

Таким образом, предложена модель зажигания конденсированного вещества с учетом зависимости скорости химической реакции от напряжений. Показано, что термонапряжения могут существенно влиять на характеристики процесса зажигания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болдырев В. В. Механохимия и механическая активация твердых веществ // Изв. АН СССР. Сер. хим.— 1990.— № 10.— С. 2228—2245.
2. Грибанов В. Ф., Паничкин Н. Г. Связанные и динамические задачи термоупругости.— М.: Машиностроение, 1984.— 182 с.
3. Чупахин А. П., Сидельников А. А., Болдырев В. В. Влияние возникающих при твердофазных химических превращениях механических напряжений на кинетику. Общий подход // Изв. СО АН СССР. Сер. хим. науки.— 1985.— Вып. 6.— С. 31—38.
4. Браун М., Доллимор Д., Галвей А. Реакции твердых тел.— М.: Мир, 1983.— 360 с.
5. Аввакумов Е. Г. Механические методы активации химических процессов.— Новосибирск, 1986.— 305 с.
6. Крисюк Б. Э., Полианчик Е. В. Расчет чувствительности скорости реакции отрыва атома водорода к деформации молекул с различной прочностью С—Н-связей // Хим. физика.— 1990.— 9. № 1.— С. 127—134.
7. Гольдберг Е. Л., Жанаев И. Д. Зависимость времени индукции взрывного механохимического синтеза TiC от интенсивности механического воздействия // ФГВ.— 1990.— 26. № 5.— С. 138—139.
8. Вилоннов В. Н. Теория зажигания конденсированных веществ.— Новосибирск: Наука, 1984.— 490 с.
9. Зельдович Я. Б., Баренблатт Г. И., Либрович В. Б. и др. Математическая теория горения и взрыва.— М.: Наука, 1980.
10. Зельдович Я. Б. К теории зажигания // Докл. АН СССР.— 1963.— 150, № 2.— С. 283.
11. Подстригач Я. С., Коляно Ю. М. Обобщение термомеханики.— Киев: Наук. думка, 1976.— 310 с.

г. Томск

Поступила в редакцию 21/III 1991,
после доработки — 10/VI 1991

УДК 614.841.12

С. Г. Цариченко, А. В. Трунев, Ю. Н. Шебеко,
А. А. Абросимов, М. И. Шахов

ВЛИЯНИЕ МНОГОТОЧЕЧНОГО ЗАЖИГАНИЯ ВОДОРОДОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ НА РАЗВИТИЕ ВЗРЫВА В ЗАМКНУТОМ СОСУДЕ

Экспериментально изучено влияние нескольких одновременно действующих источников зажигания на динамику сгорания бедных водородовоздушных смесей с концентрацией H_2 8, 10 и 15 % (по объему) в замкнутом сосуде объемом 20 м³. Найдено, что при переходе от одного к двум источникам сгорание заметно интенсифицируется, однако при дальнейшем увеличении их числа до 5 характерное время протекания процесса изменяется слабо. При расположении источников один над другим с шагом 20 см общая картина изменения давления во времени близка к случаю одного источника.

В последнее время внимание многих исследователей привлекает изучение механизмов развития взрывов на промышленных предприятиях. В качестве одного из возможных путей интенсификации сгорания газопаровоздушных смесей, приводящей к ускорению пламени и возникновению ударных волн (УВ), рассматривают многоточечное зажигание в результате нагрева взвешенных в газовой фазе частиц конденсированной фазы (например, песчинок) тепловым излучением очага пожара [1—3]. В этом случае [1] видимая скорость пламени увеличивается приблизительно в L/l раз, где L — размер взрывоопасного облака, l — расстояние между частицами к-фазы. В то же время в литературе практически не описаны исследования, посвященные развитию взрывов газоздуш-

ных смесей в условиях многоточечного зажигания. В качестве некоторого аналога можно рассматривать изучение процесса форкамерного зажигания, при котором горение инициируется одновременно во многих точках объема, занятого смесью горячих продуктов сгорания и свежего газа, в результате чего ускоряется распространение пламени по газовой смеси с образованием УВ (см., например, [4]).

Номер экспериментальной серии	Количество источников воспламенения	Расстояние от каждого из источников до верхнего дна сосуда, см
1	1	275
2	2	138; 412
3	3	138; 275; 412
4	3	92; 275; 456
5	5	92; 183; 275; 364; 456
6	5	55; 165; 275; 385; 495
7	1	0
8	27	0; 20; 40; 60; ... 540

