

УДК 533.6.01.011

ДВИЖЕНИЕ ПРОДУКТОВ ДЕТОНАЦИИ И ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ПРИ ТОЧЕЧНОМ ИНИЦИИРОВАНИИ ЗАРЯДА

А. В. Баширский, Ю. В. Коровин, Л. А. Чудов

(Москва)

Получено численное решение двумерной нестационарной задачи о движении продуктов детонации помещенного в оболочку цилиндрического заряда взрывчатого вещества при возбуждении детонации в центральной точке на торце заряда. Продукты детонации разлетаются в вакуум. Прочность оболочки не учитывается. Для продуктов детонации принято трехчленное уравнение состояния.

Рассмотрим заряд взрывчатого вещества в цилиндрической оболочке. На правом открытом торце в центральной точке возбуждается сферическая детонационная волна. Продукты детонации истекают в вакуум. После выхода детонационной волны на левый открытый торец начинается разлет продуктов детонации влево от заряда, вправо от торца по продуктам детонации идет волна разрежения.

Движение продуктов детонации описывается системой уравнений газовой динамики в эйлеровых переменных, которая замыкается трехчленным уравнением состояния, предложенным в [1]. Ранее была решена задача о движении продуктов детонации и оболочки в случае плоской детонационной волны, падающей на абсолютно жесткую стенку [2]. В работе [3] приводится решение двумерной газодинамической задачи при точечном инициировании заряда взрывчатого вещества в цилиндрической оболочке с тонкими прикрывающими торцы крышками.

В данной работе в качестве взрывчатого вещества взят пентолит (сплав тротила с ТЭН 50 : 50) с начальной плотностью $\rho_0 = 1.65 \text{ г/см}^3$, теплотой взрывчатого превращения $Q = 0.0536 \text{ Мбар см}^3/\text{г}$ и скоростью детонации $D = 0.7655 \text{ см/мксек}$. При заданном уравнении состояния продуктов детонации определяющими параметрами задачи будут

$$\mu = m / M, \lambda = L / R_0$$

Здесь m — масса заряда, M — масса оболочки, L — длина и R_0 — начальный радиус заряда. Закон движения оболочки

$$dM dW / dt = p dS n$$

Здесь W — вектор скорости элемента массы dM ; p — давление продуктов детонации на внутреннюю поверхность dS , соответствующую массе dM ; n — единичный вектор, направленный по нормали к оболочке. Задача решалась в безразмерных переменных, которые вводились так, что вид уравнений газовой динамики и уравнения состояния не менялся

$$\rho' = \rho / \rho_0, u' = u / D, v' = v / D, p' = p / \rho_0 D^2, c' = c / D \\ e' = e / D^2, r' = r / R_0, z' = z / R_0, t' = t D / R_0$$

Здесь ρ — плотность, u и v — радиальная и осевая компоненты массовой скорости продуктов детонации, p — давление, c — скорость звука, e — внутренняя энергия, r и z — радиальная и осевая координаты, t — время.

Закон движения оболочки, записанный для компонент скорости в безразмерных переменных, имеет вид (здесь и в дальнейшем штрихи опускаем)

$$dU / dt = 2pR\mu, dV / dt = 2pR\mu \operatorname{tg} \gamma$$

Здесь U и V — вертикальная и горизонтальная компоненты вектора скорости оболочки, γ — угол между вертикалью и нормалью к поверхности оболочки.

Граничное условие на оболочке имеет вид

$$W_n = w_n$$

где W_n и w_n — проекции векторов скоростей оболочки и продуктов детонации на нормаль к оболочке.

Граничные условия на фронте истекающих продуктов детонации имеют вид

$$p = 0, \rho = 0$$

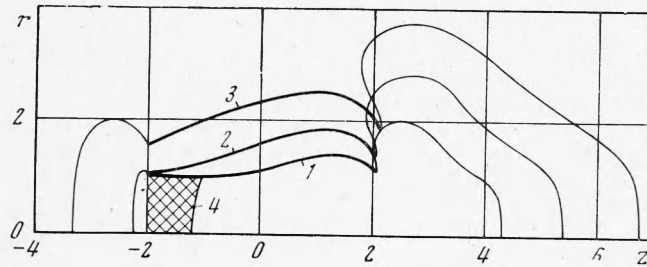
В силу осевой симметрии задачи радиальная составляющая скорости на оси равна нулю. До выхода детонационной волны на свободный торец граничные условия на фронте волны имеют вид

$$p = p_{c-j}, \rho = \rho_{c-j}, w = w_{c-j}$$

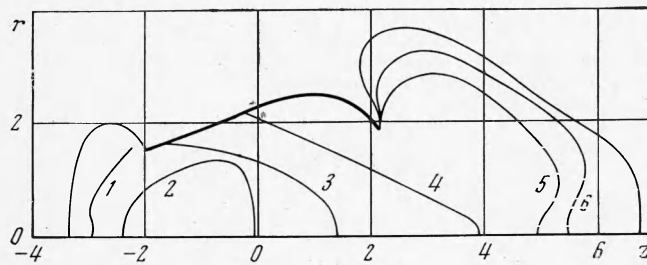
Здесь $p_{c-j}, \rho_{c-j}, w_{c-j}$ — параметры в точке Чепмена — Жуге. После выхода детонационной волны на левый торец происходит истечение продуктов детонации влево.

При задании начальных условий используется численное решение двумерной автономной задачи о движении продуктов детонации при точечном инициировании [4].

