

УДК 532.2

## ОТСЕКАНИЕ КУМУЛЯТИВНОЙ СТРУИ

А. В. Малыгин, М. В. Сорокин, В. М. Фомин\*, В. В. Юрченко

Новосибирское высшее военное командное училище (Военный институт),  
630117 Новосибирск\* Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН,  
630090 Новосибирск  
E-mail: mv\_sorokin@ngs.ru

Рассмотрен процесс отсекаания низкоскоростных участков кумулятивной струи с помощью кумулятивного заряда обратного действия (отсекателя), примыкающего к основанию кумулятивного заряда и имеющего осевой канал, по которому проходит кумулятивная струя. Синхронизация моментов срабатывания отсекаателя и кумулятивного заряда осуществлялась путем выбора толщины и материала облицовки отсекаателя. Предложена инженерная методика синхронизации работы отсекаателя и кумулятивного заряда. Даны рекомендации по выбору отсекаателя в конкретном случае, представляющем практический интерес.

Ключевые слова: кумулятивный заряд, кумулятивная струя, отсекание кумулятивной струи, отсекатель.

При срабатывании кумулятивного заряда (КЗ) образуется высокоскоростная кумулятивная струя (КС), скорость которой на головном участке равна  $9 \div 10$  км/с, на хвостовом —  $2,0 \div 2,5$  км/с (в случае конических медных облицовок). Масса КС составляет 10–20 % исходной массы облицовки [1]. Основная часть кумулятивной облицовки переходит в пест, который движется со скоростью  $0,5 \div 1,0$  км/с. Четкая граница между КС и пестом отсутствует: после схлопывания основания облицовки и формирования хвостового участка КС продолжается истечение материала из песта. В результате КС образует пробойну, которую забивает пест, при этом виден выступающий из преграды “хвостик”.

Частным случаем отсекаателя является цилиндрическая “юбка” вблизи основания облицовки [2]. Наличие залитой во взрывчатое вещество (ВВ) “юбки” исключает откол в основании облицовки и приводит к увеличению скорости хвостовой части КС. При схлопывании цилиндрической “юбки” возможно разрушение КС, еще не вышедшей из зоны ее действия. Вследствие взаимодействия высокоскоростной струи из “юбки” с хвостовой частью КС, вытекающей из основания конической облицовки, на хвостовой части КС образуется утолщение.

Для отсекаания низкоскоростных частей КС и песта использовалось устройство в виде КЗ обратного действия (отсекатель), схема которого приведена на рис. 1 ( $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$  — углы раствора облицовки отсекаателя и КЗ соответственно;  $\delta_0$ ,  $\delta_1$  — толщина облицовки отсекаателя и КЗ соответственно;  $d$  — калибр КЗ;  $a$  — максимальная толщина слоя ВВ отсекаателя). Отсекатель и КЗ разделены цилиндрической втулкой, окруженной зарядом ВВ. В случае отсутствия втулки отсекатель препятствует схлопыванию основания облицовки КЗ и вызывает резкое уменьшение глубины пробития КЗ. Необходимая для отсекаания длина втулки зависит от угла раствора облицовки КЗ и для высоких облицовок составляет не менее  $0,2d$ . Отсекание КС происходит в результате ее торможения на облицовке отсекаателя.

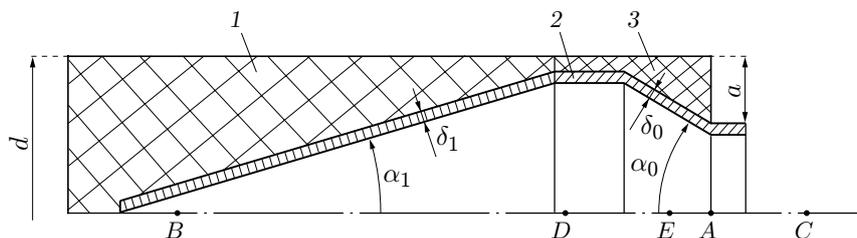


Рис. 1. Схема отсекающей КС:

