

ного режима горения, характеризующегося скоростью

$$u_1^0 = u^0 \exp \frac{I_0}{\rho c u_1^0} \beta.$$

Это согласуется с данными [4, 5, 8].

Расчетная область гашения очень чувствительна к значениям параметров β , γ , E , не определенных экспериментально. Поэтому согласование теории с экспериментом может быть только качественным. Приведенные выше данные свидетельствуют об еще одной возможности использования источников теплового излучения в качестве удобного инструмента для изучения явлений нестационарного горения порохов.

Поступила в редакцию
10/II 1974

ЛИТЕРАТУРА

1. A. G. Merzhanov, A. E. Averson. Comb. and Flame, 1971, 16, 89.
2. В. Н. Вилунов, О. Б. Сидонский. ФГВ, 1965, 1, 4.
3. И. Г. Ассовский, А. Г. Истратов. ПМТФ, 1971, 5.
4. В. Ф. Михеев, А. А. Ковальский, С. С. Хлевной. ФГВ, 1968, 4, 4.
5. С. С. Хлевной, В. Ф. Михеев. ФГВ, 1968, 4, 4.
6. Ю. А. Гостинцев, И. Г. Ассовский. ФГВ, 1973, 9, 4.
7. T. J. Ohlemiller, M. Summerfield. Radiative ignition of Polymeric Fuels, AMS Report, no. 876, Irinceton, 1969.
8. И. Г. Ассовский. ФГВ, 1973, 9, 6.

УДК 661.666.4

ОБРАЗОВАНИЕ САЖИ ПРИ ДЕТОНАЦИИ АЦЕТИЛЕНА

В. Г. Кнорре, М. С. Копылов, П. А. Теснер

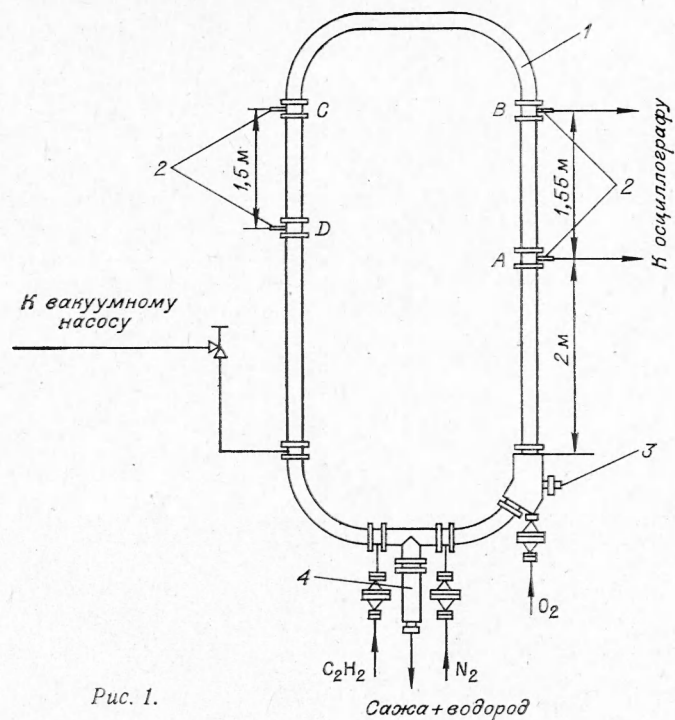
(Москва)

Ацетиленовая сажа является важным продуктом для ряда отраслей промышленности. Однако в литературе почти нет данных, связывающих условия распада ацетилена со свойствами сажи. Некоторая информация, полученная из опытов в бомбах постоянного объема, содержится в работах [1, 2]. В работе [3] изучалась зависимость дисперсности сажи от давления в условиях бомбы постоянного давления при детонации. В результате было показано, что удельная поверхность сажи резко возрастает с повышением скорости взрывного распада и при детонации достигает 170—180 м²/г. В патенте США [4] отмечается высокая дисперсность сажи, образующейся при прохождении ударной волны через ацетилен.

Целью настоящей работы являлось исследование свойств сажи, образующейся при детонации ацетилена при начальном давлении до 10 атм.

Описание установки

При отражении волны детонации возникают давления, которые могут более чем в сто раз превышать начальные давления. В описываемом в настоящей работе устройстве возможность отражения волны детонации устранена тем, что реакционному цилиндрическому каналу



