

ние. Важно подчеркнуть, что эти температуры достаточно высоки для использования (в отличие от водородной плазмы) также и сторонних источников электронов. Отметим также, что быстрый распад плазмы, приводящий к инверсной заселенности уровней, можно получить и принципиально другими методами, например изотермическим сжатием.

Физический институт
им. П. Н. Лебедева АН СССР

Поступила 10 VI 1966

ЛИТЕРАТУРА

1. Гудзенко Л. И., Шелепин Л. А. Отрицательное поглощение в неравновесной водородной плазме. Ж. эксперим. и теор. физ., 1963, т. 45, № 5.
2. Сб. Атомные и молекулярные процессы (под ред. Бейтса Д. Р.), Изд. «Мир», 1964.
3. Гудзенко Л. И., Колесников В. Н., Соболев Н. Н., Шелепин Л. А. Об использовании высокоионизованной плазмы для создания лазера. Магнитная гидродинамика, 1965, т. I, № 3.
4. Гудзенко Л. И., Шелепин Л. А. Усиление в рекомбинирующей плазме. Докл. АН СССР, 1965, т. 160, № 6.
5. Bates D. R., Kingston A. E. Properties of a decaying plasma. Planet. Space Sci., 1963, vol. 11, No 1.
6. McWhirter R. W. P., Hearn A. G. A calculation of the instantaneous population densities of the excited levels of hydrogen-like ions in a plasma. Proc. Phys. Soc., 1963, vol. 82, No 529.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЯ ПОЛИТРОПЫ ДЛЯ ПРОДУКТОВ ГАЗОВОЙ ДЕТОНАЦИИ

Ю. Н. Денисов, Я. К. Трошин

(Москва)

Предлагаемый метод определения величины показателя политропы γ для продуктов газовой детонации основан на определении отношения скоростей падающей и отраженной волн D_2/D_1 при столкновении двух детонационных волн друг с другом в условиях, когда можно пренебречь неоднородной структурой зоны химической реакции в падающей волне. Процесс столкновения двух таких квазиодномерных детонационных волн описывается решением задачи о столкновении детонационной волны с абсолютно жесткой стенкой, полученным в приближении сильной детонационной волны [1,2]. Это приближение в применении к газовой детонации, где отношение начального давления горючей газовой смеси к давлению в детонационной волне $p_0/p_1 \approx 0.05-0.2$, может дать существенную погрешность при определении величины γ . Поэтому выведем зависимость γ от D_2/D_1 без пренебрежения p_0 по сравнению с p_1 .

Запишем уравнения сохранения массы, количества движения, условие Жуке для падающей детонационной волны

$$\rho_0 D_1 = \rho_1 (D_1 - u_1), \quad p_1 - p_0 = \rho_0 D_1 u_1$$

$$\frac{\rho_1}{\rho_0} = \frac{\gamma_1 + 1 - p_0/p_1}{\gamma_1} \quad (1)$$

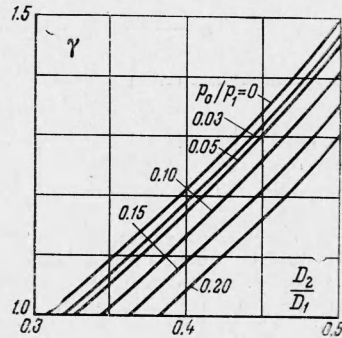
Для отраженной ударной волны (предполагая, что $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma$) из законов сохранения массы, количества движения и энергии, имеем

$$\rho_2 D_2 = \rho_1 (D_2 + u_1), \quad p_2 - p_1 = \rho_1 (D_2 + u_1) u_1$$

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{p_1(\gamma - 1) + p_2(\gamma + 1)}{p_1(\gamma + 1) + p_2(\gamma - 1)} \quad (2)$$

Здесь ρ и u — соответственно плотность и массовая скорость, индексы 0, 1, 2, относятся соответственно к состояниям газа: в исходной смеси, в падающей и в отраженной волнах. Из (1) и (2), пользуясь заменами

$$d = \frac{D_2}{D_1} + 1, \quad \xi = \frac{\gamma + 1}{\gamma}, \quad \pi = \frac{p_0}{p_1} \quad (3)$$



