

## ЛИТЕРАТУРА

1. С. К. Годунов, Я. М. Каждан, В. А. Симонов. ПМТФ, 1969, 6.
2. С. Л. Соболев. Тр. сейсмологического института. № 41, 1934.
3. В. А. Симонов. ФГВ, 1971, 7, 2.
4. Теоретическое и экспериментальное исследования явления кумуляции. Механика. Сб. перев., № 4, 1953.
5. Я. М. Каждан. ПМТФ, 1972, 3.
6. М. Р. Тулип. Проблемы гидродинамики и механики сплошной среды. М., «Наука», 1969.
7. А. А. Дерибас и др. ФГВ, 1971, 7, 1.

УДК 534.222.2

## О МЕТАНИИ ПЛОСКИХ ПЛАСТИН СЛОЯМИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВВ

*Г. Е. Кузьмин, В. И. Мали, В. В. Пай*  
(Новосибирск)

Для измерения параметров летящей пластины в схеме метания скользящей детонационной волной применяются многочисленные методы: съемка пластины на рентгене [1], теневая съемка на СФР [2], съемка пластины на СФР в отраженном свете [3] и различные электроконтактные методы. Как правило, эти методы либо накладывают ограничения на размер заряда ВВ, либо дают значительные погрешности.

В настоящей работе предлагается методика, для которой указанные ограничения не являются принципиальными, она позволяет измерять как предельные параметры метаемой пластины (скорость метания  $v$  и угол поворота  $\beta$ ), так и эти же параметры на начальном участке разгона. Кроме того, появляется возможность измерять параметры метаемой пластины в случае применения больших зарядов ВВ, которые встречаются в большинстве прикладных задач.

### Методика экспериментов

На рис. 1 показана схема используемого устройства. Под пластиной 1, на которой находился слой ВВ 2, закреплялись два отрезка нихромовой проволоки 3 и 4 толщиной 0,1 мм. Первый отрезок 3 натягивался параллельно пластине на небольшом расстоянии от нее, отрезок 4 — под углом  $\alpha$  к пластине. В точке  $O$  проволоки находились в контакте с пластиной. В процессе метания пластина налетала на проволоки, и длины тех частей проволок, которые еще не соприкоснулись с пластиной, уменьшались с течением времени. Естественно, пропорционально этим длинам уменьшались и сопротивления проволок. Пусть  $l_1(t)$  и  $l_2(t)$  — длины частей проволок, не вступивших в контакт с пластиной, а  $R_1(t)$  и  $R_2(t)$  — соответственно их сопротивления. При стационарном режиме метания и надлежащем выборе угла  $\alpha$

зависимости  $l_1(t)$  и  $l_2(t)$ , а следовательно  $R_1(t)$  и  $R_2(t)$ , однозначно определяют форму средней линии пластины.

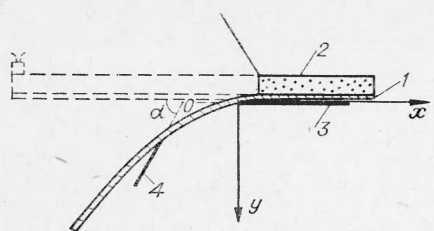


Рис. 1. Схема измерительного устройства.

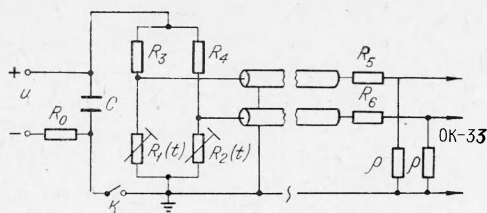


Рис. 2. Электрическая схема.

Для определения зависимостей  $R_1(t)$  и  $R_2(t)$  использовалась схема, приведенная на рис. 2. Перед экспериментом конденсатор  $C$  заряжался от выпрямителя. С началом процесса происходило замыкание ключа  $K$  и начинался разряд конденсатора через проволоки. Сопротивления проволок  $R_1$  и  $R_2$  были много меньше, чем сопротивления  $R_3, R_4, R_5, R_6$ , а в свою очередь сопротивления  $R_3$  и  $R_4$  выбирались много большими  $\tau/C$ , где  $\tau$  — время процесса.

