

ИНИЦИИРОВАНИЕ И СТРУКТУРЫ ГАЗОВОЙ ДЕТОНАЦИИ

А.А. Васильев, В.А. Васильев

*Институт гидродинамики им. М.А.Лаврентьева СО РАН
Новосибирский государственный университет
630090, Новосибирск, Россия*

Метастабильность горючей смеси обусловлена потенциальным барьером (энергией активации), а химическая реакция за счет соударения частиц начинается при условии, что этот барьер преодолевает «необходимое» количество активных частиц – Рис.1-2. Активные частицы есть всегда, но при малом их количестве реакция не развивается.

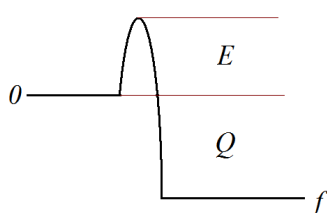


Рис. 1. Энергетические состояния смеси:
0 – исходное, f – конечное состояние
продуктов реакции, E – энергия активации,
Q – химическое энерговыделение.

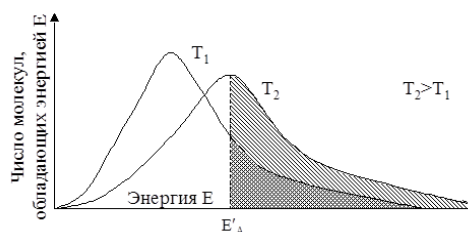


Рис.2. Функция распределения количества частиц от энергии: заштрихованные области – количество активных частиц (энергия превышает энергию активации) при различных начальных температурах смеси.

Уравнения газодинамики и описываемая ими ударная волна (УВ) являются устойчивыми. А совместная система уравнений газодинамики и химической кинетики – неустойчива, потому в таких динамических системах наблюдаются эффекты возникновения и развития возмущений, их самоорганизации, возникновения упорядоченной (регулярной) многофронтной структуры, что особо характерно для детонационной волны (ДВ).

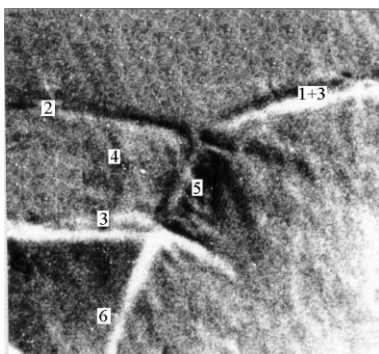


Рис. 3. Мгновенная теневая фотография сложной структуры фронта ДВ из элементов ударных волн 1-2, фронтов горения 3, зоны индукции 4, поперечной волны 5, шлейфа 6

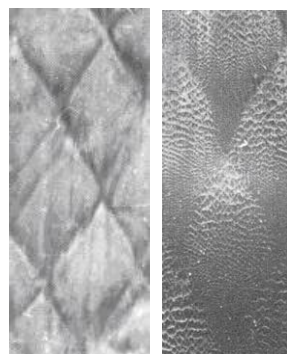


Рис.4. Классическая (слева) и бифуркационная (справа) структуры многофронтной газовой детонации. На всех снимках распространение ДВ снизу - вверх.

Энерговыведение Q порождает неустойчивость и возникновение структуры, потому и моделирование инициирования и возникновения структуры следует начинать с волн, при которых $Q \approx 0$. При немономонном Q возникают структуры, соответствующие одновременно двум различным режимам детонации (бифуркационные структуры).

Энергия инициирования – дополнительная энергия, подведенная к горючей смеси, которая обеспечивает дальнейшее распространение фронта реакции по горючей смеси.



Рис. 5. Следовой отпечаток ДВ при ее критическом инициировании (цилиндрическая симметрия).

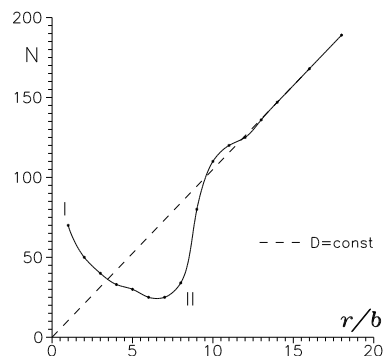


Рис.6. Количество поперечных волн (ПВ) на расширяющейся поверхности цилиндрической ДВ. Цифрами I и II отмечены области спонтанного увеличения ПВ.

