

**О ВЛИЯНИИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ
НЕОДНОРОДНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ
В ЭКРАНИРУЮЩЕМ СЛОЕ
НА ПОДАВЛЕНИЕ ДЕТОНАЦИОННОЙ ВОЛНЫ
В АЭРОВЗВЕСИ УНИТАРНОГО ТОПЛИВА**

УДК 532.529: 518.5

А. Г. Кутушев, О. Н. Пичугин

Институт механики многофазных систем СО РАН, 625000 Тюмень

В рамках уравнений движения трехскоростного трехтемпературного с одним давлением континуума осуществлено численное исследование влияния пространственной неоднородности распределения химически инертных частиц в экранирующем слое на процесс подавления волны гетерогенной детонации. Установлено, что распределение пламегасящих частиц в слое может оказывать существенное влияние на гашение волн горения в аэровзвеси унитарного топлива.

В работе [1] на основе уравнений одномерного плоского нестационарного движения трехскоростной трехтемпературной с одним давлением смеси газа с дисперсными включениями реагирующей и инертной фаз численно решена задача о подавлении волны гетерогенной детонации в облаке аэровзвеси унитарного топлива, содержащем внутри себя слой химически пассивных частиц. При этом пространственное распределение пламегасящих частиц в демпфирующем слое полагалось однородным.

Цель настоящей работы, являющейся логическим продолжением [1], — исследование влияния пространственной неоднородности распределения инертных частиц на подавление детонационной волны (ДВ). Схематично задача представлена на рис. 1, где показана вышедшая на стационарный режим ДВ, распространяющаяся из двухфазной части облака монодисперсной аэровзвеси унитарного топлива и набегающая на трехфазную часть облака распыленного топлива, которое содержит слой монодисперсных инертных твердых частиц. Здесь x_L и x_R — левая и правая границы экранирующего слоя соответственно; ρ_3^* — средняя плотность инертных частиц в случае их равномерного распределения в слое.

Изменение массы горящих частиц унитарного топлива за волной отслеживалось во времени с момента начала взаимодействия ДВ с экранирующим слоем при следующих законах распределения инертной дисперсной фазы в нем:

$$\text{однородное } \rho_3^1(x) = \rho_3^*,$$

$$\text{линейно возрастающее } \rho_3^2(x) = (2\rho_3^*/k) [0,5 + ((k-1)/(x_R - x_L))(x - x_L)],$$

$$\text{линейно убывающее } \rho_3^3(x) = (2\rho_3^*/k) [k - 0,5 - ((k-1)/(x_R - x_L))(x - x_L)].$$

Здесь константа $k > 1$ характеризует степень неоднородности распределения (в расчетах полагалось $k = 3$); $x \in [x_R, x_L]$. При этом на функцию $\rho_3^i(x)$ налагалось условие постоян-

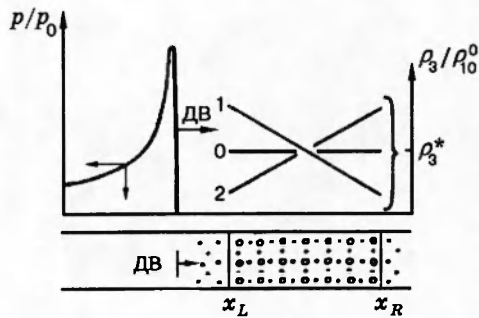


Рис. 1

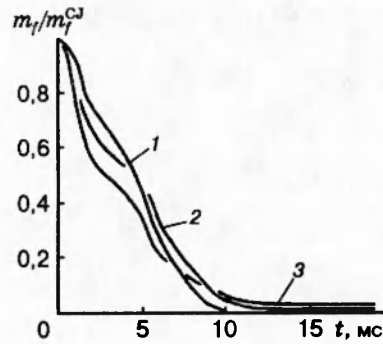


Рис. 2

ства массы частиц в слое, т. е.

