

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ГЕТЕРОГЕННОЙ ДЕТОНАЦИИ КАНАЛЕ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

А.В. Фёдоров, Т.А. Хмель, С.А. Лаврук

*Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича
630090, Новосибирск, Россия*

Рассмотрение распространения детонации в каналах переменного сечения актуально для вопросов развития детонационных технологий. Рассмотрение гетерогенной детонации для развития детонационных двигателей интересно в связи с тем, что частицы металлов имеют большую энергоёмкость, чем газовые смеси, при аналогичных как в газовой детонации временах горения субмикронных и наноразмерных частиц металлов.

Ранее в работах [1, 2] было рассмотрено распространение детонационной волны в канале с уступом в плоской и цилиндрической постановке. Получены основные режимы распространения, построены карты режимов детонации. В [3, 4] аналогичные режимы распространения детонации были определены для каналов с линейным расширением.

В данной работе рассматривается задача о переходе детонационной волны в канале через участок линейного расширения.

Математическая модель. В качестве модели применяется двухтемпературная, двухскоростная модель механики многофазных сред. Горение алюминия описывается в рамках приведенной кинетики с учетом неполного сгорания частиц и температурного критерия воспламенения. При описании горения микроразмерных частиц алюминия диаметром менее 3.5 мкм применялась модель горения [5], учитывающая переход от диффузионного к кинетическому режиму горения частиц. Зависимость характерного времени горения частиц от их диаметра Аррениусовского типа соответственно данным [6] принимается в виде

$$\tau_{\xi} = \tau_0 (d / d_0)^{0.3} \exp(E_a / RT_2) \quad (1)$$

где $d_0 = 3.5$ мкм, $\tau_0 = 0.294$ мс, $E_a = 32$ кДж/моль.

Рассматривается канал переменного сечения, в котором происходит переход от одной высоты канала H_1 к другой H_2 через расширение с наклонной стенкой α (рис. 1). В качестве начальных данных рассматривается распространение плоской детонационной волны Чепмена-Жуге.

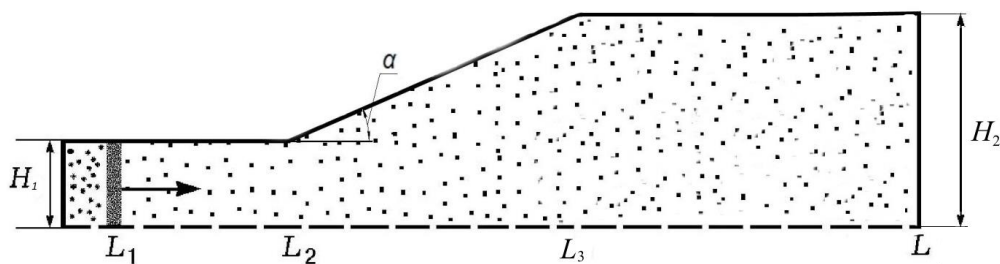


Рис.1. Расчетная схема

Результаты расчетов. Моделирование производилось для частиц 3.5 мкм. Начальная ширина была равна 0.05 м, конечная 0.1 м, угол наклона стенки в области перехода варьировался. Как видно из картин максимального давления, представленных на рис. 2, при всех углах наклона наблюдаются схожие конфигурации. Небольшие различия видны лишь в области за расширением, где образуется небольшое разрежение у наклонной стенки. Во всех рассмотренных случаях при движении фронта от наклонной стенки к верхней горизонтальной стенке происходит образование поперечной волны и тройной точки, в результате чего давление в этой области повышается. Для угла 30° повышение давления в этой области незначительное, в отличие от случаев для 45° и 60°. Поперечная волна на наклонной стенке не успевает сформироваться, в результате видно, что картины течений во всех трех конфигурациях схожи.

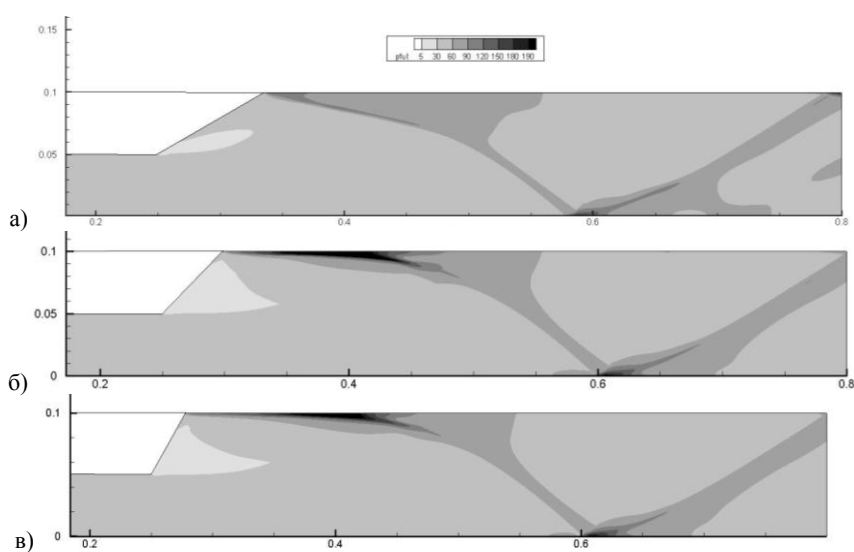


Рис. 2. Поля максимального давления $d=3.5\text{мкм}$, $t=0.45$ мс. а) $\alpha=30^\circ$, б) $\alpha=45^\circ$, в) $\alpha=60^\circ$.

Выводы. В рамках физико-математической модели гетерогенной детонации рассмотрено распространение детонации в канале переменного сечения. Производилось варьирование угла наклона переходной области. Из-за малой зоны переходной области получены схожие картины максимального давления в канале.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 16-19-00010)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fedorov A.V., Khmel T.A., Kratova Y.V. Cellular detonation diffraction in gas-particle mixtures // *Shock Waves*, 2010, т. 20, №6, с. 509-519.
2. Кратова Ю.В., Федоров А.В., Хмель Т.А. Распространение детонационных волн в газовзвесах в каналах с внезапным расширением // *Физика горения и взрыва*, 2011, т. 47, № 1, с. 80–91.
3. Федоров А.В., Хмель Т.А., Лаврук С.А. Выход волны гетерогенной детонации в канал с линейным расширением. 1. Режимы распространения // *Физика горения и взрыва*, 2017, (в печати).
4. Федоров А.В., Хмель Т.А., Лаврук С.А. Выход волны гетерогенной детонации в канал с линейным расширением. 2. Критические условия распространения // *Физика горения и взрыва*, 2017, (в печати).
5. Fedorov A.V., Khmel T.A. Detonation structures in gas suspensions of submicron and nano aluminum particles // *In: Nonequilibrium Processes in Physics and Chemistry. V. II.* / Ed. by A.M. Starik and S.M. Frolov. – М.: TORUS-PRESS. 2016. P. 341-351.
6. Сандарам Д., Янг В., Зарко В.Е. Горение наночастиц алюминия (обзор) // *ФГВ*, 2015, Т. 51, № 2. С. 37-63.