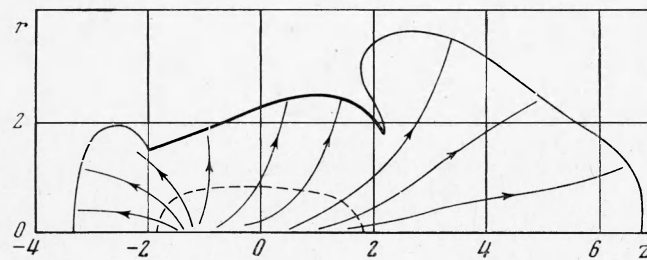
Конечно-разностная аппроксимация уравнений газовой динамики выполнена при помощи явной двухшаговой схемы второго порядка точности. Метод расчета и схема подробно изложены в работе [5]. Расчеты проведены на ЭЦВМ БЭСМ-6 на сетке 50×30 .



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

Положения оболочки и газового облака в различные моменты времени представлены на фиг. 1 ($\lambda = 4, \mu = 2$). Линии 1—3 соответствуют моментам времени $t = 2.9, 4.38, 6.12$. Линией 4 показан фронт детонационной волны. Интенсивное истечение продуктов детонации приводит к быстрому падению давления продуктов детонации в торцевой зоне, поэтому часть оболочки, близкая к торцу, получает относительно меньшие ускорения и значительно отстает от центральной части.

Кривизна фронта сферической детонационной волны по мере ее движения по заряду уменьшается, и при выходе на свободный торец волну с большой степенью точности можно считать плоской. Облако продуктов детонации на правом торце слабо распространяется влево от торца, т. е. имеет место небольшое «затекание» продуктов дето-

нации на оболочку. Изобары при $t = 6.12$ в момент развитого движения оболочки представлены на фиг. 2. Линия 1 соответствует давлению $p = 0.0015$, линии 2 — 6 — давлениям $p = 0.004, 0.0025, 0.0015, 0.0002, 0.000001$ соответственно. Картина изобар отражает взаимодействие торцовых и боковых волн разрежения. На фиг. 3 представлены линии тока продуктов детонации в тот же момент времени.

Пунктиром показана звуковая линия ($c = w$). Результаты свидетельствуют о наличии небольшой дозвуковой зоны в центральной области течения, основная область течения является сверхзвуковой. Дозвуковая зона по мере развития процесса уменьшается.

Авторы благодарят В. А. Одинцова за помощь в работе и ценные советы.

Поступила 1 III 1974

ЛИТЕРАТУРА

1. Walker W. A., Sternberg H. M. The Chapman-Jouguet isentrope and the underwater shockwave performance of pentolite. Proc. 4-th Sympos. (Internat.) Detonat. White Oak, Md. 1965, Washington, Office Naval Res., 1967.
2. Каширский А. В., Коровин Ю. В., Одинцов В. А., Чудов Л. А. Численное решение двумерной нестационарной задачи о движении оболочки под действием продуктов детонации. ПМТФ, 1972, № 4.
3. Гольдин В. Я., Калиткин Н. Н., Левитан Ю. Л., Рождественский Б. Л. Численный расчет уравнений двумерной газодинамики с детонацией. В сб. «Численные методы механики сплошной среды», т. 4, № 3. Новосибирск, ВЦСО АН СССР, 1973.
4. Коровин Ю. В., Чудов Л. А. Двумерная автомодельная задача о движении продуктов детонации при точечном инициировании. Всесоюзная школа по теоретическим исследованиям численных методов механики сплошных сред. Тезисы докладов, Звенигород, 1973. М., Ин-т проблем механ. АН СССР, 1973.
5. Каширский А. В., Коровин Ю. В., Чудов Л. А. Явный разностный метод для расчета двумерных нестационарных задач о движении продуктов детонации. В сб. «Вычислительные методы и программирование», вып. 19, М., Изд-во МГУ, 1972.

УДК 539.374

РЕШЕНИЕ ОДНОЙ ЗАДАЧИ О ДВИЖЕНИИ УПРУГОВЯЗКИХ МАТЕРИАЛОВ

И. М. Горбунов

(Москва)

Дано общее решение задачи о движении тела Максвелла в пластомере плоскопараллельного сдвига при квазистатическом сосредоточенном воздействии. При решении использовано физико-математическое моделирование микроструктуры и процессов ползучести распределенной массы упруговязких материалов.

При исследовании физико-механических свойств упруговязких материалов и их характеристик, таких как коэффициент вязкости, модуль сдвига и время релаксации, часто используют пластомер плоскопараллельного сдвига [1,2]. Пластомер представляет собой систему, состоящую из двух жестких стальных пластин, между которыми заключают исследуемую массу материала (фигуру). Сдвиговую силу создают постоянным грузом P посредством стальной струны и направляющего шкива с моментом инерции I и внешним радиусом R . При моделировании микроструктуры и процессов ползучести упруговязких материалов в большинстве случаев не учитывают инерцию распределенной массы образца, инерцию присоединенных масс, локальную ползучесть [2-6].

Попытка учесть инерцию распределенной массы в уравнении движения тела Максвелла при сосредоточенной сдвиговой силе предпринята в [7]. Предел функции ползучести (23) в [7] при условии, что коэффициент вязкости $\eta \rightarrow \infty$, не согласуется с решением аналогичной задачи [8] для абсолютно упругой системы.

В связи с релаксационными и колебательными процессами внутри движущегося материала (несмотря на то что груз P постоянен) сила на движущейся пластине применяемого пластомера в зависимости от характера этих процессов может быть различной. При анализе конкретных экспериментальных данных эти явления не учитывались.