Таким образом, ток, протекающий через проволоки, можно считать постоянным в течение всего времени процесса, а падения напряжений на них пропорциональными их сопротивлениям. Эти падения напряжений на проволоках через согласующие цепи подавались на вход двухлучевого импульсного осциллографа ОК-33, с экрана которого производилась фотосъемка осциллограмм. Типичная осциллограмма приведена на рис. 3.

Для определения по полученным записям параметров метания были использованы следующие соображения. В системе отсчета, связанной с детонационным фронтом, картину метания можно считать стационарной, поскольку в экспериментах были выполнены следующие условия: ширина заряда в несколько раз превосходила его толщину, а длина — ширину.

Очевидно, длины не вступивших в контакт с пластиной кусков проволок однозначно связаны с формой пластины следующим образом:

$$-x = l_{01} - l_1(t) + |l_{02} - l_2(t)| \cos \alpha,$$

$$y = [l_{02} - l_2(t)] \sin \alpha,$$

где  $l_{01}$  и  $l_{02}$  — начальные длины проволок;  $x$  и  $y$  — координаты пласти-

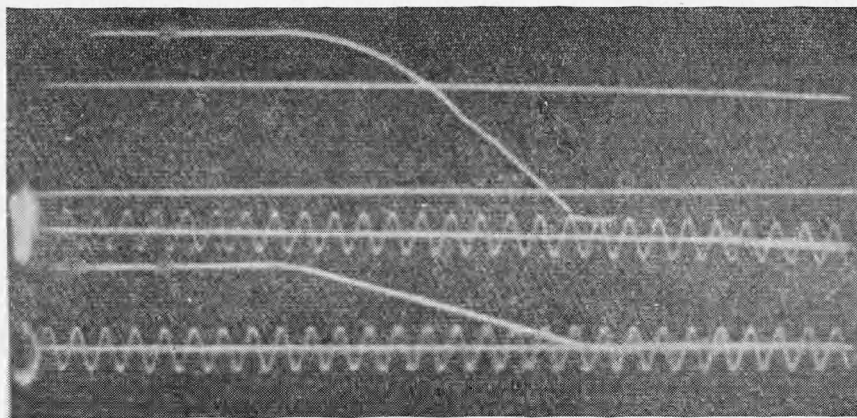


Рис. 3. Типичная осциллограмма. Верхний луч — зависимость  $R_2(t)$ , нижний —  $R_1(t)$ . Синусоида имеет период колебаний 1 мкс.

ны в системе отсчета, движущейся со скоростью детонационного фронта (см. рис. 3).

Величина угла  $\alpha$  выбиралась из следующих соображений: 1) проволоки должны сохранять устойчивость, для чего скорость точки контакта пластины — проволока должна превышать скорость звука в проволоке; 2) угол  $\alpha$  должен превышать предельный угол поворота пластины. Несмотря на то, что на начальном участке разгона пластины первое из условий обычно не выполняется, проволока не успевает сместиться заметным образом от своего первоначального положения перед точкой контакта. Прямолинейные следы, оставленные проволоками на метаемой пластине, указывают на справедливость данного утверждения. В частности, при метании пластины низкоскоростными ВВ типа аммонит и смесей аммонита с селитрой первое из условий не выполняется на проволоке 3 в течение всего времени регистрации и тем самым длина рабочего участка проволоки ограничена 100—150 мм. При необходимости длину рабочего участка можно увеличить, используя составную проволоку. Таким образом, используя описанное соотношение, можно определить положение пластинки в любой момент времени.

### Результаты экспериментов

Была произведена серия экспериментов с гексогеном, аммонитом, со смесью аммонит+селитра 50/50. Параметры режимов метания пластины указаны в таблице. Из экспериментов следует, что величина  $r$  действительно является определяющим параметром метания.

