

собе инициирования (задача 2) на тех же расстояниях достигается лишь 50—70% предельной скорости.

Третий способ инициирования ВВ является промежуточным с точки зрения быстроты разгона пластин. На практике второй способ может быть использован при необходимости плавного разгона пластин (например, ликвидация откола и дробления пластины, уменьшение гравитационной неустойчивости поверхности пластины при разгоне и т. п.).

*Поступила в редакцию
10/XI 1978*

ЛИТЕРАТУРА

1. К. П. Станюкович. Неустановившиеся движения сплошной среды. М., Гостехиздат, 1955.
2. A. Aziz, H. Hurwitz, H. Sternberg. Phys. Fluids, 1961, 4, 3.
3. R. W. Gurney. BRL Rep., 1943, 405.
4. А. А. Дерibas. Физика упрочнения и сварки взрывом. Новосибирск, Наука, 1972.
5. Л. Д. Ландау, К. П. Станюкович. Докл. АН СССР, 1945, 46, 9.
6. А. А. Евстигнеев, М. В. Жерноклетов, В. Н. Зубарев. ФГВ, 1976, 12, 5.
7. Ф. А. Баум, К. П. Станюкович, Б. И. Шехтер. Физика взрыва. М., Наука, 1975.

ОБРАЗОВАНИЕ САЖИ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОМ РАЗЛОЖЕНИИ АЦЕТИЛЕНА В УСЛОВИЯХ УДАРНОЙ ТРУБЫ

*В. Г. Кнорре, В. И. Каменщикова, А. Г. Ляхов,
Д. Т. Снегирева
(Москва)*

В работе [1] проведены измерения дисперсности сажи, образующейся в ударной трубе за отраженной волной из смеси 5% $C_2H_2 + 95\% Ar$ в диапазоне температур 1600—3000 К. Установлено, что в этих условиях зависимость дисперсности сажи от температуры разложения имеет максимум. Наличие максимума объяснено предварительным термическим разложением ацетилена в падающей волне с образованием более тяжелых ацетиленовых углеводородов (а при более высокой температуре и сажи); сделан вывод, что превращение части ацетилена в более тяжелые производные приводит к уменьшению суммарной скорости образования зародышей и, следовательно, эта скорость для молекул ацетилена выше, чем для более тяжелых молекул. Отсюда также следовало, что образование зародышей из ацетилена, реализуемое на восходящей ветви кривой дисперсности сажи, не может идти через полимеризацию.

В настоящей работе на той же установке проведены аналогичные опыты для неразбавленного ацетилена с целью выяснения влияния концентрации ацетилена на свойства образующейся сажи и на режим разложения. Методика проведения опытов и анализа образующейся сажи аналогичны описанным в [1]. Определялась зависимость удельной поверхности сажи от режима опыта, который характеризовался скоростью падающей ударной волны. Кроме того, рассчитывалась температура за падающей ударной волной T_2 и за отраженной ударной волной T_5 в предположении отсутствия реакции. Опытным путем установлено, что нижняя граница T_5 , при которой появляется сажа в условиях настоящих опытов, составляет 1080 К. Опыты проводились в диапазоне температур

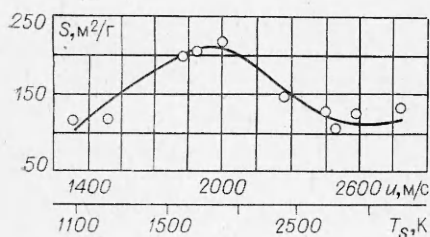


Рис. 1.

