$$\Pi = \Pi_0^{\nu}\xi/(M\delta), \tag{9}$$

$$\int_0^1 2\Pi\xi d\xi = 1. \tag{10}$$

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

$$\xi(1) = 1. \tag{11}$$

Из начальных условий известно

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

$\Pi(0)$, $\delta(0)$ следует подбирать так, чтобы выполнились уравнения (10), (11). В качестве аргумента в системе используется M, так как при $M \to 1$ производные по аргументу ξ неограниченно возрастают. Неопределенность $d\xi/dM = 0/0$ в уравнении (8) при $M=0$ ликвидируется с помощью (9): $M \to 0$, $\xi/M \to \delta(0) \cdot \Pi^{1-\nu}\cdot(0)$. 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 ЗАДАННЫХ ПАРАМЕТРОВ

С. А. Новиков, В. А. Синицын, 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 трапецеидальной формы с заданными характеристиками (величина максимального давления, длительность импульса) используется пористый или трубчатый демпфер (рис. 1).

Для формирования ударного импульса трапецеидальной 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 трапецеидальному, если демпфер сжимается в пределах участка постоянного давления сжатия. При заданных характеристиках трапецеидального 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 трапецеидальной формы.
1 — заряд ВВ; *2* — ударник; *3* — пористый или трубчатый демпфер; *4* — испытываемый образец.

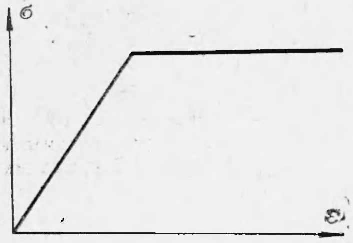

Рис. 2. Диаграмма сжатия идеального упругопластического материала.

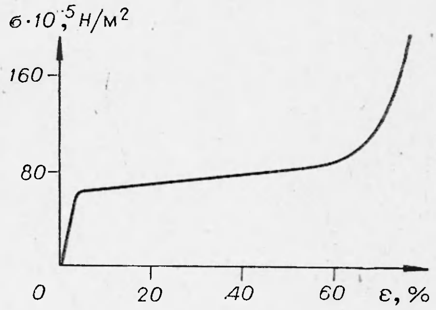

Рис. 3. Диаграмма ударного сжатия пенополистирола ПС-1, $\rho_0 = 0{,}2 \cdot 10^3$ кг/м³ [3].

устойчивости при динамическом сжатии, когда отношение высоты демпфера к его диаметру не превышает 1,2. Так как величина упругой деформации при нагрузке и релаксация при разгрузке составляют обычно незначительную часть его полной деформации ($\sim 10\%$), то оценочные расчеты характеристик нагружающего устройства можно делать для прямоугольного импульса давления.

Кинетическая энергия ударника массы m (см. рис. 1), сообщаемая ей взрывом ВВ, если образец не деформируется, расходуется на сжатие демпфера

$$I^2/2m = \sigma hS. \tag{1}$$

Здесь I — импульс, сообщаемый ударнику взрывом; σ — прочность демпфера на сжатие; h — величина сжатия демпфера; S — площадь поперечного сечения. Прочность демпфера определяется в экспериментах по динамическому сжатию. Из закона сохранения импульса

$$I = \sigma tS. \tag{2}$$

Тогда (1) можно переписать в виде

$$\sigma t^2 S/2 = mh. \tag{3}$$

При заданных прочности демпфера σ и длительности импульса давления t, когда поперечные сечения образца и демпфера совпадают, выражение (3) можно представить в виде

$$mh = \text{const}. \tag{4}$$

Из (4) следует, что требуемые характеристики нагружения можно получить, варьируя величины m и h. Минимальный вес ударника получается при максимально допустимой толщине демпфера. Для цилиндрического демпфера радиуса R из пенополистирола, деформирующегося при постоянном давлении сжатия до 50% высоты, $h = 1{,}2\ R$,

$$m_{\min} = \text{const}/1{,}2\ R.$$

Если образец массы M испытывается в течение заданного времени t на воздействие постоянной перегрузкой

$$N = \sigma S/Mg$$

(g — ускорение силы тяжести), создаваемой с помощью рассмотренного выше нагружающего устройства, то образец в конце разгона приобретает скорость

$$v = Ngt. \tag{5}$$

Закон сохранения энергии для системы, показанной на рис. 2, можно записать в виде (массой демпфера пренебрегаем)

$$I^2/2m = \sigma hS + (m+M)v^2/2. \tag{6}$$

Подставляя в (6) I и v из (2) и (6), получим

$$h = \sigma t^2 S/2m - (m+M)N^2g^2t^2/2\sigma S$$

или, при заданных величинах M, σ, t, N, S (величина σ определяется из выражения (5))

