

1. Обнаружено развитие искусственно созданных возмущений на поверхности пламени, распространяющегося в полузамкнутой горизонтальной трубе.

2. Показано, что величина λ возмущений растет по экспоненциальному закону; мелкомасштабные возмущения на поверхности пламени подавляются крупномасштабными возмущениями; устойчивая искривленная форма фронта пламени в трубе обусловлена стабилизирующим действием ее стенок, что находится в соответствии с выводами работ [7, 8].

Поступила в редакцию 13/VIII 1981

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Д. Ландау. ЖЭТФ, 1944, 14, 6, 240.
2. Я. Б. Зельдович, А. И. Розловский. Докл. АН СССР, 1947, 57, 4, 240.
3. Х. А. Рахипова, Я. К. Трошин, К. И. Шелкин. ЖТФ, 1947, 17, 12, 1397.
4. Я. К. Трошин, К. И. Шелкин. Изв. АН СССР, ОТН, 1955, 9, 160.
5. Н. А. Карашарлы, И. Г. Керимов и др. Докл. АН АзССР, 1955, 11, 12, 819.
6. Л. А. Гуссак, Е. Н. Спринцина, К. И. Шелкин. ФГВ, 1968, 4, 3, 358.
7. Я. Б. Зельдович. Структура и устойчивость стационарного ламинарного пламени при умеренно больших числах Рейнольдса. Препринт ИХФ АН СССР. Черноголовка, 1979.
8. Я. Б. Зельдович, А. Г. Истратов и др. Гидродинамика течения и устойчивость искривленного фронта при распространении пламени в каналах. Препринт ИПМ АН СССР. М., 1980.
9. Г. Д. Саламандра, Н. М. Вентцель, И. К. Федосеева. ФГВ, 1976, 12, 2, 229.

К ВОПРОСУ ОБ УЧЕТЕ КОНДЕНСИРОВАННОГО УГЛЕРОДА ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ СРЕДНЕЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ МАССЫ ПРОДУКТОВ ДЕТОНАЦИИ АЦЕТИЛЕНА

Г. Н. Крикунов, А. Ю. Поганов

(Воронеж)

Детонацию ацетилена отличает от детонации других горючих газов наличие в зоне реакции твердой фазы в виде дисперсного углерода, причем его содержание намного превышает содержание газообразных компонентов. Наряду с конденсированным углеродом C_k в продукты детонации ацетилена входят H_2 , H , CH_4 , CH_2 , CH , CH_3 , C_2H , C_2H_2 , C_2H_4 , $C_{газ}$, C_2 , C_3 [1]. В [2] обнаружено, что применение обычных формул [3] для газовой детонации неприемлемо к газам, содержащим в продуктах детонации конденсированную фазу. В [1, 2] предложены новые методы расчета параметров детонационных волн в двухфазных системах, в которых при вычислении всех термодинамических характеристик, за исключением молекулярной массы, учитывается конденсированная фаза. В [1] приведены результаты расчетов параметров детонации ацетилена, сравнение которых с экспериментальными данными [4—6] показало, что расчетные величины превышают экспериментальные.

В настоящей работе предпринята попытка объяснить расхождение экспериментальных и расчетных данных заниженной в [1] средней молекулярной массой продуктов детонации ацетилена из-за неучета конденсированного углерода в ее определении. Между тем в [1] и в других подобных расчетах предполагается химическое, термодинамическое и механическое равновесие между конденсированной и газовой фазами в продуктах реакции.

Проведем анализ литературных данных о размерах сажевых частиц при горении углеродсодержащих смесей и при распаде ацетилена. В [7] показано, что при горении бензола размеры сажевых частиц уменьшаются соответственно с 1,4 нм при $T = 1423$ К до 1,0 нм при $T = 1773$ К. Размеры сажевых частиц при детонации ацетилена составляют 13—

p , МПа	p_0 , МПа	γ	$M_{\text{ср}}$	$1-\beta/p$	$1-p_0/p$	T , К	$\sqrt{\frac{\gamma RT}{M_{\text{ср}}}}$	D , м/с
0,1	0,003	1,1	8,93	0,1057	0,9706	2926	1731	1892
1	0,033	1,1	9,09	0,1425	0,9706	2986	1733	1951
5	0,167	1,1	9,20	0,1518	0,9697	3006	1728	1960
10	0,333	1,1	9,21	0,1518	0,9687	3008	1728	1959
20	0,667	1,1	9,40	0,1518	0,9687	3000	1708	1937
40	1,33	1,1	9,28	0,1425	0,9687	2984	1715	1930
60	2,0	1,1	9,37	0,1379	0,9677	2968	1702	1908
90	3,0	1,1	9,45	0,1287	0,9677	2946	1688	1880

15 нм [8, 9]. В [10] электронно-микроскопическим методом исследована структура детонационной сажи. Показано, что размеры сажевых частиц уменьшаются с ростом начального давления ацетилена с 21 до 13 нм при изменении давления от 0,35 до 1,35 МПа. Приведенные выше размеры сажевых частиц относятся к остывшей саже. Можно предположить, что в зоне детонационной волны частицы сажи имеют еще меньшие размеры. В [11] определено, что размер сажевого зародыша («эмбриона») при детонации ацетилена равен 1 нм. Затем за время 0,7 мс «эмбрион» вырастает в частицу величиной 15 нм. Определение концентрации сажи путем измерения рассеяния светового пучка аргонового лазера показало, что первичные «эмбрионы» сажевых частиц имеют размер 2 нм, и затем они слипаются преимущественно с образованием симметричной шарообразной частицы [12].