1 — КЗ; 2 — цилиндрическая втулка, окруженная зарядом ВВ; 3 — отсекатель

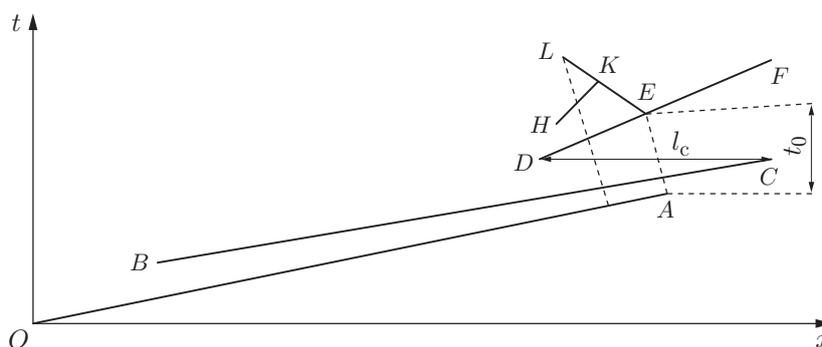


Рис. 2. Пространственно-временная диаграмма отсекающей КС:

OA — движение детонационной волны заряда ВВ; BC — движение головной части КС; DF — движение хвостовой части отсеченной КС; EL — движение точки схлопывания отсекающей КС вдоль оси заряда; HK — движение низкоскоростных частей КС, не прошедших через отсекатель

На рис. 2 представлена пространственно-временная диаграмма процесса отсекающей КС. Время схлопывания отсекающей КС отсчитывается с момента прихода детонационной волны в заданное сечение отсекающей КС до момента схлопывания облицовки в этом сечении на оси заряда. В качестве времени отсекающей КС  $t_0$  выбирается минимальное время, при котором происходит схлопывание облицовки отсекающей КС. В результате остается высокоскоростной участок КС длиной  $l_c$ .

Геометрические размеры отсекающей КС (см. рис. 1) выбирались экспериментальным путем. Для КЗ использовались серийные медные облицовки с углом раствора  $\alpha_0 = 45^\circ, 50^\circ$ . В случае цилиндрической облицовки отсекающей КС ( $\alpha_0 = 0$ ) поток его массы на ось максимален, однако происходит лишь частичное отсекающей КС, которая выходит из отсекающей КС как из фильеры. С увеличением  $\alpha_0$  кумулятивное воздействие отсекающей КС усиливается, в результате чего происходит более полное отсекающей КС. При больших значениях  $\alpha_0$  радиус остаточной струи увеличивается из-за недостаточно большого потока массы отсекающей КС на ось. Скорость схлопывания облицовки отсекающей КС зависит от отношения массы ВВ к массе облицовки отсекающей КС и определяется безразмерным параметром  $\eta = \rho_{ВВ}a/(\rho_0\delta_0)$  ( $\rho_{ВВ}$  — плотность ВВ отсекающей КС;  $\rho_0$  — плотность материала отсекающей КС). С увеличением параметра  $\eta$  скорость схлопывания облицовки отсекающей КС также увеличивается, в результате чего происходит более полное отсекающей КС. Отношение масс облицовок отсекающей КС и КЗ определяется безразмерным параметром  $\mu = \rho_0\delta_0/(\rho_1\delta_1)$ . При увеличении этого параметра радиус остаточной струи уменьшается. Длина  $l_c$  струи, оставшейся после отсекающей КС, уменьшается при уменьшении времени отсекающей КС  $t_0$ . Если скорость головной части струи  $V_H$  недостаточно велика, то КС не успевает выйти из отсекающей КС. При рас-