придана кольцеобразная замкнутая форма. Однако в кольцеобразном реакционном пространстве должны возникнуть две детонационные волны, распространяющиеся в противоположные от места инициирования стороны. Встреча двух волн приведет к резкому повышению давления. В связи с этим рядом с местом инициирования предусмотрен ввод азота, создающего инертную разделительную подушку. Реакция распада ацетилена затухает на границе азота с ацетиленом, не переходя в детонацию. Благодаря описанному устройству удалось сравнительно простыми средствами получить возможность провести исследование при повышенных давлениях.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Для изготовления реакционного устройства были использованы трубы из нержавеющей стали диаметром 70 мм и толщиной стенки 16 мм. Реакционный канал имеет два вертикальных прямолинейных участка, плавно сопряженных двумя криволинейными. Общая длина реакционного канала около 13 м. Иницирование детонации производится с помощью накаливаемого электрическим током угольного стержня 3, а для интенсификации инициирования предусмотрен ввод кислорода в зону поджига. Реактор 1 с помощью клапана для выгрузки сажи 4 через специальную линию и циклон соединен с приемным устройством, в котором имеется мешочный фильтр. Давление и скорость детонации измерялись с помощью пьезоизмерительного устройства РМ-4. В различных местах реакционного канала монтировались датчики давления 2, которые предварительно градуировались в статических условиях.

Удельная поверхность образующейся сажи определялась хроматографически по низкотемпературной десорбции азота. Содержание летучих веществ определялось прокаливанием сажи в вакууме при температуре 500°С. В опытах использовался ацетилен из баллонов, пропускавшийся через фильтр с активированным углем, едким калием и силикагелем.

Порядок проведения опыта

Перед опытом реактор вакуумировался до остаточного давления в несколько миллиметров ртутного столба, а затем производилось заполнение реактора ацетиленом до заданного давления. После этого одновременно впускались азот и кислород, и с задержкой в несколько секунд подавалось напряжение на запал.

Образовавшиеся продукты реакции — в основном сажа и водород — выдерживались несколько минут для остывания, после чего открывался клапан для выгрузки сажи. Под действием давления саже-водородная смесь поступала в приемно-очистное устройство. Затем сажа взвешивалась и отбирались пробы для физико-химического анализа и технологических испытаний.

Результаты опытов и обсуждение

Параметры детонации. В качестве примера на рис. 2 приведена одна из осциллограмм, по которой определялись скорость и давление (развертка 0,3 м·с/см). В табл. 1 приведены средние значения измерения скорости детонации в интервале давлений 7,5—10 атм. Наибольшая скорость получена для смеси ацетилена с кислородом. Она близка к известным из литературы значениям для данного состава смеси. В случае чистого ацетилена полученные скорости детонации несильно отличаются друг от друга. Исключение представляет скорость, полученная при начальном давлении 10 атм на участке *A—B*. Здесь, однако, может сказываться близость зоны, содержащей кислород, где скорость существенно выше. Таким образом, в пределах воспроизводимости значение скорости детонации в условиях настоящих опытов не зависит от начального давления.

Результаты измерения давления в ацетилене при инициировании с кислородом приведены в табл. 2. Приведенные цифры представляют средние значения из нескольких измерений. Как видно из таблицы, относительное увеличение p_n/p_n при начальном давлении 10 атм и инициировании с кислородом нигде не превышает 26, а в сечениях *B*, *C*, *D* и *E* p_n/p_n составляет 20—22, что практически совпадает с расчетным давлением для ацетилена в плоскости Чепмена — Жуге [5]. Отметим, что инерционность применявшихся пьезодатчиков не позволяет предполагать возможность измерения давления во фронте волны детонации. Возрастание p_n/p_n с понижением начального давления (см. табл. 2) может быть объяснено изменением начальных условий за счет разложения в дефлаграционном режиме части ацетилена на начальном участке до установления детонации.

Дисперсность сажи. Результаты измерения удельной поверхности приведены в табл. 3.

Приведенные значения являются средними ряда измерений в параллельных опытах, причем в одном опыте отбиралось две-три пробы. Согласно работе [3], удельная поверхность сажи, образующейся на преддетонационном участке,

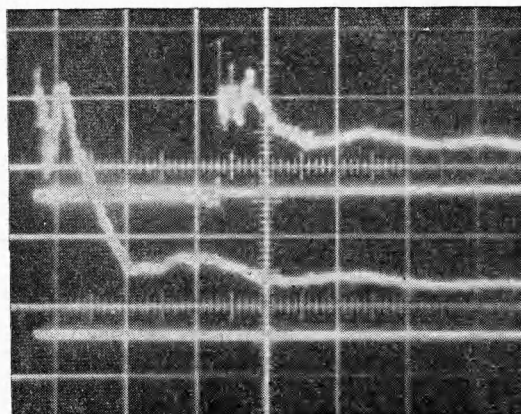


Рис. 2.

