

УДК 532.2

РИКОШЕТ КУМУЛЯТИВНОЙ СТРУИ

Е. В. Проскуряков, М. В. Сорокин, В. М. Фомин*

Новосибирское высшее военное командное училище (Военный институт),
630117 Новосибирск* Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича,
630090 Новосибирск
E-mail: saper67@mail.ru

Рассматривается явление рикошета кумулятивной струи на поверхности брони при малых углах между осью струи и поверхностью преграды. Получены экспериментальные значения угла рикошета в зависимости от скорости для медной кумулятивной струи. Разработана инженерная методика расчета. Результаты расчетов, выполненных с использованием этой методики, удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными.

Ключевые слова: кумулятивный заряд, кумулятивная струя, рикошет, динамическая прочность, ударная волна.

Эксперименты, выполненные в конце 50-х годов XX в., показали, что при малых углах встречи кумулятивной струи (КС) с преградой на поверхности брони возможен рикошет КС. В рамках гидродинамической теории кумуляции, основанной на модели несжимаемой жидкости, явление рикошета КС трудно объяснить: на преграде всегда найдется точка торможения КС, в которой давление многократно превышает динамическую прочность брони. В этой точке преграда будет деформироваться, и КС проникнет в преграду.

Рассмотрим металлическую КС как плоскую струю сжимаемой жидкости, натекающую со сверхзвуковой скоростью V_0 на плоскую преграду под углом φ (рис. 1). Будем полагать, что угол φ является малым и материал КС изменяет направление движения в косой ударной волне (УВ). При этом давление в УВ не превышает динамическую прочность преграды, и преграда не деформируется.

Введем следующие обозначения: V_0, ρ_0, V, ρ — скорость и плотность КС перед и за УВ; V_{0n}, V_{0t}, V_n, V_t — нормальная и тангенциальная составляющие скорости КС перед и за УВ; P — давление за фронтом УВ; θ — угол между направлением вектора скорости КС и поверхностью УВ; β — угол между поверхностью УВ и поверхностью преграды.

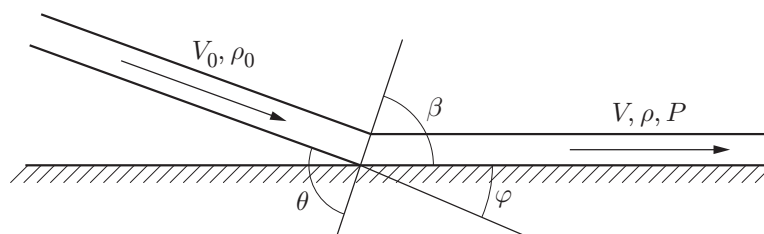


Рис. 1. Схема поворота плоской струи в косой ударной волне

Для решения рассматриваемой задачи используются:

— уравнение неразрывности на УВ

$$\rho_0 V_{0n} = \rho V_n; \quad (1)$$

— уравнение непрерывности скоростей вдоль фронта УВ

$$V_{0t} = V_t; \quad (2)$$

— закон сохранения импульса на фронте УВ

$$V_{0n} \rho_0 (V_{0n} - V_n) = P; \quad (3)$$

— соотношения для ударной адиабаты материала КС

$$P = P(\mu), \quad \mu = \rho/\rho_0 - 1. \quad (4)$$

Используя уравнения (1)–(4), представим V_{0n} и V_n как функции P , ρ :

$$V_{0n} = \sqrt{\frac{P(\mu+1)}{\rho_0 \mu}}, \quad V_n = \sqrt{\frac{P}{\rho_0 \mu(\mu+1)}}. \quad (5)$$

Из рис. 1 следуют соотношения

$$\varphi = \theta - \beta, \quad \operatorname{tg} \theta = V_{0n}/V_{0t}, \quad \operatorname{tg} \beta = V_n/V_t, \quad V = \sqrt{V_t^2 + V_n^2}, \quad V_0 = \sqrt{V_{0t}^2 + V_{0n}^2}. \quad (6)$$

Преобразовав с учетом (5), (6) соотношения

$$\operatorname{tg}(\theta - \beta) = (\operatorname{tg} \theta - \operatorname{tg} \beta)/(1 + \operatorname{tg} \theta \operatorname{tg} \beta),$$

получаем уравнение ударной поляры [1, 2]

$$\operatorname{tg}^2 \varphi = \frac{P(\rho_0 V_0^2 \mu / (\mu + 1) - P)}{(\rho_0 V_0^2 - P)^2}, \quad P = P(\mu).$$

Пусть ρ_0 , V_0 — постоянные, а μ — независимый параметр. С увеличением параметра μ угол φ возрастает и давление P за фронтом УВ увеличивается. При определенном значении давления P , зависящего от динамической прочности преграды, последняя деформируется и происходит проникание КС. Критическое значение давления использовалось как подгоночный параметр и при расчете для брони средней твердости принималось равным 20 ГПа. Рассчитывался угол рикошета φ_* , при котором начинается деформация преграды. На рис. 2 приведены результаты расчета для медной КС. Видно, что с увеличением скорости КС угол рикошета φ_* уменьшается.