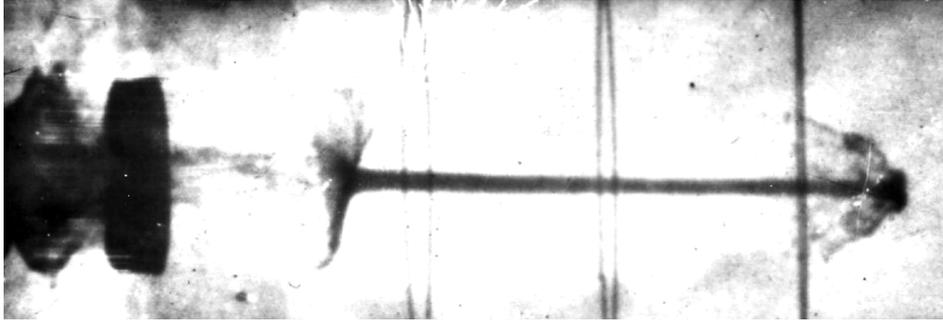


Рис. 3. Рентгенограмма КС после отсекания ( $\alpha_1 = 50^\circ$ ;  $\delta_1 = 0,02d$  (медь);  $\alpha_0 = 45^\circ$ ;  $\delta_0 = 0,03d$  (железо);  $d = 56$  мм; ВВ — ТГ 40/60)

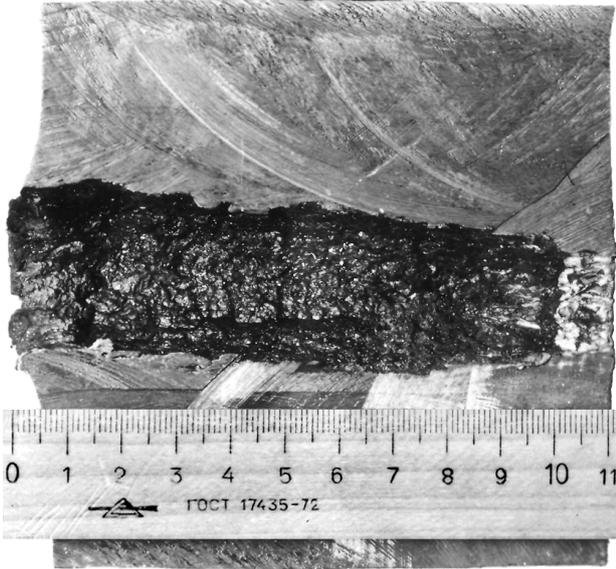


Рис. 4

Рис. 4. Пробоина в стальной мишени (Ст. 20), образовавшаяся в результате воздействия КЗ с алюминиевой облицовкой ( $\alpha_1 = 21^\circ$ ;  $\delta_1 = 0,05d$  (алюминий);  $d = 56$  мм; ВВ — ТГ 40/60)

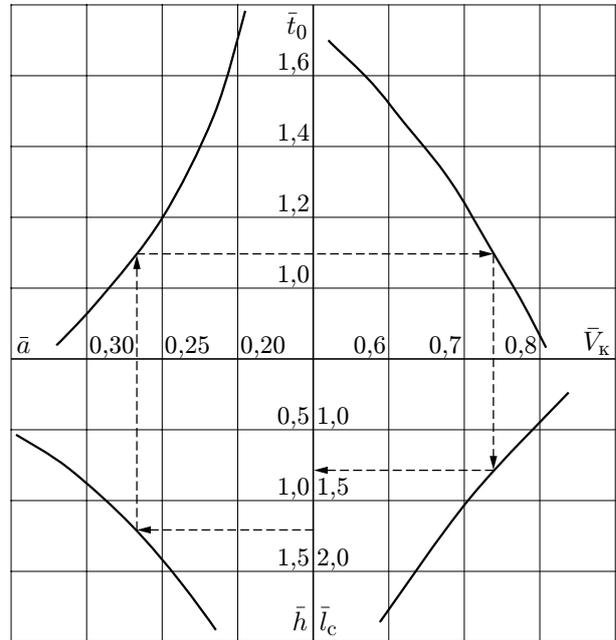


Рис. 5

Рис. 5. Номограмма работы КЗ и отсекателя ( $\alpha_1 = 21^\circ$ ;  $\delta_1 = 0,05d$  (алюминий);  $\alpha_0 = 45^\circ$ ;  $\delta_0 = 0,03d$  (железо);  $d = 56$  мм; ВВ — ТГ 40/60)