Удельная поверхность сажи S_{yd} определялась хроматографическим методом по тепловой десорбции азота. Как показали измерения, S_{yd} (m^2/g) сажи, отобранной на разных участках, практически не зависит от места отбора; максимальное расхождение не превышает 13%:

Торец	Участок 1	Участок 2
214	233	207
188	194	215

Кроме отбора сажи в ряде опытов проводились оптические измерения. С помощью двухлучевого метода [2] измерялась поглощательная способность сажевой взвеси и яркостная температура в зоне реакции на расстоянии 5 мм от торца реакционной камеры. Развертка осциллографа запускалась от датчика давления, расположенного в торце реакционной камеры. Опыты проводились при двух начальных концентрациях ацетилена за отраженной ударной волной: $35 \cdot 10^{-4}$ и $17,5 \cdot 10^{-4}$ г/см³. В ряде параллельных опытов с помощью шпирен-метода визуализировалась структура пробки за отраженной ударной волной, для чего использовались прибор ИАБ-451 и фоторегистратор с вращающимся барабаном.

На рис. 1 представлены результаты измерения S_{yd} . Изменение удельной поверхности сопоставлено с изменением расчетной температуры и скорости падающей ударной волны. Экспериментальные точки — средние из значений S_{yd} образцов, отобранных на различных участках ударной трубы при одной и той же температуре. Видно, что полученная зависимость имеет максимум, соответствующий скорости падающей ударной волны, немного менее 2000 м/с и $T_5 \sim 1950$ К. В высокотемпературной части кривая становится более пологой и при $T_5 \sim 2700$ К S_{yd} сажи перестает падать с ростом температуры. Более того, при самых высоких значениях T_5 можно отметить некоторую тенденцию к росту S_{yd} .

Опыты, в которых проводилось фотографирование пробки за отраженной ударной волной, показали, что при режимах, соответствующих скорости падающей ударной волны 1950 м/с и выше, за отраженной ударной волной возникает детонация. (В аналогичных условиях детонация наблюдалась в работе [3].) На рис. 2 приведена фотография, полученная шпирен-методом для $T_5 = 1950$ К (скорость падающей ударной волны 2000 м/с). Нижний темный край на фотографии соответствует торцу реакционной камеры. Движению фронта падающей ударной волны соответствует темная линия, идущая слева вниз; движению отраженной ударной волны — светлая линия. На фотографии видно возникновение детонации за фронтом отраженной ударной волны. Скорость отраженной ударной волны после возникновения детонации резко возрастает и принимает значение, близкое к 2000 м/с.

Измерения температуры за отраженной ударной волной дали следующие результаты:

T_5	1070	1230	1270	1450	1600	1800	2050	2200	2300
$(T_5)_{изм}$	—	1920	2020	2240	2670	2670	2360	2900	3000

Приведенные значения относятся к начальным моментам времени после возникновения свечения (примерно от 40 мкс при более низких темпе-



Рис. 2.

ратурах до 20 мкс при самых высоких), когда искажения, связанные с образующимся на стекле слоем сажи, можно считать малыми. Измеренные температуры (T_5)_{изм} сопоставлены с расчетными T_5 . Из сопоставления видно, что уже через столь малое время измеренная температура превышает расчетную на 700—1000 К.

Зависимость удельной поверхности сажи от скорости падающей ударной волны на рис. 1 аналогична полученной в [1] для разбавленного ацетилена. При этом максимум дисперсности сажи соответствует расчетной температуре ~ 1140 К за падающей ударной волной. Эта температура близка к пороговой температуре сажеобразования за отраженной ударной волной. (Заметим, что давление за падающей ударной волной ниже, чем за отраженной, поэтому начало сажеобразования в первом случае должно соответствовать несколько более высокой температуре.) Следовательно, можно считать, что область максимума удельной поверхности сажи, образующейся за отраженной ударной волной, соответствует началу сажеобразования за падающей.

Образование сажи в падающей ударной волне при более сильных режимах приводит в последующем к гибели на поверхности сажевых частиц зародышей, образующихся в условиях отраженной ударной волны (что в конечном счете и приводит к снижению дисперсности сажи). Если это предположение верно, то следует ожидать, что снижение дисперсности должно продолжаться до режимов, при которых основное превращение ацетилена в сажу происходит уже в падающей ударной волне. При этом дисперсность сажи начала бы опять расти, завися теперь только от температуры в падающей ударной волне. Полученная зависимость удельной поверхности сажи от режима опыта при самых высоких скоростях падающей ударной волны говорит в пользу такой тенденции.

