

давление следует устанавливать по равенству динамической жесткости ПВ и инертной среды.

Установленная закономерность позволяет сильно сократить число измерений, нужное при экспериментальном исследовании новых ВВ. Для нахождения прямой  $\lg p_{y.в} - \lg \rho_c$  достаточно провести всего 2—3 измерения, используя хорошо изученные инертные вещества, например аргон при давлении 1 и 20 атм и плексиглас нормальной плотности. Далее, помещая на эту прямую данные о веществах с различными начальными плотностями и известными ударными адиабатами, можно численным расчетом получить детальное описание соответствующих точек, что полностью заменяет эксперименты с этими веществами.

Поступила 4 V 1979

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Жерноклетов М. В., Зубарев В. Н., Телегин Г. С. Изэнтропы расширения продуктов взрыва конденсированных ВВ.— ПМТФ, 1969, № 4.
2. Allan I. W. S., Lambourn B. D. An equation of state of detonation products at pressures below 30 kilobars.— In: Proc. 4th symp. on detonation. White Oak, Maryland, 1965.
3. Куропатенко В. Ф. Уравнение состояния продуктов детонации конденсированных ВВ. ЧММСС, 1977, т. 8, № 6.

УДК 533.6.011

### СТАЦИОНАРНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ТЕЛА УДАРНОЙ ВОЛНОЙ

Е. И. Забабахин, Н. Е. Забабахин

(Челябинск)

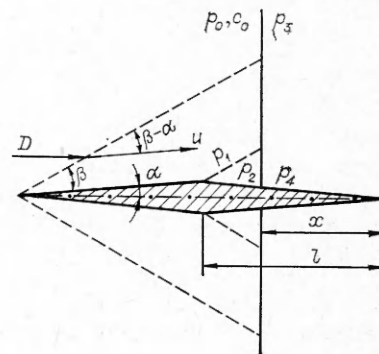
Рассматривается возможность стационарного движения хорошо обтекаемого тела вместе с фронтом ударной волны в газе, на котором тело удерживается, как поплавков на воде (что существенно отличается от метательного действия волны на обтекаемые ею препятствия).

Выход на этот режим может быть различным, и общего описания он не имеет (посторонний толчок тела перед приходом волны, импульс от самой волны и т. п.).

Движение тела относительно исходного газа будет сверхзвуковым, и от него пойдут косые волны уплотнения и разрежения. Роль их можно учесть для случая поплавка, имеющего форму крыла с профилем в виде узкого ромба. Схема движения показана на фигуре, где сплошной линией обозначен фронт основной ударной волны, штриховыми — слабые волны сжатия и разрежения (характеристики) от профиля.

В системе координат, связанной с поплавком, движение стационарно, газ набегает слева со сверхзвуковой скоростью  $D > c_0$ .

От вершины клина пойдет ударная волна со скоростью звука  $c_0$  относительно газа перед ним. На волне сохраняется тангенциальная скорость, т. е.



$$D \cos \beta = u \cos (\beta - \alpha).$$

Нормальная скорость меняется на величину

$$v_n = D \sin \beta - u \sin (\beta - \alpha) = D \sin \beta [1 - \operatorname{tg}(\beta - \alpha) / \operatorname{tg} \alpha].$$

Давление увеличивается на

$$p_1 - p_0 = \rho_0 D \sin \beta \cdot v_n = \rho_0 D^2 \sin^2 \beta [1 - \operatorname{tg}(\beta - \alpha) / \operatorname{tg} \alpha].$$

Подставив сюда  $D = Mc_0$  ( $M$  — число Маха для основной волны),

$$\rho_0 c_0^2 = \gamma p_0, \quad \sin \beta = 1/M,$$

после преобразований получим для малых  $\alpha$

$$p_1 = p_0 \left( 1 + \frac{\gamma M^2}{\sqrt{M^2 - 1}} \alpha \right).$$

Выпишем давления в других областях. Аналогично тому, как для  $p_1$ , получаем

$$p_2 = p_0 \left( 1 - \frac{\gamma M^2}{\sqrt{M^2 - 1}} \alpha \right).$$

Давление за основной волной, выраженное через ее скорость (или число  $M$ ), имеет вид  $p_3 = p_0(M^2(h+1) - 1)/h$ , где  $h = (\gamma + 1)/(\gamma - 1)$ .