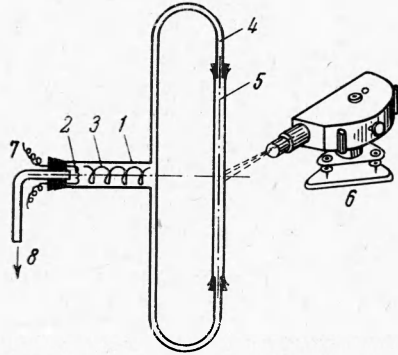
Фиг. 1. График зависимости γ от D_2/D_1

легко получить

$$d \left(1 + \frac{1-\pi}{\gamma} \right) - 1 - \frac{\xi(1-\pi)}{4} - \left(\frac{\xi^2(1-\pi)^2}{16} + 1 \right)^{1/2} = 0 \quad (4)$$

Это уравнение сводится к виду

$$a\gamma^2 + b\gamma + c = 0 \quad (5)$$



Фиг. 2. Схема кольцеобразной детонационной трубы: 1 — колено металлической трубы, в котором инициировалась детонация, 2 — проволока, 3 — спираль для электрического поджига газовой смеси, 4 — спираль Щелкина, 5 — кольцеобразная металлическая труба, 6 — экспериментальный отсек

васлась спираль 3. Труба 1 присоединялась к кольцеобразной металлической трубе 4 так, что последняя оказывалась симметричной относительно оси трубы 1. Экспериментальный отсек 5 кольцеобразной трубы 4 представлял собой сменную стеклянную трубку, имевшую внутренний диаметр 16 мм. На среднюю часть этой стеклянной трубки был направлен объектив скоростного фоторегистра ЖФР-1 [4,5].

Таблица 1

Величины отношения скоростей отраженной и падающей волн для горючих смесей при различных начальных давлениях p_0

p_0	D_2/D_1			
	$2H_2 + O_2$	$CH_4 + 2O_2$	$C_2H_2 + 2.5O_2$	$C_2H_2 + 2.5O_2 + 2.5Ar$
915	—	0.422 ± 0.005	0.388 ± 0.012	0.412 ± 0.008
880	0.42 ± 0.01	—	—	—
760	0.42 ± 0.01	0.420 ± 0.02	0.389 ± 0.007	0.414 ± 0.008
500	0.45 ± 0.02	0.424 ± 0.02	0.388 ± 0.009	0.426 ± 0.008

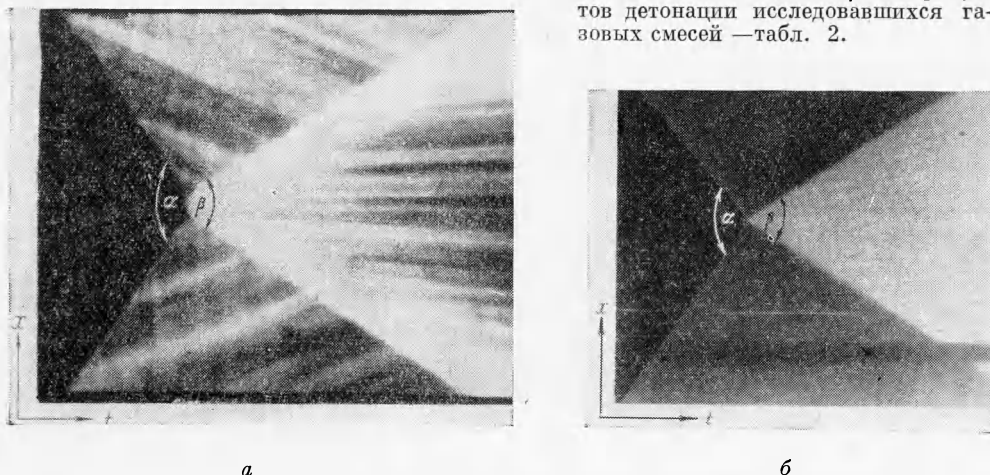
Изучалось столкновение детонационных волн, распространяющихся по газовым смесям, находящимся по составу и начальному давлению вдали от детонационных пределов. Были получены фоторегистрации, аналогичные показанным на фиг. 3, а, б. Для определения величины отношения D_2/D_1 по таким фоторегистрациям достаточно измерить углы растворов α и β , так как

$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{\operatorname{tg} 1/2\beta}{\operatorname{tg} 1/2\alpha}$$

В табл. 1 приведены величины D_2/D_1 для некоторых смесей при нескольких начальных давлениях p_0 . В этой же таблице для сравнения даны результаты экспериментов по определению D_2/D_1 для ацетилено-кислородной смеси с добавкой аргона, имеющего $\gamma = 1.67$. Предполагалось, что в этом случае величина показателя политропы продуктов детонации будет больше, чем для смеси без добавки аргона.