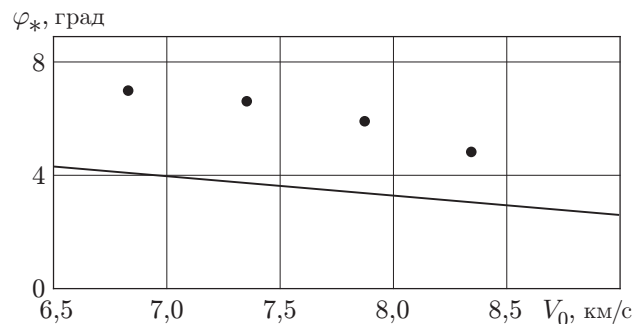


Рис. 2. Зависимость угла рикошета φ_* от скорости КС: линия — расчет; точки — эксперимент

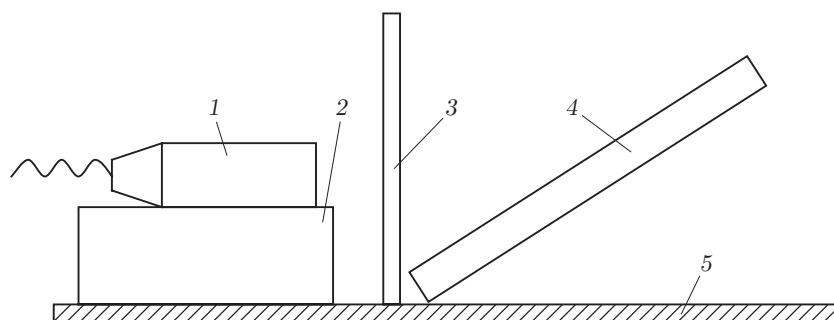


Рис. 3. Схема эксперимента:

1 — кумулятивный заряд; 2 — подставка из пенопласта; 3 — экран; 4 — плита из броневой стали; 5 — основание

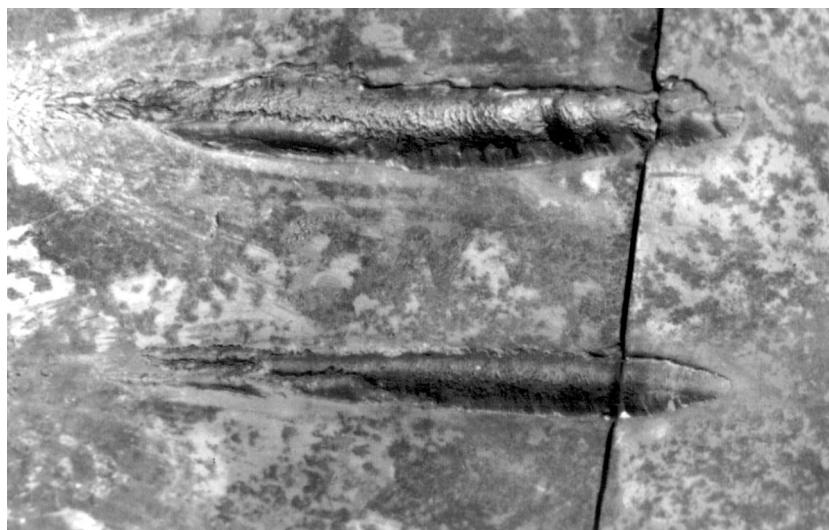


Рис. 4. Отпечатки кумулятивной струи после рикошета от броневой преграды

На рис. 3 представлена схема эксперимента по исследованию явления рикошета КС. Для того чтобы исключить влияние общего основания на схлопывание облицовки заряда, он устанавливался на подставку из пенопласта. В качестве преграды использовалась пластина из броневой стали средней твердости и толщиной 30 мм. Величина угла между осью заряда и поверхностью преграды не превышала 8° . Скорость на начальном участке КС измерялась с помощью рентгеноимпульсной установки. В ряде экспериментов перед зарядом устанавливался металлический экран, который поглощал часть КС, в результате чего на преграду попадали более низкоскоростные части КС. Результат взаимодействия КС и преграды в режиме рикошета показан на рис. 4. На рис. 2 приведены экспериментальные значения угла рикошета φ_* в зависимости от скорости КС. Угол между осью кумулятивного заряда и поверхностью преграды φ изменялся с шагом, равным 1° . Проникание КС в преграду наблюдалось при $\varphi - \varphi_* \geq 1^\circ$.

Итак, в результате проведенного исследования получены экспериментальные значения угла рикошета медной кумулятивной струи на поверхности брони. Разработана инженерная методика, позволяющая оценить угол рикошета КС.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Фомин В. М.** Высокоскоростное взаимодействие тел / В. М. Фомин, А. И. Гулидов, Г. А. Сапожников и др. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. С. 390–391.
2. **Физика** взрыва / Под ред. Л. П. Орленко. Т. 2. М.: Физматлит, 2004. С. 209–210.

*Поступила в редакцию 15/XI 2006 г.,
в окончательном варианте — 11/V 2007 г.*