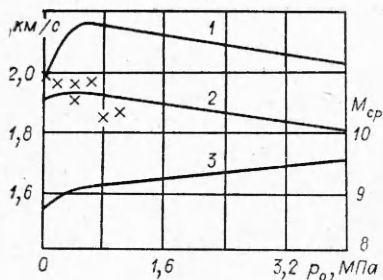
В [13] показано, что тепловое и механическое равновесие между газообразными продуктами детонации и инертными твердыми частицами возможно только для частиц размером $\leq 10^4$ нм. Применительно к расчетам параметров детонации это означает, что конденсированные частицы в зоне детонации размером $\leq 10^4$ нм можно условно считать большими молекулами и относить не к конденсированной, а к газовой фазе. Тем более этот вывод относится к сажевым частицам в зоне детонации ацетилена.

В настоящей работе выполнен расчет состава и термодинамических характеристик продуктов распада ацетилена, а также параметров его детонации с учетом изложенных выше рассуждений. Расчет проведен в промышленном диапазоне начальных давлений ацетилена 0,1–3,0 МПа и температуре в зоне распада 2800, 3000 и 3200 К. Метод расчета отличается от известных [1, 2] способом вычисления средней молекулярной массы продуктов детонации ацетилена:

$$M_{\text{ср}} = \frac{\sum_i x_i^{\Gamma} M_i^{\Gamma} + \sum_j x_j^K M_j^K}{\sum_i x_i^{\Gamma} + \sum_j x_j^K}, \quad (1)$$

где x_i^{Γ} и x_j^K — мольные доли газообразных и конденсированных продуктов детонации; M_i^{Γ} и M_j^K — молекулярные массы газообразных и конденсированных продуктов детонации. Молекулярная масса конденсированной фазы в продуктах детонации ацетилена соответствует атомарной массе углерода [1]. Следует отметить, что нахождение истинной величины средней молекулярной массы продуктов детонации ацетилена имеет важное значение, так как она учитывается в определении скорости звука в продуктах распада и в остальных параметрах детонации ацетилена. Результаты расчета по формуле (1) показаны в таблице, где скорость детонации находилась из выражения

$$D = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M_{\text{ср}}} \left[1 + \frac{(1-\beta/p)(1-p_0/p)}{\gamma} \right]}, \quad (2)$$



Зависимость средней молекулярной массы продуктов и скорости детонации ацетилена от начального давления ацетилена (экспериментальные значения взяты из [4—6]).

1 — D [1]; 2 — формула (2); 3 — M_{cp} .

где γ — показатель адиабаты продуктов распада ацетилена; R — газовая постоянная; T — температура; β — плотность конденсированной фазы; ρ — плотность двухфазной смеси; p_0 — начальное давление

ацетилена; p — давление газа в детонационной волне.

Единственное отличие (2) от формулы, приведенной в [1], заключается в том, что величина M_{cp} учитывает не только компоненты газовой фазы, но и конденсированный углерод. Расчеты остальных величин, входящих в формулу (2), здесь не приведены, так как выполнены по известной схеме [1]

На приведенном рисунке видно, что учет конденсированного углерода при вычислении средней молекулярной массы продуктов распада ацетилена приводит к совпадению расчетных и экспериментальных данных. Уменьшение скорости детонации с ростом начального давления ацетилена можно объяснить тем, что увеличивается выход конденсированной фазы продуктов распада ацетилена и соответственно средняя молекулярная масса продуктов детонации ацетилена.

Поступила в редакцию 20/X 1981

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Борисов. Докт. дис. М., 1970.
2. Л. И. Стесик. ФГВ, 1971, 7, 1.
3. А. И. Розловский. Научные основы техники взрывобезопасности при работе с горючими газами и парами. М.: Химия, 1972.
4. E. Reppu. Disc. Faraday Soc., 1956, 22, 157.
5. С. М. Когарко, А. А. Бородулин и др. Химическая промышленность, 1962, 7.
6. R. E. Duff, H. T. Knight, H. R. Wright. J. Chem. Phys., 1954, 22, 9.
7. В. Ф. Суровкин, А. В. Рогов, Л. В. Вершинин. ФГВ, 1976, 11, 2.
8. П. А. Теснер, В. Г. Кнорре и др. ФГВ, 1976, 12, 5.
9. В. Г. Кнорре, М. С. Копылов, П. А. Теснер. ФГВ, 1974, 10, 5.
10. М. С. Копылов. Канд. дис. М., 1977.
11. В. Г. Кнорре, М. С. Копылов, П. А. Теснер. ФГВ, 1977, 13, 6.
12. Э. В. Андреев и др. ФГВ, 1977, 13, 5.
13. С. А. Губин, А. А. Борисов и др. ФГВ, 1978, 14, 1.

МЕХАНИЗМ И МАКРОКИНЕТИКА ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРИДОВ ТИТАНА И ЦИРКОНИЯ В ВОЛНЕ СВС

А. А. Зенин, Г. А. Нерсисян, М. Д. Нерсисян
(Черноголовка)

В настоящее время широко изучается образование гидридов различных металлов в процессе СВС. В работах [1—4] всесторонне исследованы закономерности горения пористых образцов Ti и Zr в водороде. Исследованы закономерности скорости горения, температуры горения, фазовый состав полупродуктов и продуктов реакций, влияние плотности образца, размеров частиц. Показано, что образование гидридов происходит в две стадии: быстрой, соответствующей перемещению волны синтеза по образцу, и медленной, характеризующей протекание объемных процессов «догидрирования». В волне синтеза образуются только β -твердые растворы водорода в металле. Максимальные адиабатические темпе-