С помощью модели сильного взрыва

$$r^{v+2}(t) = [E_v / (\alpha_v \rho_0)] \cdot t^2$$

проанализировано инициирование многофронтной детонации и установлено, что профиль энерговыведения Q существенно отличается от традиционно используемого в классической теории.

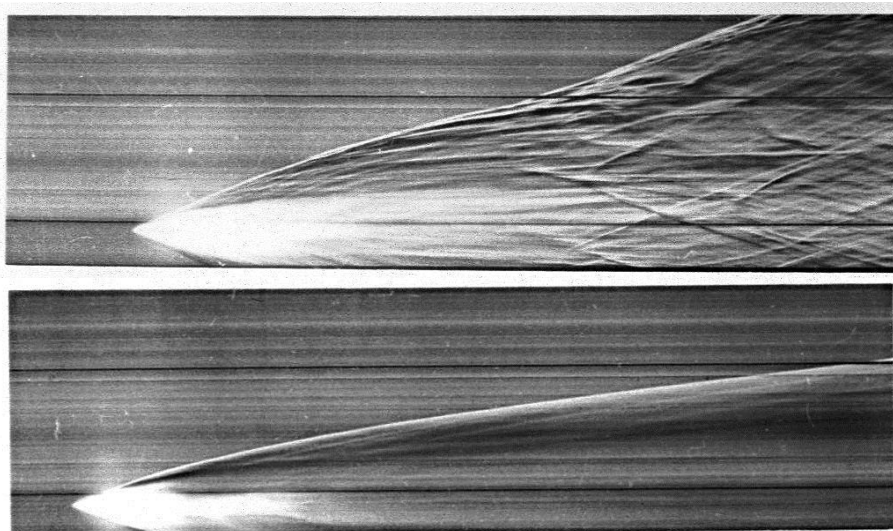


Рис. 7-8. Шлирен-развертки распространения ДВ в горючей смеси ($C_2H_2+2.5O_2$) при критическом инициировании и распространения ДВ в ее инертном аналоге ($C_2H_2+2.5N_2$).

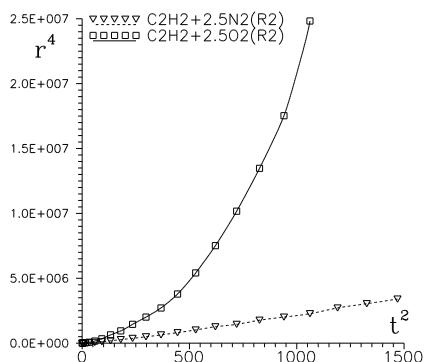


Рис. 9. Обработанные с помощью модели сильного взрыва траектории критического инициирования цилиндрической ДВ (сплошная линия) в горючей смеси и взрывной волны в ее инертном аналоге (пунктирная линия).

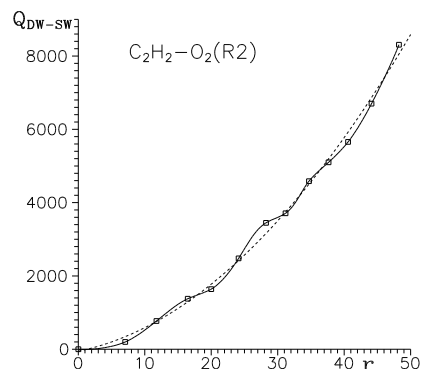


Рис.10. Энерговыведение в многофронтной детонации при критическом инициировании горючей смеси (сплошная линия). Пунктирная линия – аппроксимация полиномом второй степени (цилиндрическая ДВ).

- Совокупность экспериментальных и расчетных данных свидетельствует, что при численных расчетах параметров детонации современные кинетические схемы предсказывают заниженные величины размера ячейки (и остальных пропорциональных размеру ячейки величин) по сравнению с экспериментальными.
- Без сравнения с экспериментом любые (и даже 2D и 3D) расчеты детонационных волн являются лишь качественными и не гарантируют адекватное предсказание реальных процессов типа ПГД, ДВ в сверхзвуковых потоках.
- Экспериментальные данные о химическом энерговыведении Q в многофронтной детонации существенно отличаются от модельных представлений, используемых в классической одномерной модели ДВ.