

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
КРИТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ
ДЕТОНАЦИОННОГО РЕЖИМА ГОРЕНИЯ ГАЗОВЗВЕСИ
УНИТАРНОГО ТОПЛИВА ПРИ УДАРНОМ ИНИЦИИРОВАНИИ**

УДК 532.529.518.5

А. Г. Кутушев, С. П. Родионов

Институт механики многофазных систем СО РАН, 625000 Томск

Сообщаются некоторые результаты математического моделирования процесса ударного инициирования плоских волн гетерогенной детонации в однородных монодисперсных газовзвесах унитарного топлива. Исследуется влияние начального размера частиц топлива на критическое (минимальное) значение числа Маха инициирующей ударной волны. Анализируется зависимость критического (максимального) размера частиц топлива от исходного относительного массового содержания реагирующей дисперсной фазы.

В работах [1, 2] на основе уравнений одномерного нестационарного двухскоростного двухтемпературного движения монодисперсной реагирующей газовзвеси выполнено математическое моделирование процесса ударного инициирования сферических, цилиндрических и плоских детонационных волн (ДВ) в смесях инертного газа и частиц унитарного топлива. Показано, что в зависимости от начальных значений относительного массового содержания дисперсной фазы m_0 , диаметра частиц d_0 и интенсивности инициирующей ударной волны (УВ), определяемой числом Маха M_0 , возможны режимы затухающего горения газовзвеси и гетерогенной детонации. Исходя из этого, сделано заключение, в соответствии с которым в пространстве параметров m_0 , d_0 , M_0 существует некоторая поверхность $d_0^* = d_0^*(m_0, M_0)$ или $M_0^* = M_0^*(m_0, d_0)$, которая разделяет области детонации ($d_0 \leq d_0^*$ или $M_0 \geq M_0^*$) и затухающего горения ($d_0 > d_0^*$ или $M_0 < M_0^*$). При этом значения параметров d_0^* и M_0^* , принадлежащих границе двух областей, названы критическими. Отмечено, что детальный расчет поверхностей $d_0^* = d_0^*(m_0, M_0)$ или $M_0^* = M_0^*(m_0, d_0)$ требует весьма больших затрат машинного времени, и в этой связи вычисления в [1, 2] ограничены лишь некоторыми характерными сечениями этих поверхностей плоскостями $M_0 = \text{const}$ и $d_0 = \text{const}$. В частности, в [1] приведены расчетные зависимости $d_0^* = d_0^*(m_0)$ для сферических и цилиндрических ДВ, а в [2] — пример зависимости $M_0^* = M_0^*(m_0)$ для плоских волн гетерогенной детонации.

В настоящей работе, являющейся логическим продолжением [1, 2], численно исследуется влияние начального размера частиц на критическое значение числа Маха инициирующей плоской ударной волны ($M_0^* = M_0^*(d_0)$), а также влияние относительного массового содержания реагирующей взвеси на критический диаметр частиц $d_0^* = d_0^*(m_0)$.

Схематически задача представлена на рис. 1, где в начальный момент времени $t = 0$ в областях $0 \leq x \leq x_*$ и $x_* < x < \infty$ показаны положения инициирующей УВ в газе и облака однородной монодисперсной газовзвеси унитарного топлива. Начальные и граничные условия задачи, а также некоторые результаты численного решения, связанные

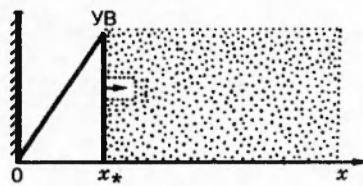


Рис. 1

с детальным описанием процесса трансформации УВ в волну гетерогенной детонации (в моменты времени $t > 0$), изложены в [1, 2]. В данной работе, следуя [1, 2], все расчеты для дисперсных смесей воздуха и частиц пороховой взвеси выполнены методом [3]. При этом расстояние x_* полагалась равным 0,5 м.

