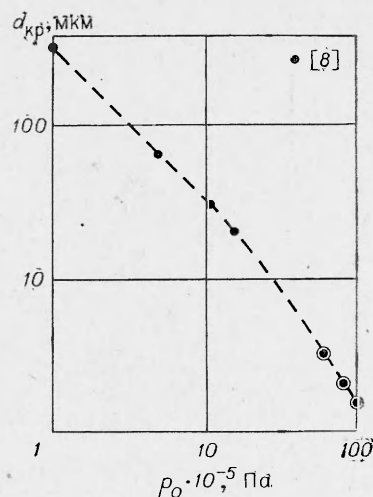


ных данных и стандартных свойств водорода и кислорода использовались коэффициенты аппроксимации термодинамического потенциала из [5]. Расчет теплопроводности смеси проводился по формуле Брокау [6], которая для случая водородно-кислородной смеси преобразуется к виду

$$\lambda = 0,1898 (2\lambda_{\text{H}_2} + \lambda_{\text{O}_2}) + \frac{1,2913\lambda_{\text{H}_2}\lambda_{\text{O}_2}}{2\lambda_{\text{O}_2} + \lambda_{\text{H}_2}},$$

где λ_{H_2} , λ_{O_2} — теплопроводность водорода и кислорода соответственно при рассматриваемом давлении [7].

Эксперименты при давлении гремучего газа 12 МПа показали, что горение переходит в контрольный объем даже при величине пор 0,5 мкм. На рисунке показана зависимость критического диаметра гашения от давления гремучей смеси. За предельный критический диаметр принимался диаметр канала, при котором в серии из 10 взрывов ни разу не наблюдалось проскока пламени в контрольный объем. На кривую



нанесены также результаты

Поступила в редакцию
2/VII 1979

ЛИТЕРАТУРА

1. И. И. Стрижевский, В. Ф. Заказов. Промышленные огнепреградители. М., Химия, 1974.
2. А. С. Беркман. Пористая проницаемая керамика. М., Госстройиздат, 1959.
3. Я. Б. Зельдович. ЖЭТФ, 1941, 11, 1, 159.
4. В. М. Гефтер, В. И. Мика, А. М. Семенов. Теплофизические свойства веществ. Обзорная информация, № 3. М., ВИНТИ, 1976.
5. И. Б. Рождественский, В. Н. Гутов, Н. А. Жигульская. Теплофизические свойства химически реагирующих гетерогенных смесей. М., ЭНИИ, 1973.
6. R. S. Brokaw. Ind. Chem., 1955, 47, p. 2398.
7. Н. Б. Варгафтик. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М., Наука, 1972.
8. И. И. Стрижевский, С. М. Солонин и др. Порошковая металлургия, 1967, 9, 18.

ГОРЕНИЕ В ЗАЗОРЕ МЕЖДУ СДАВЛИВАЕМЫМИ ОБРАЗЦАМИ

Л. К. Гусаченко
(Томск)

Если забронированные с боковой поверхности образцы поджечь с торца и прижать один к другому горящими поверхностями, то для небольших диаметров образцов легко можно получить критическое истечение из зазора. Для близкого по физической картине процесса пиролиза это показано в [1]. При этом можно получить в зазоре давление, обеспечивающее нормальное горение топлива, когда вокруг образцов атмосферное давление или даже вакуум. Это позволяет создать, например, малогабаритный бескорпусный газогенератор для временных надувных космических конструкций. Кроме того, для небольших размеров образца можно получить такое редкостное явление, как ламинарный звуковой поток. При этом нет связанной с турбулентностью тепловой эрозии и появляется возможность изучать (определять) механическую составляющую скорости широко изучаемого в последнее время эрозийного горения при звуковом обтекании. Все сказанное относится к давлению в несколько атмосфер и топливам с ведущей стадией в твердой фазе, так как изучается наиболее простой режим $T = \text{const}$, когда из-за малого времени пребывания газа в зазоре последующие стадии горения не реализуются. Ниже в предположении о постоянстве температуры T газа исследуется распределение скорости v газа, давления p и толщины зазора Δz по радиусу r .

