 — $\lambda=52,5$ мм; параллелепипед: 4 — $\lambda=17,5$ мм; 5 — расчетная кривая по Гюйгенсу.

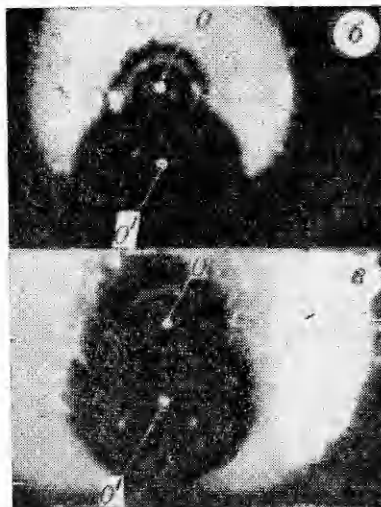
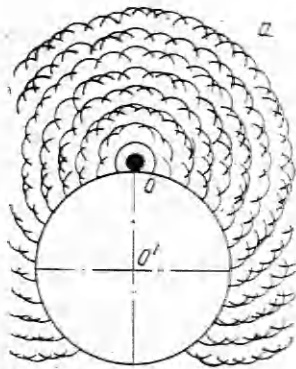


Рис. 5. Иллюстрация применимости принципа Гюйгенса при рассмотрении развития детонационного процесса.

а) графический расчет на основании принципа Гюйгенса распространения фронта ДВ; б, в) фотографии детонационного фронта через 14 и 24 мкс от момента инициирования в заряде ВВ толщиной 3 мм. Диаметр отверстия 100 мм, диаметр инициатора 10 мм.

Для проверки этого положения проведены расчет движения ДВ по Гюйгенсу и эксперимент с тонким листом ВВ с отверстием, результаты которых приведены на рис. 5. Заряд инициировался в точке O на краю отверстия. Сравнение рис. 5, *a* с рис. 5, *б*, *в* позволяет утверждать о соответствии эксперимента расчету.

2. При столкновении расходящихся ДВ в диапазоне углов встречи от 70° до 130° ($x/\lambda = 0,75 \div 3$) волны Маха не обнаружены. Их отсутствие связано, как и предполагается в [2], с разгрузкой ПВ за счет геометрии фронта детонационной волны и заряда.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Dunne. Phys. Fluids, 1961, 4, 7, 918. 1964, 7, 10, 1707.
2. Е. А. Феоктистова. Докл. АН СССР, 1961, 136, 6, 1325.
3. С. L. Mader.— In: Preprints of Papers to be Presented at Seventh Symposium (International) on Detonation. V. 1. US Naval Academy, Annapolis, Maryland, 1981.
4. К. И. Щелкин. Вестн. АН СССР, 1960, 2, 12.

УДК 539.63

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В СМЕСЯХ ПЕРХЛОРАТА ЛИТИЯ С МЕЛКОДИСПЕРСНЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПРИ УДАРНОМ СЖАТИИ

А. Н. Коваленко, Г. В. Иванов, М. А. Мельников, В. Ф. Усов

(Томск)

В настоящей работе исследовалось поведение смесей мелкодисперсных металлов Mg, Al, Fe, Cr, Ni с перхлоратом лития при ударном сжатии. Ранее аналогичная работа выполнена для смесей с нитратом свинца и перхлоратом калия [1, 2].

В опытах использовались товарный LiClO_4 марки Ч без предварительной обработки (содержание кристаллизационной воды 6—8%) и порошки металлов промышленной поставки. Размер частиц δ у LiClO_4 не более 150 мкм, у порошков металлов: $\delta < 25$ (Al, Fe, Cr, Ni) и $\delta = 50 \div 150$ (Mg).

Содержание металла в смеси g изменялось в широких пределах. Образцы заданной пористости m для ударно-волновой обработки готовили в виде цилиндрических таблеток диаметром 20 и высотой $\sim 2,5$ мм. Ударно-волновую обработку образцов проводили в плоских стальных ампулах [3]. Давление p на фронте ударной волны (УВ), входящей в образец, определяли при помощи манганинового датчика давления [4, 5] с ошибкой не более $\pm 7,5\%$.

После обжатия ампулы вскрывали, их содержимое изучали визуально и с помощью микроскопа подвергали рентгенофазовому и химическому, в ряде случаев — спектральному анализам. Степень разложения перхлората α оценивали по содержанию иона ClO_4^- потенциометрическим методом при помощи ион-селективных электродов [6] с ошибкой не более $\pm 3,3\%$.

Результаты экспериментов показали, что при ударном сжатии до 13,2 ГПа LiClO_4 (без добавок) плавится (рис. 1, *б*, *в*) и разлагается в зонах контакта образца со стенками ампулы. Данные рентгенофазового анализа указывают на изменение интенсивности полос поглощения, а химический анализ свидетельствует о присутствии следов Cl^- в продуктах.

В таблице приведены результаты оценки α (стехиометрические смеси), из которых видно, что в исследованном диапазоне давлений (до 13,2 ГПа) реакция LiClO_4 наиболее активно идет только в смесях с Mg