

М. А. Лебедев

### О ВЛИЯНИИ БОКОВОЙ РАЗГРУЗКИ НА РАДИАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСЕВОГО ИМПУЛЬСА ВЗРЫВА ЦИЛИНДРА ВВ

При экспериментальном исследовании процессов, протекающих при ударном нагружении различных материалов, широко используются пластины, разогнанные с помощью цилиндрических зарядов ВВ, которое для повышения степени отбора энергии вместе с пластиной помещают в цилиндрическую оболочку (корпус) и инициируют определенным образом [1, 2]. При этом известно [3], что для сохранения плоской передней (ударяющей) поверхности пластины необходимо соответствие ее толщины и радиального распределения осевого импульса взрыва, который из-за боковой разгрузки продуктов взрыва (ПВ) уменьшается в направлении от оси заряда к периферии. Но определение распределения импульса по радиусу в настоящее время сложно, а имеющиеся в литературе экспериментальные данные немногочисленны и противоречивы [4—8].

Чтобы несколько восполнить этот пробел, были проведены эксперименты по определению радиального распределения осевого импульса взрыва цилиндра ВВ, инициируемого в направлении от метаемой пластины. Целесообразность именно этого способа инициирования обусловлена возможностью безоткольного разгона толстых пластин и, как следствие, возможностью определения полного импульса взрыва, включающего в себя не только импульс волнового нагружения, но и последующего адиабатического расширения ПВ.

Эксперименты проводились с устройством, схематически показанным на рис. 1. Метаемый индикатор 7, окруженный обоймой 6, цилиндрическая обложка 2 и тыльная накладка 1 выполнялись из Ст. 3. Цилиндр 3 изготовлялся из ВВ состава ТГ 40/60 плотностью  $1,68 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Система инициирования 4 представляла собой 12-точечную детонационную разводку, состоящую из прутков ВВ, расположенных в матрице из оргстекла толщиной 5 мм и одним концом выходящих на торец цилиндра ВВ. Другие концы прутков объединены в общее начало, примыкающее к электродетонатору 5. Диаметр индикатора 7 составлял 10, 30, 50, 70 и 90 мм. Степень боковой разгрузки ПВ задавалась толщиной  $t$  в корпусной части  $K$  и толщиной  $\Delta$  в ствольной части  $C$  оболочки.

Скорость индикатора регистрировалась с помощью электроконтактной методики и импульсного рентгенографирования. Предельная относительная погрешность определения скорости не превышает  $\pm 2,5$  %. Сущность метода заключается в том, что взамен метаемой пластины по оси заряда располагаются поочередно индикаторы — диски 7 одинаковой высоты и различного диаметра. Диаметр наибольшего диска равен диаметру пластины; все остальные индикаторы окружались обоймой. Последняя сдерживает движение ПВ вперед и обеспечивает радиальную деформацию, преимущественно тыльной части индикатора, близкой к деформации соответствующей части пластины. В дальнейшем обойма при разгоне индикатора отстает от него.

Вначале исследовалось влияние толщины корпусной части  $K$  на величину и радиальное распределение импульса. На рис. 2 приведены зависимости скорости индикаторов от их радиуса  $u(r)$ . При этом полный импульс  $I$  индикатора  $r$  можно выразить зависимостью

$$I(r) = \mu \pi r^2 u(r),$$

где  $\mu = m/\omega = \text{const}$  — масса, приходящаяся на единицу площади попереч-