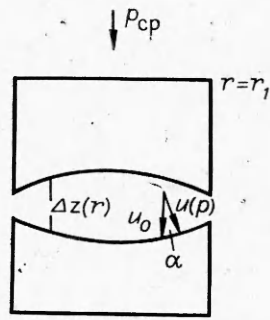


Рис. 1.

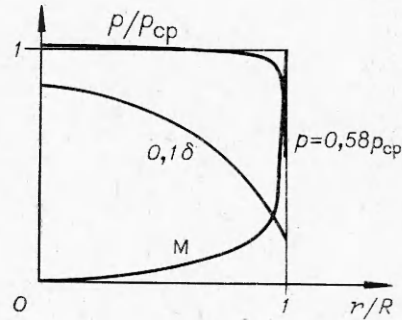


Рис. 2.

На рис. 1 изображены прижимаемые образцы. Снаружи образцы прижимаются усилием, обеспечивающим среднее давление p_{cp} . Оценим область применимости гипотезы о постоянстве температуры. Можно показать, что при постоянстве плотности ρ газа (жидкости) по сосуду для любой формы и конструкции сосуда и для любого распределения в нем источников и стоков справедливо выражение для среднего интегрального времени t_{cp} пребывания в нем газа (жидкости) в стационарном режиме

$$t_{cp} = w/w^* \quad (1)$$

Здесь w — объем сосуда; w^* — секундный объемный расход (приход). Из рис. 2 видно, что расчет, сделанный в предположении $T = \text{const}$, дал практически во всем объеме $p = \text{const}$. Значит, $\rho \approx \text{const}$, и можно для оценок применять (1). Относя индекс 1 к выходу, получим

$$w^* = 2\pi r_1 \Delta z_1 v_1, \quad w = \pi r_1^2 \Delta z_{cp}, \quad t_{cp} = (\Delta z_{cp}/2\Delta z_1) (r_1/v_1) \quad (2)$$

где $\Delta z_{cp}/(2\Delta z_1)$ имеет порядок 1,5—2. Допустим, $T \approx 700$ К (температура поверхности горения), тогда v_1 имеет порядок 500—600 м/с. Взяв $r_1 = 0,5$ см, получим $t_{cp} \approx 0,002$ с. Значит, для образца диаметром 1 см допущение $T = \text{const}$ ограничивает область давлений в набор топлив требованием, чтобы характерное время реакции в газовой фазе превышало 0,002 с. Выполняется $T = \text{const}$ и в противоположном случае, когда время реакции много меньше среднего времени пребывания. В этом случае, согласно (2), следует увеличить r_1 . Для уменьшения времени реакции нужно увеличивать p_{cp} . Таким образом этот режим связан с применением больших усилий.

Процесс описывают уравнения: движения

$$d(r\rho v^2 \Delta z) = -r \Delta z (dp + 12\mu v dr / (\Delta z)^2), \quad (3)$$

состояния

$$p = \rho RT, \quad RT = \text{const}, \quad (4)$$

неразрывности

$$2\pi r \Delta z v \rho v = 2\pi r^2 \rho_\tau u_0, \quad (5)$$

формы горячей поверхности (см. рис. 1)

$$0,5 d\Delta z/dr = -\text{tg } \alpha, \quad \cos \alpha = u(p)/u_0, \quad u(p) \sim p^\nu, \quad (6)$$

условие равновесия образца в направлении z (см. рис. 1)

$$\int_0^{r_1} 2\pi r p dr = \pi r_1^2 p_{cp} \quad (7)$$

Здесь v , μ — средние по толщине зазора скорость и вязкость продуктов сгорания; ρ_τ — плотность топлива; u_0 — установившаяся скорость распространения в направлении z по образцу поверхности горения $\Delta z(r)/2$; $u(p)$ — нормальная линейная скорость горения; ν — показатель в законе горения. Эрозионные эффекты в (6) не учтены. В (3) «вязкий» член получен как для ламинарного течения между пластинками без учета влияния вдува. Что касается ламинарности, то для Re с учетом (5) получим $\rho v \Delta z / \mu = \rho_\tau u_0 r_1 / \mu$. Пусть $\mu = 7 \cdot 10^{-4}$ г/с, $\rho_\tau = 1,6$ г/см³, $u_0 = 0,5$ см/с, $r_1 = 0,5$ см, тогда $Re = 570$.