На хвостовую часть поплавок  $x$  действует давление  $p_4$ , отличающееся от  $p_3$  из-за возмущения слабыми косыми волнами на величину порядка  $p_2 - p_0 = -p_0 \gamma M^2 \alpha / \sqrt{M^2 - 1}$ , т. е.

$$p_4 = p_0 \frac{M^2(h+1) - 1}{h} - k p_0 \frac{\gamma M^2}{\sqrt{M^2 - 1}} \alpha,$$

где  $k$  — число порядка единицы (для слабых волн  $k = 1$ ). Условие равновесия ромба в направлении движения есть  $p_1 l \alpha - p_2(l-x)\alpha - p_4 x \alpha = 0$ , откуда  $x/l = (p_1 - p_2)/(p_4 - p_2)$  или

$$\frac{x}{l} = \frac{\frac{2\gamma M^2}{\sqrt{M^2 - 1}} \alpha}{\frac{M^2(h+1) - 1}{h} - 1 - (1-k) \frac{\gamma M^2}{\sqrt{M^2 - 1}} \alpha}.$$

Так как  $\alpha \ll 1$ , то члены с  $\alpha$  в знаменателе можно отбросить, после чего в результате упрощений получаем

$$\frac{x}{l} = \frac{(\gamma + 1) M^2}{(M^2 - 1)^{3/2}} \alpha.$$

Уменьшая  $\alpha$ , можно всегда сделать  $x/l < 1$ , что и будет означать возможность стационарного движения. При случайном погружении ромба в волну больше чем на  $x$  (в том числе даже несколько глубже миделя) он будет вытолкнут обратно, при случайном всплытии — погрузится назад.

От заваливания крыла на бок можно избавиться, например, согнув его в кольцо вокруг горизонтальной оси. Отметим, что остается еще неясным вопрос о раскачке случайных колебаний, т. е. о колебательной неустойчивости.

Условия стационарного движения выполняются сравнительно легко, например, для волны в воздухе с избыточным давлением в 1 атм ( $p_3 =$

$= 2$  атм,  $M^2 = 13/7$ ) получается  $x/l = 5,6 \alpha$ , т. е. годится ромб с  $\alpha < < 1/5,6 \approx 10^\circ$ .

Заметим, что старт кольца тем легче, чем меньше его плотность, для стационарного же движения вес его несуществен.

УДК 532.593; 539.374

## ПРОЧНОСТЬ АЛЮМИНИЯ ПРИ СЖАТИИ В УДАРНОЙ ВОЛНЕ

*С. М. Бахрах, А. Г. Иванов, Н. П. Ковалев, В. Н. Минеев,  
Г. П. Симонов, Е. С. Тюнькин, Н. П. Хохлов*

(Москва)

Затухание ударных волн (УВ) в металлах изучается в ряде работ [1—8] с целью получения информации о прочности веществ за фронтом УВ. Ряд экспериментов по высокоскоростному деформированию металлов не удается описать в рамках упругопластической модели с постоянным пределом текучести, для интерпретации экспериментальных данных привлекаются дислокационные модели [9—13].

В данной работе экспериментально и численно исследуются прочностные свойства алюминиевого сплава Д16 при давлениях ударного сжатия от 8 до 20 кбар. Исследуется возможность описания экспериментальных данных по затуханию упругого предвестника и пластической волны на основе модели упругопластического тела и модели, основанной на представлениях динамики дислокаций.

**1. Постановка опытов и методика эксперимента.** Плоские УВ в мишени толщиной  $l = 1-40$  мм создавались путем соударения с ней ударника толщиной  $\Delta = 0,9$  мм, со скоростью  $w = 275$  м/с. Разброс величины  $w$  от опыта к опыту в среднем составлял  $\sim 10\%$ . Ударник и мишень изготовлялись из сплава Д16 в состоянии поставки. Соударение осуществлялось в баллистической ударной трубе, аналогичной описанной в работе [14]. Параметры одномерных УВ в мишени изучались методом емкостного [15, 16], кварцевого [17] и манганинового [18, 19] датчиков. Разновременность соударения в области диаметром 70 мм не превышала 0,13 мкс, в области установки датчиков  $\sim 0,02$  мкс.

Для регистрации профиля давления использовались кварцевые диски диаметром 10 и 20 мм, толщиной 2 и 4 мм. Кварцевый датчик включался в короткозамкнутую цепь с сопротивлением нагрузки  $R = 91$  Ом. Время регистрации составляло 0,35 и 0,7 мкс и соответствовало времени пробега  $T$  упругой УВ по толщине кварца. Пьезомодуль кварца  $X$ -среза принимался равным  $2,04 \cdot 10^{-8}$  Кл/кбар·см<sup>2</sup> при  $p_{n1} \leq 6$  кбар и  $2,15 \cdot 10^{-8}$  Кл/кбар·см<sup>2</sup> в диапазоне 9—16 кбар [20]. Записи с кварцевого датчика несут информацию о распределении давления в волне с временным разрешением  $\sim 0,03$  мкс, что позволяет выявить структуру упруго-пластических волн.

Манганиновый датчик давления представлял собой плоскую прямоугольную решетку, намотанную из манганиновой проволоки диаметром 0,05 мм (марки МНМцЗ-12 ГОСТ 492-52) на площади  $10 \times 10$  мм<sup>2</sup>. Толщина датчика составляла 0,15 мм, что соответствует временному разрешению 0,25 мкс. Пьезорезистивный коэффициент манганина принимался равным  $2,3 \cdot 10^{-3}$  кбар<sup>-1</sup> при  $p_n \leq 15$  кбар и  $2,7 \cdot 10^{-3}$  кбар<sup>-1</sup> при  $p_n > 15$  кбар [19].