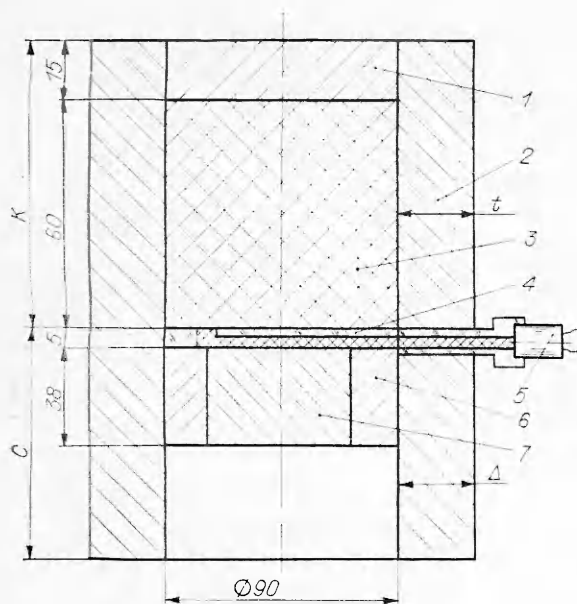


Рис. 1. Схема экспериментального устройства.

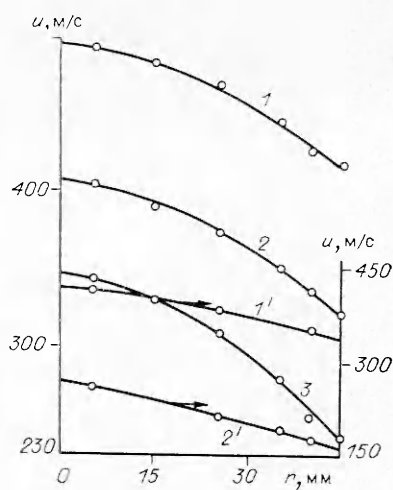


Рис. 2. Зависимость скорости индикатора от его радиуса.

1 —  $t = \Delta = 15$  мм; 1' —  $t = 15$  мм,  $\Delta = 0$ ; 2 —  $t = \Delta = 7,5$  мм; 2' —  $t = \Delta = 0$ ; 3 —  $t = 0$ ,  $\Delta = 15$  мм.

ного сечения  $\omega$  индикатора общей массой  $m$ . С другой стороны

$$I(r) = 2\pi \int_0^r i(r) r dr$$

( $i(r)$  — удельный импульс на радиусе).

Приравнявая выражения для  $I(r)$  и дифференцируя по  $r$ , получим зависимость

$$i(r) = \mu \left[ u(r) + \frac{r}{2} \frac{\partial u(r)}{\partial r} \right],$$

которая позволяет на основании экспериментальных кривых  $u(r)$  (рис. 2) получить зависимости  $i(r)$ . Из рис. 3 видно, что с увеличением толщины корпусной части оболочки значительно возрастают скорость, удельный импульс и наблюдается более плавное распределение импульса по радиусу.

Для выяснения влияния ствольной части  $C$  оболочки на величину и распределение импульса дополнительно проведено две серии опытов

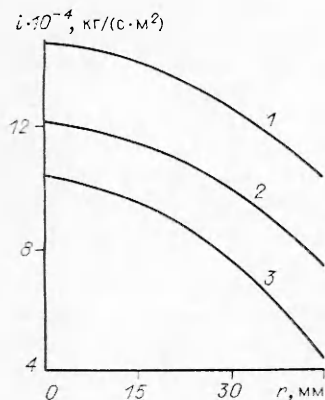


Рис. 3. Радиальное распределение импульса.

1 —  $t = \Delta = 15$  мм; 2 —  $t = \Delta = 7,5$  мм; 3 —  $t = 0$ ,  $\Delta = 15$  мм.

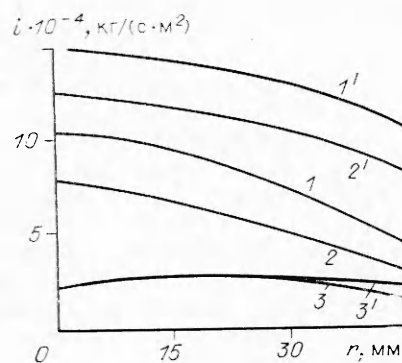


Рис. 4. Радиальное распределение импульса.