Уравнения (3)–(7) можно привести к виду

$$\frac{d\xi}{dM} = \frac{\xi}{M} (1 - M^2) / [1 + 2M^2 + (M^2/\Pi_0^\nu + \xi \beta Re_1) / (B\delta)], \quad (8)$$

$$d\delta/dM = -d\xi/dM \cdot \beta \cdot Re_1/B, \quad \beta = 1/6 \sqrt{(\Pi_0/\Pi)^{2\nu} - 1},$$

$$\Pi = \Pi_0^v \xi / (M \delta), \quad (9)$$

$$\int_0^1 2\Pi \xi d\xi = 1. \quad (10)$$

Здесь $\xi = r/r_1$; $M = v/\sqrt{RT}$; $\Pi = p/p_{cp}$; $\Pi_0 = \Pi(0)$; $Re_1 = \rho_{\tau u}(p_{cp})r_1/\mu$; $B = \rho_{\tau u}(p_{cp})Re_1\sqrt{RT}/(12p_{cp})$; $\delta = (Re_1/12B)\Delta z/r_1$. Ищем решение с критическим истечением. Из (8) следует, что $M=1$ может быть достигнуто только на границах зазора, при $\xi=1$

$$\xi(1) = 1. \quad (11)$$

Из начальных условий известно

$$\xi(0) = 0,$$

$\Pi(0)$, $\delta(0)$ следует подбирать так, чтобы выполнялись уравнения (10), (11). В качестве аргумента в системе используется M , так как при $M \rightarrow 1$ производные по аргументу ξ неограниченно возрастают. Неопределенность $d\xi/dM=0/0$ в уравнении (8) при $M=0$ ликвидируется с помощью (9): $M \rightarrow 0$, $\xi/M \rightarrow \delta(0) \cdot \Pi^{-v} \cdot (0)$. На рис. 2 приведены результаты численного решения системы при $Re_1=400$, $B=1$.

Поступила в редакцию
4/VI 1979

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. К. Гусаченко. ФГВ, 1977, 13, 4.

РАСЧЕТ ВЗРЫВНОГО НАГРУЖАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИМПУЛЬСА ДАВЛЕНИЯ ЗАДАНЫХ ПАРАМЕТРОВ

С. А. Новиков, В. А. Симицын, А. П. Погорелов
(Москва)

Практика применения взрывных нагружающих устройств для формирования импульса давления заданной формы, в частности для калибровки датчиков ускорения [1] и для динамических механических испытаний на растяжение и сжатие образцов из конструкционных материалов [2], показала их большие достоинства.

В настоящей работе дается расчет взрывного нагружающего устройства, в котором для формирования импульса давления трапециевидальной формы с заданными характеристиками (величина максимального давления, длительность импульса) используется пористый или трубчатый демпфер (рис. 1).

Для формирования ударного импульса трапециевидальной формы демпфер должен быть идеальным упругопластическим телом, диаграмма сжатия которого приведена на рис. 2. Из реальных материалов близкой по форме диаграммой сжатия обладают некоторые пористые вещества (например, пенополистирол [3]), а также металлические трубки (трубчатые крешеры) при осевом сжатии (рис. 3).

Использование в качестве демпфера в нагружающих устройствах материалов, диаграмма сжатия которых подобна изображенной на рис. 3, позволяет сформировать с их помощью импульс давления, близкий к трапециевидальному, если демпфер сжимается в пределах участка постоянного давления сжатия. При заданных характеристиках трапециевидального импульса давления (величине и длительности максимального давления) расчетно-экспериментальным способом определяются характеристики нагружающего устройства (величина навески ВВ, масса ударника, материал и толщина демпфера). Для демпферов цилиндрической формы из пенополистирола экспериментально установлено, что они не теряют продольной

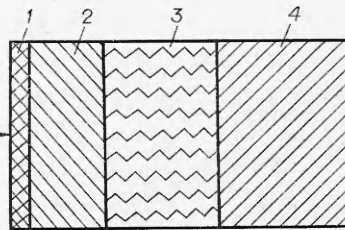


Рис. 1. Схема взрывного устройства для создания импульса давления трапециевидальной формы. 1 — заряд ВВ; 2 — ударник; 3 — пористый или трубчатый демпфер; 4 — испытываемый образец.