$$m^2c_2 + m(h+c_3) - c_1 = 0, \tag{7}$$

где $c_1 = \sigma t^2 S/2$; $c_2 = N^2g^2t^2/2\sigma S$; $c_3 = Mc_2$. Из (7) определяются значения h и m, при которых можно получить заданные характеристики нагружения. Для оценки необходимого количества ВВ можно воспользоваться соотношением [4]: $I = 0{,}29 m_{\text{ВВ}}\ D$, где $m_{\text{ВВ}}$ — масса ВВ, D — скорость детонации.

Поступила в редакцию
23/VIII 1979

ЛИТЕРАТУРА

1. А. П. Большиков, С. А. Новиков и др. ПМТФ, 1975, 1.
2. Ю. В. Батьков, С. И. Бодренко и др. Докл. I Всесоюзного симпозиума по импульсным давлениям. Т. 1. М., ВНИИФТРИ, 1974.
3. Б. И. Абашкин, И. Х. Забиров, В. Г. Русин. Механика полимеров, 1977, 1.
4. Ф. А. Баум, Л. П. Орленко. Физика взрыва. М., Наука, 1975.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕТОНАЦИОННЫХ ВОЛН В ГЕТЕРОГЕННОМ КОНДЕНСИРОВАННОМ ВВ

В. Ф. Лобанов

(Новосибирск)

Экспериментальный материал [1, 2] об эволюции основных параметров (давление, массовая скорость) в процессе возбуждения детонационных волн в гетерогенных ВВ наряду с большим количеством данных о стационарной детонации [3] позволяет при некоторых предположениях о структуре фронта реакции строить различные математические модели [1] для описания процессов инициирования и распространения детонационных волн. Предлагаемые методики численного моделирования [2, 4] существенным образом связаны с одномерной постановкой задачи, что ограничивает их использование для решения прикладных и исследовательских задач.

В настоящей работе принимается следующая модель явления. В области, занимаемой исходным ВВ, каким-нибудь способом возбуждается ударная волна. При достижении и превышении определенного уровня давления за фронтом ударной волны начинается разложение ВВ. В дальнейшем за ударной волной среда представляет собой смесь исходного ВВ и продуктов детонации (ПД) с массовыми концентрациями соответственно $(1-\alpha)$ и α.

Процесс описывается системой уравнений газовой динамики в эйлеровых координатах

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{\partial \rho}{\partial t}+\frac{\partial(\rho u)}{\partial x}=0,\\
&\frac{\partial(\rho u)}{\partial t}+\frac{\partial\left(p+\rho u^2\right)}{\partial x}=0,\\
&\frac{\partial\left[\rho\left(e+u^2/2\right)\right]}{\partial t}+\frac{\partial\left[\rho u\left(e+u^2/2\right)+pu\right]}{\partial x}=QL,\\
&\frac{\partial(\alpha\rho)}{\partial t}+\frac{\partial(\alpha\rho u)}{\partial x}=L,\\
&\frac{\partial\left[\rho_1\left(e+u^2/2\right)\right]}{\partial t}+\frac{\partial\left[\rho_1 u\left(e_1+u^2/2\right)+\beta\cdot pu\right]}{\partial x}=GL,\\
&L=L\left(\alpha,p,\rho_1,\rho_2,e_2\right),\\
&p_1\left(\rho_1,e_2\right)=p_2\left(\rho_2,e_2\right),\\
&e=\alpha\cdot e_1+(1-\alpha)e_2,\\
&1/\rho=\alpha/\rho_1+(1-\alpha)/\rho_2.
\end{aligned}\right\}\qquad(1)$$

Здесь x, t — координата и время; p, ρ, e, u — давление, плотность, удельная внутренняя энергия, скорость; Q — удельная калорийность ВВ при сгорании в постоянном объеме; L — функция, задающая «макрокинетику» разложения ВВ; индексами 1 и 2 обозначаются параметры, относящиеся соответственно к ПД и ВВ.

При выводе (1) использовалось условие равенства скоростей компонентов смеси и предположение о «механическом» равновесии, т. е. равенство давлений в ПД и ВВ при различных температурах (в общем случае). Коэффициент β получен из условия адиабатического поведения смеси неизменного состава при внешнем воздействии

$$\beta=\frac{1/\left(\rho_1c_1\right)^2}{\alpha/\left(\rho_1c_1\right)^2+(1-\alpha)/\left(\rho_2c_2\right)^2},$$