1 —  $t = 0$ ,  $\Delta = 15$  мм; 2 —  $t = \Delta = 0$ ; 3, 3' — разность 1 и 2; 1' —  $t = \Delta = 15$  мм; 2' —  $t = 15$  мм,  $\Delta = 0$ .

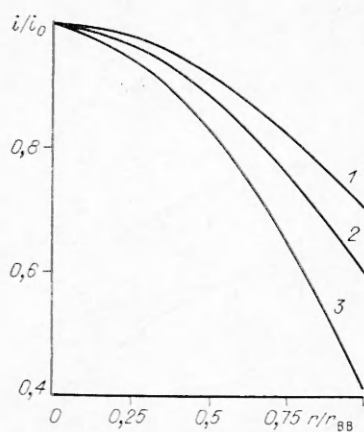


Рис. 5. Радиальное распределение импульса.  
 1 —  $t = \Delta = 15$  мм; 2 —  $t = \Delta = 7,5$ ; 3 —  $t = 0$ ,  $\Delta = 15$  мм.

с устройством без ствольной части  $C$ , результаты которых обработаны аналогично первым и приведены на рис. 2, 4. При этом на рис. 4 для удобства сравнения изображены также зависимости 1 и 2, приведенные ранее на рис. 3.

Из сравнения этих зависимостей видно, что ствол заметно влияет на величину удельного импульса и на распределение его по радиусу. Так, разноимпульсность устройства  $\left( \delta_i = \frac{i_{r=0} - i_{r_{\max}}}{i_{r=0}} \right)$  составляет для бескорпусного устройства ( $t = 0$ ) без ствола  $\delta_i = 0,64$ , а со стволом ( $\Delta = 15$  мм) —  $\delta_i = 0,59$ ; для устройства с корпусом толщиной 15 мм и без ствола  $\delta_i = 0,34$ , а со стволом ( $\Delta = 15$  мм)  $\delta_i = 0,31$ . При этом ствол позволяет сообщить пластине дополнительный импульс с распределением, слабо меняющимся

по радиусу, и потому несколько уменьшает разноимпульсность.

Для проверки полученных результатов проведены сравнительные опыты, в которых оболочка 2 выполнялась цельной с  $t = \Delta = 10$  и 15 мм. Идеальной была бы проверка с использованием материала с малой прочностью, например, свинца. На практике это трудно, так как даже при инициировании ВВ в направлении от пластины, значительно ослабляющем ударные волны в теле и уменьшающем градиент давления за фронтом, в свинце возможны большие деформации и отколы. Поэтому экспериментальная проверка проводилась на телах, выполненных из стали с толщиной 15 и диаметром 90 мм как равнотолщинных, так и спрофилированных указанным ниже образом. При этом переход с толщины 38 мм на 15 мм был обусловлен тем, что, как показали опыты, прочность стального тела диаметром 90 мм и толщиной 38 мм позволяет ему выдержать имеющуюся разноимпульсность без существенных осевых прогибов, а также то, что при одинаковой постановке опытов практически одинаков и импульс, приобретаемый телами толщиной 38 и 15 мм, потому нет оснований считать, что относительное радиальное распределение импульса для рассматриваемых случаев не будет одинаковым.

На рис. 5 приведены зависимости распределения импульса по радиусу, полученные перестроением рис. 3 в относительных единицах. Непосредственно из графика для устройства с  $t = \Delta = 15$  мм определена  $\delta_i = 0,31$ , а для устройства с  $t = \Delta = 10$  мм путем интерполяции приведенных зависимостей получено  $\delta_i = 0,37$ . С учетом этого изготовлены тела, в которых масса распределена пропорционально удельному импульсу за счет изменения толщины и выпуклой формы передней поверхности стальной пластины и равна общей массе равнотолщинной пластины с  $\Delta = 15$  мм. Для упрощения изготовления эта координатная передняя поверхность пластины была заменена близкой к ней сферической.

