

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ОБЛАКА ИНЕРТНЫХ ЧАСТИЦ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ В ПЛОСКОМ КАНАЛЕ

А.В. Фёдоров, С.А. Лаврук

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

Противопожарная безопасность является одним из важнейших вопросов, возникающих на производстве. Представляют интерес также и вопросы снижения скорости гетерогенной детонации из-за присутствия в реагирующей смеси инертных частиц (зачастую это трактуется как подавление детонации). Таковыми могут быть и частицы горючего, имеющие значительную толщину оксидной пленки. В работах [1,2] рассматривался вопрос подавления детонации в плоском канале за счет облака инертных частиц, однако, процесс возникновения области с инертными частицами описан не был. Данная работа посвящена исследованию способов создания области заполненной инертными частицами в плоском канале.

Математическая модель. Математическая модель детонации частиц алюминия в кислороде была развита в [3] и верифицирована путем сравнения с экспериментальными данными по зависимости скорости детонации от содержания частиц. Модель основана на представлениях многоскоростных многотемпературных континуумов. В двумерном нестационарном течении основные уравнения, описывающие детонацию монодисперсных газозвесей частиц алюминия, представлены в [4]. В данной работе используется математическая модель бидисперсной гетерогенной среды, одна фракция которой реагирующая (индекс $i = 2$), а вторая инертная ($i = 3$).

Камера высокого давления (КВД). В качестве одного из способов распространения облака инертных частиц была выбрана КВД, занимающая часть плоского канала. В результате прорыва мембраны происходит рассеяние инертных частиц по объему.

Рассматривалась задача, при которой в канале создавалась область с высоким давлением, наполненная инертными частицами. Давление варьировалось в диапазоне от 30 до 10 атм. в результате прорыва мембраны происходит распространение контактного разрыва по объему канала. На рис. 1а. представлены поля давлений образованных в результате прорыва КВД. Видно, что влево распространяется контактный разрыв. Давление на переднем фронте контактного разрыва не превышает 7 атм. для камеры с давлением в 30 атм. и 5 атм. для камер с давлением в 20 и 10 атм. вправо распространяется волна разрежения. Для верификации модели расчета была определена скорость распространения волны разрежения (рис.1б). В ходе распространения волны разрежения в начальные моменты времени она распространяется с замороженной скоростью звука, а через какое то время её скорость падает до равновесной скорости звука. Аналогичное поведение волны разрежения было получено ранее в работе [5].

Взаимодействие передней границы фронта инертных частиц с детонационной волной. Далее рассматривалась задача о взаимодействии детонационной волны (ДВ) с контактным разрывом, образовавшимся в результате прорыва мембраны из камеры высокого давления.

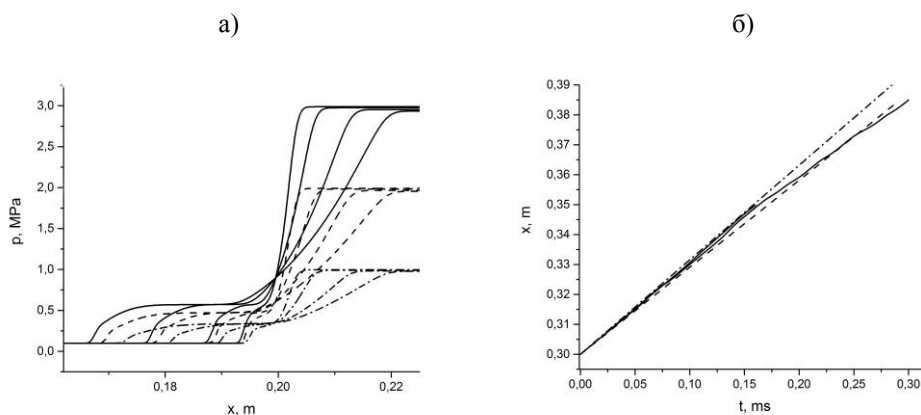


Рис. 1. Параметры структуры, образованной камерой высокого давления. а) распределение давления, сплошная линия – давление в КВД 30 атм, пунктирная линия – давление в КВД 20 атм, штрих-пунктирная линия – давление в камере 10 атм; б) Распространение передней границ волны разрежения. Сплошная линия – траектория распространения фронта разрежения, пунктирная линия – распространение равновесной скорости звука, штрих-пунктирная линия - распространение замороженной скорости звука.