чете длины струи  $l_c$  использовался безразмерный параметр  $\bar{t}_0 = t_0 V_H / d$ . Растяжение КС при ее движении к преграде зависит от соотношения скоростей хвостовой ( $V_K$ ) и головной ( $V_H$ ) частей струи. Для расчета конечной длины КС и глубины пробития  $h$  использовался безразмерный параметр  $\bar{V}_k = V_K / V_H$ . Геометрические размеры отсекателя выбирались экспериментальным путем с целью достижения наиболее полного отсекания КС, которое реализуется при  $\alpha_0 = 45^\circ$ ,  $\mu > 1$ ,  $\eta > 1,7$ . В момент удара отсекателя по КС происходит выплеск материала КС и на ее конце образуется характерная “шляпка” (рис. 3).

Ниже рассмотрен пример применения отсекания КС, представляющий практический интерес. Использовался КЗ с высокой алюминиевой облицовкой, формирующий пробоину большого диаметра (рис. 4). КЗ размещался на расстоянии от стальной преграды, рав-

ном  $4d$ . Отсекание КС производилось отсекателем с железной облицовкой. Кинематические параметры КЗ и отсекателя рассчитывались с помощью инженерной методики [1, 3], позволяющей учесть влияние торцевой волны разрежения в отсекателе. Результаты расчетов приведены на рис. 5 ( $\bar{a} = a/d$ ;  $\bar{l}_c = l_c/d$ ;  $\bar{h} = h/d$ ;  $h$  — глубина пробития КЗ). Величина  $h$  также рассчитывалась по методике [1]. Обычно в инженерных методиках используется понятие критической скорости, при которой пробитие преграды КС прекращается; в месте контакта струя — преграда КС не создает давление, необходимое для того, чтобы “раздвинуть” материал преграды. Для стальных КС и преграды критическая скорость может составлять  $2 \div 4$  км/с [1]. В настоящее время достоверные данные о пороговой скорости алюминиевой КС, при которой необходимо учитывать прочность стальной преграды, отсутствуют. Рассчитанная скорость головной части алюминиевой струи  $V_n$  составляет 12 км/с, скорость хвостовой части струи  $V_k$  превышает 6,5 км/с. Глубина пробития высокоскоростной алюминиевой струей рассчитывалась с использованием гидродинамической теории, при этом прочность стальной преграды не учитывалась. В случае когда требуется получить высокоскоростную КС, образующую пробоину глубиной  $h = 1,2$ , необходимо использовать отсекатель с размером  $\bar{a} = 0,27$ , который схлопывается за время  $\bar{t}_0 = 1,1$  и обеспечивает скорость движения хвостовой части КС  $\bar{V}_k = 0,74$ ; при этом из отсекателя выходит КС длиной  $\bar{l}_c = 1,3$ .

В результате проведенных экспериментов получены данные по отсеканию низкоскоростных частей КС. Разработана инженерная методика, позволяющая оценить размеры отсекателя при решении конкретных практических задач (отсекание низкоскоростных участков КС, отсекание песта и очистка пробоины, выделение низкоградиентного участка КС, представляющего собой дальнобойный поражающий элемент, и др.).

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Физика** взрыва: В 2 т. Т. 2. 3-е изд., испр. / Под ред. Л. П. Орленко. М.: Физматлит, 2004.
2. **Тришин Ю. А.** Физика кумулятивных процессов. Новосибирск: Ин-т гидродинамики СО РАН, 2005.
3. **Маринин В. М., Бабкин А. В., Колпаков В. И.** Методика расчета параметров функционирования кумулятивного заряда // Оборон. техника. 1995. № 4. С. 34–39.

*Поступила в редакцию 28/IV 2008 г.,  
в окончательном варианте — 12/VIII 2008 г.*