$$\int_{x_L}^{x_R} \rho_3^i(x) dx \equiv \text{const}, \quad i = 1, 2, 3.$$

На рис. 2 приведена характерная расчетная зависимость m_f/m_f^{CJ} (m_f — масса реагирующих частиц, m_f^{CJ} — масса горящего унитарного топлива в стационарной ДВ) от времени для различных законов изменения плотности взвеси инертной дисперсной фазы (кривые 1–3 соответствуют линейно возрастающему, однородному и линейно убывающему распределениям). Исходный диаметр частиц унитарного топлива (пороха) d_{20} и диаметр химически инертных включений (кварцевого песка) d_{30} равны соответственно 40 и 700 мкм. Начальная протяженность экранирующего слоя $x_R - x_L = 4$ м. Исходное относительное массовое содержание инертных частиц в слое с однородным распределением $m_{30} = 16,8$; начальное относительное массовое содержание частиц пороха $m_{20} = 0,6$. Давление в зоне химического пика набегающей стационарной ДВ 2,08 МПа. Масса реагирующих частиц на единицу площади рассчитывалась по формуле

$$m_f = \int_{x_f}^{x_0} \rho_2(x) dx,$$

где x_f и x_0 соответственно координаты точек воспламенения и полного выгорания частиц топлива.

Сопоставление зависимостей, представленных на рис. 2, свидетельствует о том, что полное прекращение горения достигается лишь в случае линейно возрастающего закона распределения средней плотности (кривая 1). Следующим по эффективности гашения является однородное распределение (кривая 2), а наименее эффективным — линейно убывающее (кривая 3).

Полученные результаты можно объяснить, исходя из следующих соображений. В [1] отмечалось, что наибольшее ослабление волны горения реализуется при существенной скоростной неравновесности дисперсных фаз, когда химически инертные частицы выполняют роль малоподвижного «фильтра», пропускающего сквозь себя поток горячей аэровзвеси, поглощая при этом его энергию. Очевидно, что поглощение энергии будет тем интенсивнее, чем меньшей температурой будут обладать попадающие в зону реакции химически

инертные частицы. Поскольку разогрев этих частиц осуществляется в зоне релаксации за лидирующей ударной волной, то и степень их предварительного нагрева будет определяться характером взаимодействия этой волны с экранирующим слоем. Как показано в работе [2], диссипация энергии ударной волны при взаимодействии ее с экранирующим облаком взвеси максимальна в случае линейно убывающего распределения массы инертных частиц в слое и минимальна в случае линейно возрастающего закона изменения плотности. Таким образом, в первом случае (линейно убывающий закон) пламегасящие частицы попадают в зону горения ДВ, будучи более разогретыми ударной волной, чем в остальных случаях, и поэтому не обеспечивают полного прекращения реакции горения.

Кроме того, рассматривая частицу топлива, воспламенившуюся внутри экранирующего слоя, можно заметить, что общая масса «фильтрующей» взвеси, находящейся перед ней, будет максимальна в случае линейно возрастающего закона распределения плотности, т. е. этот закон обусловит наибольшую величину интеграла

$$\int_x^{x_R} \rho_3^i(x) dx,$$

где $x_L < x < x_R$ — координата воспламенившейся частицы.

В результате проведенного численного исследования показано, что пространственное распределение химически инертных твердых частиц в экранирующем слое может оказывать существенное влияние на процесс подавления волны гетерогенной детонации в взвеси унитарного топлива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кутушев А. Г., Пичугин О. Н. Численное исследование процесса прерывания распространения ДВ в газовзвеси унитарного топлива слоем инертных частиц // Физика горения и взрыва. 1993. Т. 29, № 2. С. 90–98.
2. Кутушев А. Г., Назаров У. А. Ослабление УВ слоями однородной и неоднородной моно- и полидисперсной газовзвеси // Физика горения и взрыва. 1991. Т. 27, № 3. С. 129–134.

Поступила в редакцию 2/II 1995 г.,
в окончательном варианте — 19/XII 1995 г.