

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 (α_0 , α_1 — углы раствора облицовки отсекаателя и КЗ соответственно; δ_0 , δ_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.

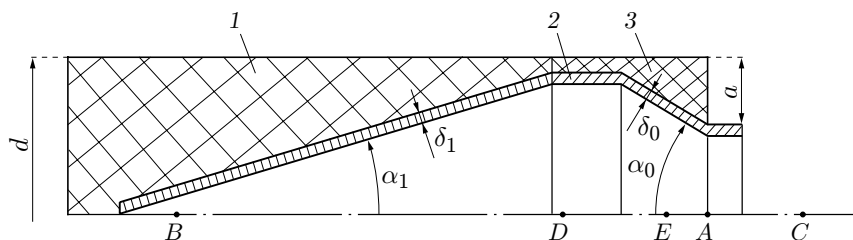


Рис. 1. Схема отсекающей КС:

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

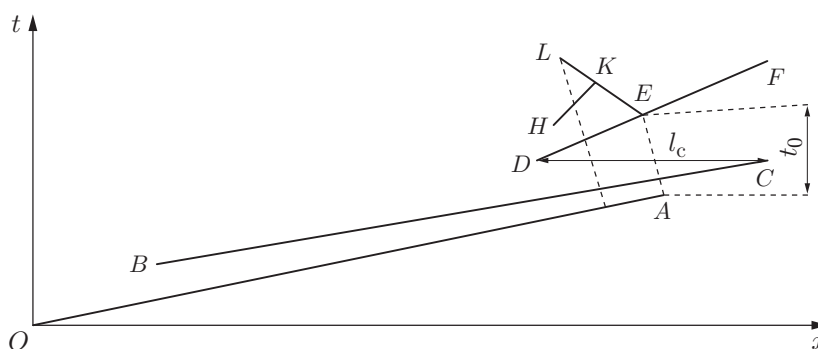


Рис. 2. Пространственно-временная диаграмма отсекающей КС:

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, 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 α_0 кумулятивное воздействие отсекающей КС усиливается, в результате чего происходит более полное отсекающей КС. При больших значениях α_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; ρ_0 — плотность материала отсекающей КС). С увеличением параметра η 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-

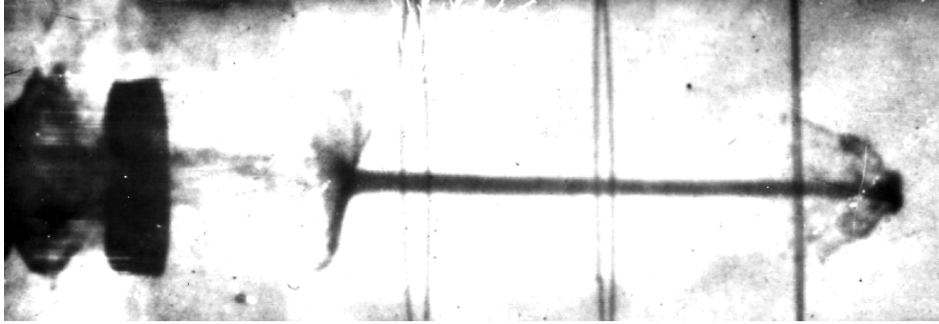


Рис. 3. Рентгенограмма КС после отсекания ($\alpha_1 = 50^\circ$; $\delta_1 = 0,02d$ (медь); $\alpha_0 = 45^\circ$; $\delta_0 = 0,03d$ (железо); $d = 56$ мм; ВВ — ТГ 40/60)

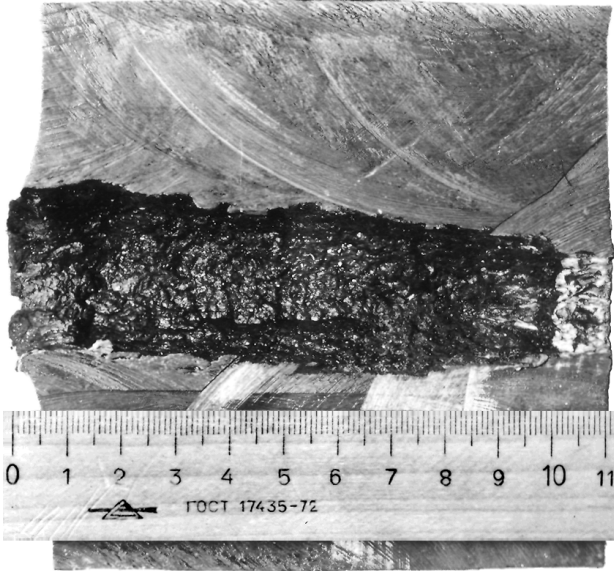


Рис. 4

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)

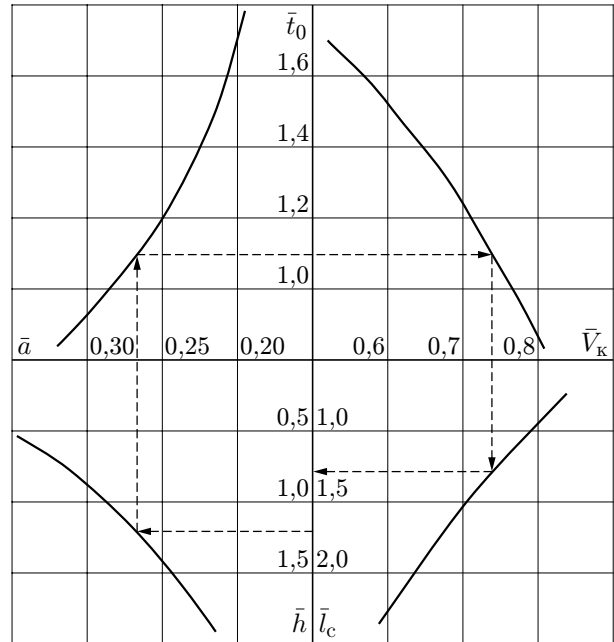


Рис. 5

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.*