Величины отношений p_0/p_1 для исследовавшихся смесей принимались равными: для $2H_2 + O_2 - 0.05$, $CH_4 + 2O_2 - 0.03$; $C_2H_2 + 2.5O_2 - 0.03$. При начальных дав-

лениях $p_0 = 500$ мм рт. ст. и ниже для смесей $2\text{H}_2 + \text{O}_2$, $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2$ и $\text{C}_2\text{H}_2 + 2.5\text{O}_2 + 2.5\text{Ar}$ наблюдалось увеличение D_2/D_1 с уменьшением p_0 , что, очевидно, связано с влиянием на процесс столкновения и отражения волн неоднородности структуры волны газовой детонации [6-8]. Неоднородная структура сталкивающихся волн приводит к более сложной картине распространения отраженных волн вблизи места столкновения. Линии распространения фронтов таких отраженных волн на фоторазвертках имеют излом (см., например, фиг. 3, а). При $p_0 > 500$ мм рт. ст. неоднородная структура сталкивающихся волн почти не влияет на величину $D_2/D_1 = \text{tg } 1/2\beta / \text{tg } 1/2\alpha$ и поэтому для определения γ использовались лишь данные из табл. 1 для смесей с $p_0 > 500$ мм рт. ст. По этим данным, пользуясь графиком на фиг. 1, определены величины показателя политропы γ для продуктов детонации исследовавшихся газовых смесей — табл. 2.



Фиг. 3. Фоторазвертка во времени столкновений двух детонационных волн: а) смесь $2\text{H}_2 + \text{O}_2$, $p_0 = 880$ мм рт. ст., внутренний диаметр трубы 16 мм, б) смесь $\text{C}_2\text{H}_2 + 2.5\text{O}_2$, $p_0 = 300$ мм рт. ст., внутренний диаметр трубы 16 мм

Таблица 2

Величина показателя политропы γ для продуктов детонации различных газовых смесей

Смесь	$2\text{H}_2 + \text{O}_2$	$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2$	$\text{C}_2\text{H}_2 + 2.5\text{O}_2$	$\text{C}_2\text{H}_2 + 2.5\text{O}_2 + 2.5\text{Ar}$
γ	1.225 ± 0.025	1.245 ± 0.015	1.16 ± 0.03	1.225 ± 0.022

Из этой таблицы видно, что действительно при добавке аргона к ацетилено-кислородной смеси произошло, как и предполагалось, повышение величины γ по сравнению с результатом для той же смеси без добавки аргона.

Поступила 3 V 1965

ЛИТЕРАТУРА

- Станюкович К. П. Об отражении фронта детонационной волны. Докл. АН СССР, 1946, т. 52, № 9.
- Зельдович Я. Б., Станюкович К. П. Об отражении плоской детонационной волны. Докл. АН СССР, 1947, т. 55, № 7.
- Щелкин К. И. Возникновение детонации в газах и шероховатых трубах. Ж. техн. физ., 1947, т. 17, № 5, стр. 613—618.
- Дубовик А. С., Чурбаков А. И. Высокоскоростной фоторегистратор непрерывного действия ЖФР. Оптико-механическая пром-сть, 1959, № 1, стр. 47.
- Дубовик А. С. Фотографическая регистрация быстропротекающих процессов. Изд-во «Наука», 1964.
- Денисов Ю. Н., Трошин Я. К. Пульсирующая и спиновая детонация газовых смесей в трубах. Докл. АН СССР, 1959, т. 125, № 1.
- Щелкин К. И., Трошин Я. К. Газодинамика горения. Изд-во АН СССР, 1963.
- Денисов Ю. Н. Столкновение со стенкой волны газовой детонации с большим и пренебрежимо малым периодами индукции воспламенения. ПМТФ, 1966, № 2, стр. 96.