ВВ	$\delta_0$ (мм)	$\delta_1$ (мм)	$\rho_0$ (г/см <sup>3</sup> )	$\rho_1$ (г/см <sup>3</sup> )	$r$	ВВ	$\delta_0$ (мм)	$\delta_1$ (мм)	$\rho_0$ (г/см <sup>3</sup> )	$\rho_1$ (г/см <sup>3</sup> )	$r$	
Гексоген	10,5	0,87	1,0	7,8	1,55	Аммонит	20,5	—	—	—	1,4	
	15	0,87	1,0	—	2,2		21	—	—	—	—	1,4
	15,5	0,87	1,0	—	2,3		36	2,1	—	—	—	1,82
	11	1,53	1,0	—	0,92		35,5	2,1	—	—	—	1,8
	6	1,53	1,0	—	0,49		45,5	2,1	—	—	—	2,3
	11	—	—	—	0,9		45,5	2,1	—	—	—	2,3
	6	—	—	—	0,49		16	3	0,83	—	—	0,57
	16	—	—	—	1,33		46	1,53	0,83	7,8	—	3,2
	16	—	—	—	1,1		Аммонит + селитра 50/50	15	2	0,85	7,8	0,82
	36	2,1	1,0	—	2,2			20	2	—	—	—
10,5	3	1,0	—	0,45	20	2		—	—	—	1,10	
36	1,53	—	—	3,0	25	2		—	—	—	1,63	
					25	2		—	—	—	1,63	
Аммонит	16	1,53	0,83	—	1,1	26	3	—	—	—	0,9	
	10,5	1,53	—	—	0,72							
	11	1,53	—	—	0,72							

В теоретических работах [4, 5] произведены расчеты конфигурации метаемых пластин на ЭВМ в предположении, что продукты взрыва являются политропным газом, а материал пластины есть идеальная несжимаемая жидкость; детонация соответствует условию Чепмена-Жуге. После получения и обработки осциллограмм для каждого режима метания были построены конфигурации метаемых пластин. Затем для этих же режимов были произведены расчеты конфигурации пластин по схеме, описанной в работе [5]. Оказалось, что если показатель политропы продуктов взрыва для гексогена положить равным 2,8, для аммонита — 2,5, для смеси аммонит+селитра 50/50 — 2,2, то во всем диапазоне значений расчетные кривые совпадают с хорошей точностью с экспериментом, как видно из рис. 4, где приводится сравнение результатов эксперимента и расчета для исследованных ВВ.

Заметим, что полученные значения показателей политропы продуктов взрыва являются некоторыми интегральными характеристиками газа. Хорошее совпадение этого интегрального показателя гексогена с показателем политропы продуктов взрыва, полученным в работе [6],

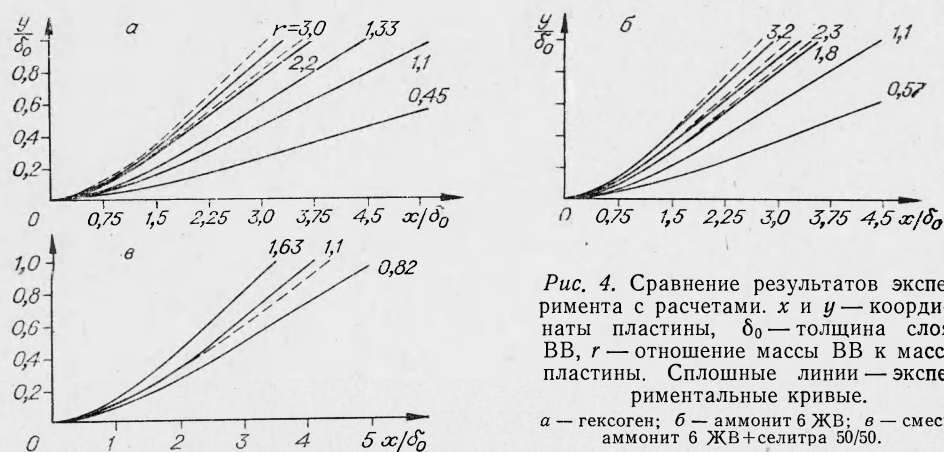


Рис. 4. Сравнение результатов эксперимента с расчетами.  $x$  и  $y$  — координаты пластины,  $\delta_0$  — толщина слоя ВВ,  $r$  — отношение массы ВВ к массе пластины. Сплошные линии — экспериментальные кривые.

$a$  — гексоген;  $b$  — аммонит 6 ЖВ;  $в$  — смесь аммонит 6 ЖВ + селитра 50/50.

следует, по-видимому, объяснять тем, что заметное влияние на форму пластины оказывает лишь область очень высоких давлений, а в этой области показатель политропы еще не сильно отличается от измеренного непосредственно за фронтом детонации.

Показатели политропы продуктов взрыва для аммонита и смесей аммонит + селитра 50/50 ранее, по-видимому, не определялись.