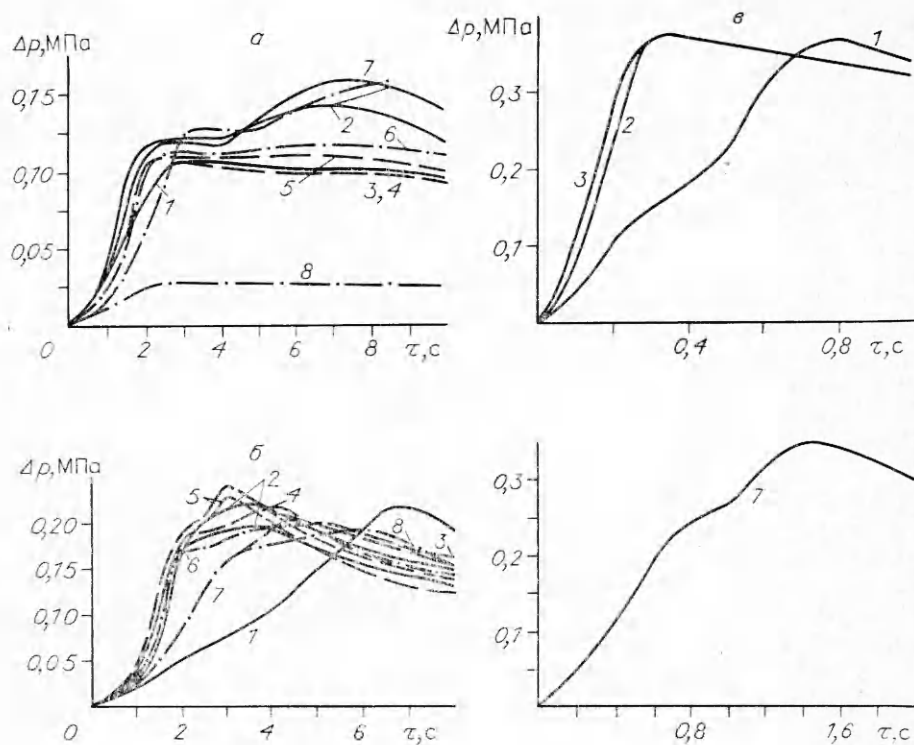
В связи с этим в настоящей работе ставится задача изучения процесса сгорания водородовоздушной смеси в замкнутом сосуде большого объема при многоточечном инициировании пламени.

Опыты проводили на экспериментальном стенде с вертикальным реакционным сосудом объемом 20 м^3 (высота 5,5, диаметр 2,2 м), рассчитанном на давление взрыва до 1,0 МПа (более подробно см. [5]). Горячую смесь готовили так: в предварительно отвакуумированный реакционный сосуд напускалось требуемое количество водорода и подавался воздух до атмосферного давления. Смесью перемешивалась путем орошения крупнодисперсной распыленной водой (характерный размер капель $\sim 1 \text{ мм}$) из форсунки, которая располагалась в верхнем днище по его оси. При этом достигается достаточно хорошее качество перемешивания (разность концентраций водорода в различных точках камеры не превышает 0,3 %) [5]. После перемешивания смеси в течение 5 мин орошение отключали, и еще через 5 мин инициировали горение пережиганием нихромовых проволочек диаметром 0,1 и длиной 15 мм, расположенных по оси сосуда (см. таблицу), одновременной подачей на них напряжения 24 В. Проволочки перегорали с разницей во времени не более 0,2 с.

Давление взрыва регистрировали датчиком давления Сапфир-22 с записью на светолучевой осциллограф. Датчик давления установлен снаружи на патрубке диаметром 10 и 50 мм, расположенном в нижней части сосуда на расстоянии $\sim 1 \text{ м}$ от днища. Постоянная времени датчика давления составляет $\sim 3 \cdot 10^{-3} \text{ с}$, что значительно ниже характерных времен нарастания давления взрыва в сосуде ($\sim 1 \text{ с}$). Наружная установка датчика вместе с его относительно высокой допустимой рабочей температурой (до 80°C) обеспечивает достоверность его показаний, как показано в [5]. После каждого опыта продукты сгорания удалялись путем вакуумирования реакционного сосуда. Всего выполнено 49 опытов, относительные погрешности измеряемых величин не превышали 10 %. Влияние электродов на начальное развитие пламени оценивали только по диаграммам давление — время, оптической или тепловой регистрации пламени не проводили.

Полученные зависимости давления взрыва Δp от времени после зажигания τ для различных концентраций водорода в горючей смеси представлены на рисунке. Видно, что при переходе от одного источника зажигания (серия экспериментов 1) к двум инициирующим горение центрам происходит заметная интенсификация процесса (рост давления по времени ускоряется). Однако при воздействии на горючую смесь трех и пяти источников процесс практически не ускоряется. Более того, в экспериментальной серии 8 (источники зажигания расположены по оси через 20 см) время достижения максимального давления взрыва существенно выше, чем в случае одного источника в центре сосуда.

Медленно развивается процесс взрыва и в экспериментальной серии 7, когда имеется один источник инициирования горения вблизи верхнего днища. В этом случае причина очевидна и состоит во влиянии естественной конвекции на видимую скорость распространения пламени.



Изменения давления взрыва во времени для концентраций водорода 8 (а), 10 (б) и 15 % (в) (цифры у кривых соответствуют номерам экспериментальных серий).