На рис. 2 продемонстрировано изменение критического числа Маха инициирующей УВ (M_0^*) в зависимости от начального диаметра частиц унитарного топлива. Видно, что с увеличением d_0 значение M_0^* монотонно возрастает. Следовательно, с увеличением d_0 также монотонно возрастает и величина критической энергии инициирования детонации ($E_0^* \sim M_0^{*2}$). Указанное заключение согласуется с данными теоретических исследований [4, 5], где показано, что критическая энергия взрывного инициирования детонации газодисперсных систем монотонно возрастает с увеличением начального размера капель жидкого горючего ($E_0^* \sim d_0$). Можно отметить, что снижение детонационной способности дисперсной смеси с ростом d_0 обусловлено уменьшением интенсивностей процессов прогрева и последующего горения взвеси реагирующих частиц. В этой связи при одной и той же длительности инициирующей волны для детонации взвеси более крупных частиц требуется большая интенсивность УВ, чем для детонации взвеси более мелких частиц.

Анализ расчетных данных, представленных на рис. 2, подтверждает ранее полученный вывод [1] о немонотонном изменении зависимостей $M_0^*(m_0)$, соответствующих $d_0 = \text{const}$. На это указывает, в частности, пересечение кривых $m_0 = 2$ и 5 в плоскости M_0^*, d_0 .

На рис. 3 изображены соответствующие рис. 2 зависимости начального критического диаметра частиц унитарного топлива от исходного относительного массового содержания дисперсной реагирующей фазы при трех фиксированных значениях числа Маха инициирующей УВ. Как следует из рис. 3, в интервале $1 \leq m_0 \leq 6$ значение d_0 слабо зависит от концентрации дисперсной реагирующей фазы. Таким образом, в результате выполненного численного исследования установлено, что в газозвеси унитарного топлива критическое

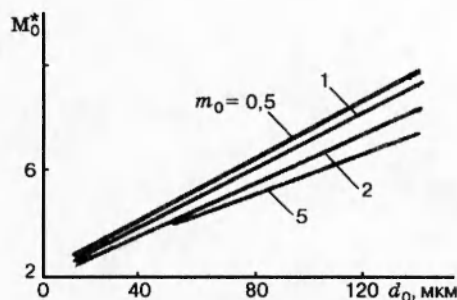


Рис. 2

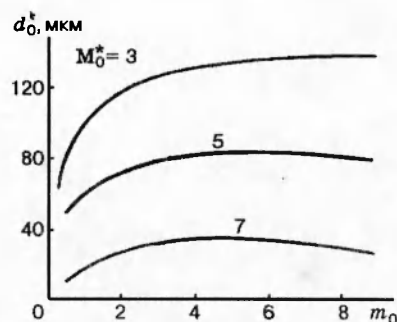


Рис. 3

число Маха инициирующей плоской УВ существенно возрастает с увеличением исходного размера частиц реагирующей дисперсной фазы. В диапазоне $4 \leq m_0 \leq 6$ зависимости $M_0^*(d_0)$ практически совпадают с аналогичной, соответствующей $m_0 = 4$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кутушев А. Г. Численное исследование ударных и детонационных волн в смесях газа с твердыми или жидкими частицами: Дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Тюмень, 1993.
2. Ивандаев А. И., Кутушев А. Г., Родионов С. П. Формирование волн гетерогенной детонации в газовзвесьях унитарного топлива под действием взрыва // Физика горения и взрыва. 1995. Т. 31, № 3. С. 83–91.
3. Белоцерковский О. М., Давыдов Ю. М. Метод крупных частиц в газовой динамике. М.: Наука, 1982.
4. Ждан С. А., Митрофанов В. В. Расчет критической энергии инициирования гетерогенной детонации // Детонация. Критические явления. Физико-химические превращения в ударных волнах. Черногловка, 1978. С. 50–53.
5. Ждан С. А. Модели нестационарных детонационных волн в газок капельных средах и проблема инициирования // Механика реагирующих сред и ее приложения. Новосибирск: Наука, 1989. С. 96–106.

Поступила в редакцию 29/VI 1995 г.