При сварке металлов [7] слои ВВ значительной площади используются для метания привариваемых образцов, имеющих плоскую, цилиндрическую, или более сложную форму. Как показано в работе [8], для процесса сварки взрывом принципиальное значение имеет определение параметров соударения  $v_k$  и  $\gamma$ , которые существенно зависят от характеристик используемых ВВ. Большинство исследователей процесса сварки взрывом рассчитывали параметры соударения по простым одномерным схемам, в которых показатель политропы продуктов взрыва выбирался равным 3, и предполагалось, что пластина успевает набрать максимальную скорость. При этом расчетные величины заметно отличались от определенных экспериментально, и исследователям приходилось вводить эмпирические коэффициенты.

Проведенные исследования позволяют использовать различные показатели  $k$ , определенные по изложенной выше методике в условиях, максимально приближенных к сварке взрывом. Кроме того, возможно учесть влияние величины зазора, пользуясь расчетами на ЭВМ, что весьма важно для типичных условий сварки взрывом, когда используются низкоскоростные ВВ типа смесей аммонит + селитра, для которых толщина слоя ВВ обычно существенно превышает расстояние между пластинами и соударение происходит в условиях недоразгона.

В случае же, когда пластина успевает набрать максимальную скорость, определение угла по формуле, вытекающей из расчета по схеме Гарни [9],

$$\beta = \frac{r}{r+2} \sqrt{\frac{3}{k^2-1}},$$

в которой для гексогена  $k=2,8$ , для аммонита  $k=2,5$ , для аммонита + селитра 50/50  $k=2,2$ , позволяет определить скорость соударения с точностью не хуже 15%.

Поступила в редакцию  
20/III 1973

## ЛИТЕРАТУРА

1. Р. Шалль. Физика детонации. В сб. «Физика быстропротекающих процессов». М., «Мир», 1971.
2. А. А. Дерибас, В. М. Кудинов и др. ФГВ, 1967, 3, 2.
3. G. Cowan, A. Balchan. Phys. Fluids, 1965, 8, 10.
4. R. Hill and D. Pack. Proceedings of the Royal Soc., 1947, Sec. A, 1027.
5. А. А. Дерибас, Г. Е. Кузьмин. ПМТФ, 1970, 1.
6. Н. М. Кузнецов, К. К. Шведов. ФГВ, 1967, 3, 2.
7. А. А. Дерибас. Физика упрочнения и сварки взрывом. Новосибирск, «Наука», 1972.
8. А. А. Дерибас, В. М. Кудинов, Ф. И. Матвеенков. ФГВ, 1967, 3, 4.
9. R. W. Gunguey. B. R. L. Report, 1943, 405.

УДК 532.593

## О ЗАТУХАНИИ ПЛОСКОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ УДАРЕ

*Э. И. Андрианкин, М. М. Кононенко*  
(Москва)

Распространение плоской ударной волны при сверхскоростном ударе пластины по полупространству изучалось в ряде работ [1—11]. Поэтому ограничимся рассмотрением вопроса о выборе эффективного масштаба затухания амплитуды давления на фронте волны при разных плотностях ударника  $\rho_0$  и преграды  $\rho_1$ . Исследуем также распределение массы, импульса и энергии газа после выхода ударной волны на тыльную сторону преграды.

### Определение масштаба затухания ударной волны

При ударе с большими скоростями вещество за фронтом ударных волн, возникающих в месте соударения, превращается в плазму, движение которой описывается уравнениями газовой динамики:

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial t} - \frac{\partial u}{\partial m} &= 0, & \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial m} &= 0, \\ \frac{\partial}{\partial t} \left( e + \frac{u^2}{2} \right) + \frac{\partial pu}{\partial m} &= 0, & e &= \frac{pV}{\gamma - 1}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $V$  — удельный объем;  $u$  — массовая скорость;  $e$  — внутренняя энергия;  $m$  — массовая лагранжева координата.

Начальная стадия соударения, пока ударная волна, идущая по пластине толщиной  $h_0$ , не дойдет до свободной границы при  $t=t_0$  и возникающая после этого волна разрежения не догонит контактный разрыв при  $t=t_1$ , происходит при постоянной энтропии отдельно справа и слева от контактного разрыва, даже если материалы пластины и преграды разные. Движение вещества при  $t \leq t_1$  определяется соотношениями на фронте ударных волн, идущих по пластине и преграде, условиями равенства скоростей и давлений на контактном разрыве и соотношениями в волне Римана. Скорость ударной волны  $D_1$ , идущей по преграде, остается постоянной до момента времени  $t=t_2$ , пока волна разрежения не догонит фронт сильного разрыва (см. рисунок). После этого волна