Таблица 1

Состав смеси	Начальное давление, атм	Участок измерения	Скорость детонации, м/с	Способ инициирования
100% C ₂ H ₂	7,5	A—B	1720	С кислородом
	10,0	A—B	1880	»
	10,0	C—D	1670	»
	8,0	C—D	1630	Без кислорода
90% C ₂ H ₂ +10% O ₂	7,5	A—B	2170	»

ниже, чем у сажи, образующейся при стационарной детонации. Так как перемешивание сажи при выгрузке не может обеспечить ее однородность, то параллельные пробы могут заметно отличаться друг от друга. Из сказанного следует также, что использование средних значений приводит к некоторому занижению результатов, особенно при более низких давлениях, когда преддетонационное расстояние больше. Однако только уменьшением преддетонационного расстояния нельзя

Таблица 2

Начальное давление ацетилена, атм	Отношение (p_k/p_n) давления детонации к начальному давлению ацетилена в сечениях трубы:				
	A	B	C	D	E
4	—	—	—	36	40
8	—	—	—	30	—
10	26	22	20	22	21

объяснить рост дисперсности с давлением. Это следует из того, например, что при начальных давлениях в интервале 3,5—5 атм не было обнаружено ни одной пробы с удельной поверхностью более 180 м²/г, что ниже даже средних значений при давлениях 7,5—10 атм. Установленная тенденция к росту удельной поверхности с давлением отличает результаты настоящей работы от полученных в работе [3].

Уже при самом низком исследованном начальном давлении — 3,5 атм — образующаяся сажа обладает удельной поверхностью существенно более высокой, чем стандартные ацетиленовые сажи (см., например, [6]). Сажа, полученная в диапазоне начальных давлений 7,5—10 атм, по удельной поверхности несколько превосходит сажу, полученную при детонации в работе [3], и в 2—3 раза превосходит промышленные ацетиленовые сажи. Добавки кислорода приводят к некоторому росту дисперсности сажи, а добавки водорода несколько снижают ее.

Таблица 3

Состав смеси	Начальное давление, атм	Способ инициирования	Удельная поверхность, м ² /г
100% C ₂ H ₂	3,5	С кислородом	145
	4,0	»	135
	5,0	»	150
	7,5	»	200
	8,0	»	185
	10,0	»	215
	7,5	Без кислорода	180
	10,0	»	200
90% C ₂ H ₂ +10% O ₂	5,0	»	240
80% C ₂ H ₂ +20% O ₂	5,0	»	225
90% C ₂ H ₂ +10% O ₂	7,5	»	215
90% C ₂ H ₂ +10% H ₂	10,0	»	175

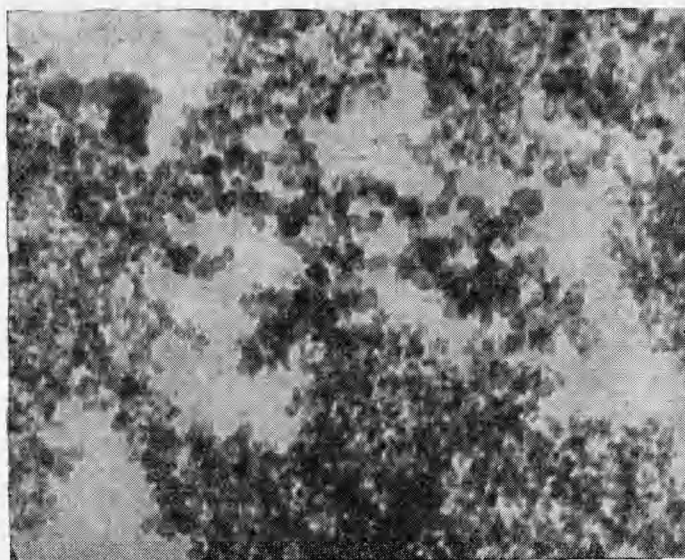


Рис. 3.

На рис. 3 представлена электронномикроскопическая фотография сажи, полученной в режиме детонации ацетилена при давлении 10 атм ($\times 77000$). Из фотографии видно, что детонационная сажа довольно однородна по размерам частиц и обладает цепочечной структурой, характерной для ацетиленовых саж.

Технологические испытания детонационной сажи в марганцево-цинковых элементах [6] показали, что ее применение вместо стандартных ацетиленовых саж обеспечивает увеличение емкости и мощности элементов. Кроме того, использование ее приводит к меньшей зависимости электрических характеристик элементов от соотношения компонентов в электроде. Указанные эффекты, по-видимому, связаны с высокой дисперсностью сажи.

Поступила в редакцию
18/III 1974

ЛИТЕРАТУРА

1. G. W. Jones, R. E. Kennedy a. o. Bureau of Mines, Report of Investigations, 4695, May, 1950.
2. В. Г. Кнорре, Т. Д. Снегирева и др. ФГВ, 1972, 8, 4, 532.
3. П. А. Теснер, Б. И. Шраер и др. Горение и взрыв. М., «Наука», 1972.
4. Патент США, № 2, 690, 960, 1954.
5. E. E. Rapp. Disc. Faraday Soc., 1956, 22, 157.
6. В. Г. Кнорре, П. А. Теснер и др. Электротехническая промышленность, сер. «Химические и физические источники тока», 1973, 5(23), 5.