Другое интересное обстоятельство связано с тем, что $S_{уд}$ сажи падает при $T_5 > 2000$ К несмотря на то, что, начиная с режимов, соответствующих области максимума дисперсности, за отраженной ударной волной возникает детонация. Следовательно, решающее влияние на дисперсность оказывает первая ступень нагрева, хотя на второй ступени разложение и протекает в режиме детонации.

Сопоставление полученных результатов с выводами работы [1] показывает, что в случае неразбавленного ацетилена максимум удельной поверхности сажи несколько сдвинут в сторону более низких расчетных температур, а удельная поверхность несколько выше. Например, у неразбавленного ацетилена максимальная удельная поверхность составляет

220, а у разбавленного — 150 м²/г. Это объясняется прежде всего высокой экзотермикой реакции разложения в первом случае.

Отмеченные факты показывают, что для неразбавленного ацетилена влияние двухступенчатого нагрева на процесс сажеобразования сказывается еще более явно, чем у смеси, содержащей 5% С₂Н₂, как показано в [1]. Одновременно с этим подтверждается вывод о том, что образование зародышей сажевых частиц идет из ацетилена быстрее, чем из более тяжелых углеводородов.

В заключение подчеркнем, что падение дисперсности сажи при $T_5 > 2000$ К происходит в отличие от случая разбавленного ацетилена [1], несмотря на сопровождающее реакцию разложения резкое повышение температуры, вплоть до 3000 К (близкая величина получена при измерении температуры за ударным фронтом детонации ацетилена в трубе диаметром 70 мм и начальном давлении 3—8 ат в [3]). Это еще раз демонстрирует то обстоятельство, что определяющими для дисперсных свойств образующейся сажи являются скорость нагрева и температурный интервал низкотемпературной фазы процесса [5], а основное тепловыделение происходит за счет гетерогенной реакции разложения ацетилена на поверхности образующихся частиц.

Поступила в редакцию
24/IV 1979

ЛИТЕРАТУРА

1. П. А. Теснер, В. Г. Кнорре и др. ФГВ, 1976, 12, 5.
2. Е. М. Кудрявцев, Н. Н. Соболев и др. Тр. ФИАН, XVIII, 1962, с. 159.
3. Р. И. Солоухин. ПМТФ, 1960, 11.
4. В. Г. Кнорре, А. Г. Ляхов. ФГВ, 1978, 14, 2.
5. В. Г. Кнорре, П. А. Теснер. Процессы горения в химической технологии и металлургии. Черноголовка, 1975.

О ВОЗМОЖНОСТИ РАЗЛОЖЕНИЯ ЛИТОГО ТНТ В УДАРНОМ СКАЧКЕ

В. С. Трофимов, Г. П. Трофимова
(Черноголовка)

Одной из важнейших характеристик процесса химического превращения взрывчатого вещества является скорость удельного (на единицу массы) тепловыделения $\dot{Q}_{p,v}$, отнесенного к условиям постоянства давления p и удельного объема v . Для извлечения из экспериментальных данных информации по кинетике этого превращения в условиях детонации целесообразно ввести другую характеристику:

$$\dot{v} = v_0^2 \Gamma \dot{Q}_{p,v} / (vc^2), \quad (1)$$

где Γ — коэффициент Грюнайзена; v_0 и v — начальный и текущий удельные объемы соответственно; c — лагранжева скорость звука, определяемая выражением

$$c^2 = -v_0^2 \left(\frac{\partial p}{\partial v} \right)_{s,k}; \quad (2)$$

s — удельная энтропия; k — переменная (возможно многокомпонентная), характеризующая химический состав.

Величина \dot{v} связывает скорости изменения p и v в адиабатическом процессе

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{v_0^2}{c^2} \frac{\partial p}{\partial t} + \dot{v}, \quad (3)$$