Действительно, в этом случае для газоздушных смесей с относительно низкой нормальной скоростью горения (а к их числу принадлежат изученные нами смеси), сравнимой со скоростью конвекции очага пламени, существенна разница в видимых скоростях распространения пламени снизу вверх и сверху вниз [6], чем и обусловлено различие данных экспериментальных серий 1 и 7.

Полученные опытные данные могут быть объяснены на основе представлений о том, что максимум давления взрыва во времени приблизительно совпадает с моментом достижения пламенем стенок реакционного сосуда. На основе этого можно качественно объяснить различие в данных для одно- и двухточечного зажигания, а также приблизительное постоянство длительности переднего фронта импульса давления при переходе от двух к пяти источникам зажигания (серии 2—6). Данное объяснение, безусловно, приближенно и нуждается в дальнейшей проверке с учетом сложной пространственной формы пламени при многоточечном зажигании.

Особый интерес представляют результаты экспериментальной серии 8, в которой источники зажигания располагали по оси сосуда с шагом 20 см. На первый взгляд, следовало бы ожидать близости результатов по значениям τ соответствующим величинам для серии 6, поскольку и в том, и в другом случае определяющим должно быть расстояние от источника зажигания до боковой стенки. В опытах же наблюдается более медленное развитие процесса взрыва в серии 8. Причина состоит, на наш взгляд, в воздействии на процесс сгорания газовой смеси естественной конвекции, под влиянием которой очаг пламени, образованный вблизи самого нижнего источника зажигания, ограничивается для конвективного движения вверх наличием такого же очага непосредственно над ним. Дать более детальное и точное объяснение наблюдаемого эффекта в настоящее время не представляется возможным.

Таким образом, в настоящей работе экспериментально изучено влияние многоточечного зажигания на динамику сгорания бедных водородовоздушных смесей в замкнутом сосуде. Найдено, что при переходе от одного к двум источникам зажигания сгорание заметно интенсифицируется, однако при дальнейшем увеличении их числа до пяти характерное время протекания процесса изменяется слабо. При расположении источников один над другим с шагом 20 см общая картина изменения давления во времени близка к случаю одного источника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Moore S. R., Weiberg F. J. A study of the role of radiative ignition in the propagation of large explosions // Proc. Roy. Soc. (Lond.).— 1983.— А 385, N 1789.— P. 373—387.
2. Баратов А. Н., Горев В. А., Голенев А. И. Анализ механизмов ускорения горения при аварийных взрывах // Горение гетерогенных и газовых систем: Материалы VIII Всесоюз. симп. по горению и взрыву.— Черноголовка: ОИХФ АН СССР, 1986.— С. 114—118.
3. Мольков В. В., Кривошапкин И. С., Баратов А. И. и др. Численное исследование зажигания газа частицей, нагреваемой излучением крупного пожара или взрыва // Проблемы горения и взрыва: Материалы IX Всесоюз. симп. по горению и взрыву.— Черноголовка: ОИХФ АН СССР, 1989.— С. 53—56.
4. Stock M., Geiger W. Assessment of vapour cloud explosion hazards based on recent research results // Int. Kolloquium für die Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten in der Chemischen Industrie, 1984.— Н. 89—108.
5. Шебеко Ю. П., Келлер В. Д., Еременко О. Я. и др. Закономерности образования и горения локальных водородовоздушных смесей в большом объеме // Хим. промышленность.— 1988.— № 12.— С. 24—27.
6. Бабкин В. С., Вьюн А. В. Конвективный предел распространения пламени в ограниченном объеме // ФГВ.— 1976.— 12, № 2.— С. 222—229.
7. Водяник В. И. Взрывозащита технологического оборудования.— Киев: Техника, 1979.

г. Балашиха

Поступила в редакцию 6/III 1991,
после доработки — 17/V 1991

УДК 536.46

Г. М. Махвиладзе, В. И. Мелихов

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПЛАМЕНИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ КАНАЛЕ С ХОЛОДНЫМИ БОКОВЫМИ СТЕНКАМИ В ПОЛЕ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

Методом численного интегрирования двумерных нестационарных уравнений, описывающих движение реагирующего газа, получено решение задачи о распространении ламинарного пламени в плоском закрытом горизонтальном канале с холодными стенками в поле внешней массовой силы. Показано, что закономерности горения существенно зависят от величины внешней массовой силы; в околопредельных смесях возможно послойное выгорание горючей смеси. Найдены критические значения числа Фруда, отделяющие области горения и погасания. Получено приближенное решение модельной задачи о распространении пламени вблизи холодной стенки.

В [1] решена задача о распространении пламени в закрытом плоском канале с теплоизолированными боковыми стенками. Теплоотвод через боковые стенки приводит к ряду новых эффектов, главное из которых — предел горения: при определенных критических условиях пламя теряет способность распространяться по свежей смеси. Тепловая теория предела, основанная на учете обратной связи между нормальной скоростью распространения пламени и величиной теплопотерь из зоны реакции, разработана в [2].

Известно, что величина и направление внешней массовой силы оказывает существенное влияние на механизм погасания. Этот вывод ра-