Перед столкновением детонационной волны с контактным разрывом показано на рис. 2. На рис. 2а представлено распределение давления по каналу на момент 0.27 мс в плоскости симметрии. Видно, что давление в ДВ превышает 80 атм, в УВ давление ниже 8 атм. На рис. 2б представлено шлирен-изображение расположения детонационного фронта и контактного разрыва перед их взаимодействием. Видно, что по фронту ДВ распространяются поперечные волны, в результате чего давление в плоскости симметрии выше давления ЧЖ (56 атм), что видно на рис 2а. Структура образованная контактным разрывом состоит из двух частей: в начале структуры движется слой реагирующих частиц, за которым распространяется облако инертных частиц. Плотность алюминиевых частиц в этом облаке составляет $6,5 \text{ кг/м}^3$.

При столкновении ДВ с контактным разрывом сначала происходит интенсивное сгорание реагирующих алюминиевых частиц. В результате чего давление повышается до 10 МПа (рис.3.). По мере сгорания алюминиевых частиц давление в области горения начинает падать. В конце рассматриваемого периода времени давление не превышает 30атм.

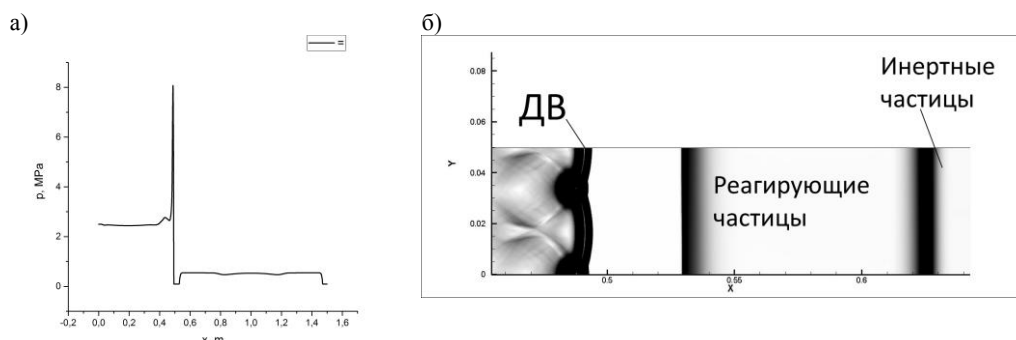


Рис. 2. Взаимодействие контактного разрыва и ДВ. а) распределение давления в плоскости симметрии, б) шлирен-изображение.

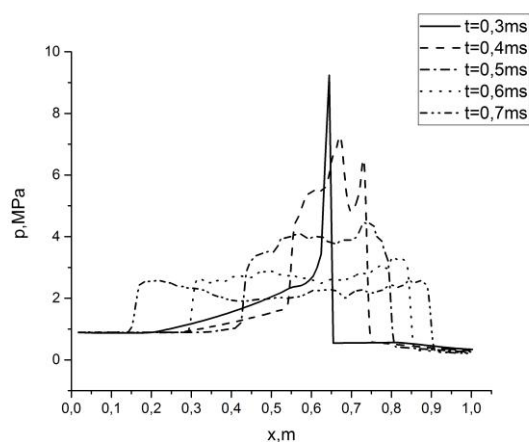


Рис. 3. Поля давлений в плоскости симметрии.

Так же стоит отметить, что если скорость распространения волны вправо по каналу падает, то влево начинает распространяться ударная волна вызванная взаимодействием детонационной волны и уплотненного слоя реагирующих частиц. Так как распространение ударной волны вправо затруднено из-за дефицита скорости вызванного облаком инертных частиц, ударная волна начинает распространяться влево, в зону прореагировавших частиц, где давление ниже. В этой области располагается волна разрежения от детонационной волны и давление не превышает 1 МПа (рис. 3).

Выводы. Исследован способ создания облака инертных частиц за счет прорыва камеры высокого давления. Показана возможность срыва детонации в канале. Однако в результате прорыва КВД образуется область с повышенным содержанием реагирующих частиц, которые при детонации дают области с высоким давлением.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ №16-19-00010.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров А.В., Кратова Ю.В. Расчет распространения детонационной волны в газозвеси алюминиевых и инертных частиц // Физика горения и взрыва. 2013. Т. 49, № 3. С. 88-101.
2. Федоров А.В., Кратова Ю.В. Взаимодействие волны гетерогенной детонации, распространяющейся в ячеечном режиме, с облаком инертных частиц // Физика горения и взрыва. 2014. Т. 50, № 2. С. 68-76.
3. Федоров А.В. Структура гетерогенной детонации частиц алюминия, диспергированных в кислороде // Физика горения и взрыва. 1992. Т. 28, № 3. С. 72-83.
4. Федоров А. В., Хмель Т. А. Численное моделирование формирования ячеистой гетерогенной детонации частиц алюминия в кислороде // Физика горения и взрыва. 2005. Т. 41, № 4. С. 84-98.
5. Казаков Ю.В., Федоров А.В., Фомин В.М. Расчет разлета сжатого объема газозвеси // Прикладная механика и техническая физика. 1987. № 5. С. 139-144.