В результате проведенных опытов установлено, что у профилированных тел тыльная поверхность в пределах  $\pm 0,5$  мм осталась плоской, а у плоских центр прогнулся вперед со стрелкой прогиба 6,1 и 3,9 мм для устройств с  $t = \Delta = 10$  мм и  $t = \Delta = 15$  мм.

Результаты проверки подтверждают правильность описанного метода определения распределения импульса по радиусу, который может быть полезным при разработке исследовательских металлических устройств, и дополнительно к [9] характеризуют возможности рассмотренного металлического устройства.

В заключение автор выражает благодарность за помощь в проведении опытов Б. М. Безверхову, А. И. Бричкову и А. М. Калугину.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов А. Г., Карпенко Г. Я. ФГВ, 1980, 16, 2, 84.
2. Огородников В. А., Пинчук С. Ю. и др. ФГВ, 1981, 17, 1, 133.
3. Rinehart J. S. J. Appl. Phys., 1955, 26, 12, 1518.
4. Похил П. Ф., Садовский М. А. // Физика взрыва, № 1.— М.: Изд-во АН СССР, 1952.
5. Бробрерг К. Б. Ударные волны в упругой и упруго-пластичной среде.— М.: Госгортехиздат, 1959.
6. Vroberg K. V. J. Appl. Mech., 1955, 22, 3, 317.
7. Шубин Е. П. ФГВ, 1965, 1, 3, 54.
8. Баум Ф. А., Шехтер Б. И. и др. Физика взрыва/Под ред. К. П. Станюковича.— М.: Наука, 1975.
9. Лебедев М. А. ФГВ, 1989, 25, 2, 140.

г. Москва

Поступила в редакцию 23/1 1989,  
после доработки — 30/X 1989

УДК 662.215.4

Э. А. Петров, И. С. Попов, В. Г. Кузнецов

### ЭМПИРИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ВТОРИЧНЫХ ВВ С ИХ ХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ

В настоящей работе изложена попытка построения количественной связи чувствительность — химическая структура индивидуальных бризантных ВВ общей формулы  $C_aH_bO_cN_d$ . За критерий чувствительности выбрана величина  $H50$  — высота 50%-й частоты взрывов при копровой пробе [1], а в качестве интегрального показателя, характеризующего химическую структуру ВВ, предложена величина  $Q_1/N_1$ , где  $Q_1$  — расчетная мольная теплота неполного взрывчатого превращения (только до СО и  $H_2O$ ),  $N_1$  — число межатомных связей в молекуле ВВ. Из вывода о безактивационном характере реакции неполного взрывчатого превращения в условиях копровой пробы и из априорных соображений можно предположить, что  $\ln H50 \sim -Q_1/N_1$ . Это представление повторяет заключение экспериментальных работ Н. С. Ениколопова, показавшего в 1968—1986 гг. для ряда реакций и специфических условий их проведения экспоненциальное падение энергии активации в зависимости от давления (библиография этих работ дана в [2]).

Для веществ, богатых кислородом ( $c > a + b/2$ ), имеем

$$\ln H50 \sim -\frac{Q_2 - Q_1}{N_2},$$

где  $Q_2$  — расчетная мольная теплота взрывчатого превращения;  $N_2$  — число молей газообразных продуктов неполного взрывчатого превращения одного моля ВВ.

Окончательная формула имеет вид

$$\ln H50 = a_0 - a_1 \frac{Q_1}{N_1} - a_2 \delta_1 \frac{Q_2 - Q_1}{N_2}, \quad (1)$$

$$\delta_1 = \begin{cases} 0, & c \leq a + b/2, \\ 1, & c > a + b/2, \end{cases}$$

$$N_2 = \left( \frac{a}{2} + \frac{b}{4} + \frac{c}{2} + \frac{d}{2} \right)^{\delta_2} \left( c + \frac{d}{2} \right)^{1-\delta_2},$$

$$\delta_2 = \begin{cases} 0, & c \leq 2a + b/2, \\ 1, & c > 2a + b/2. \end{cases}$$