

УДК 532.2

## ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КУМУЛЯТИВНОЙ СТРУИ С ПРЕГРАДОЙ

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

Рассмотрено соосное взаимодействие медной кумулятивной струи с тонким вольфрамовым стержнем. Представлены теоретическая модель распыления кумулятивной струи на стержне и результаты проведенных экспериментов.

Ключевые слова: кумулятивная струя, кумулятивный заряд, распыление кумулятивной струи, вольфрамовый стержень.

Теоретическая модель распыления кумулятивной струи (КС) на металлическом стержне основана на решении задачи о встречных струях в гидродинамической постановке (рис. 1).

Введем следующие обозначения:  $\alpha$  — угол раствора расширяющейся КС;  $\rho_J$ ,  $\rho_T$  — плотность струи и преграды соответственно;  $r_J$ ,  $r_T$  — радиус струи и преграды;  $u_X$  — скорость границы раздела струй (скорость проникания).

В точке торможения  $X$  (в движущейся системе) выражение для давления  $P$  слева от границы раздела имеет вид

$$P = \rho_J(V_J - u_X)^2/2,$$

справа от границы раздела —

$$P = \rho_T u_X^2/2.$$

Из условия равенства давлений в точке торможения

$$\rho_J(V_J - u_X)^2/2 = \rho_T u_X^2/2$$

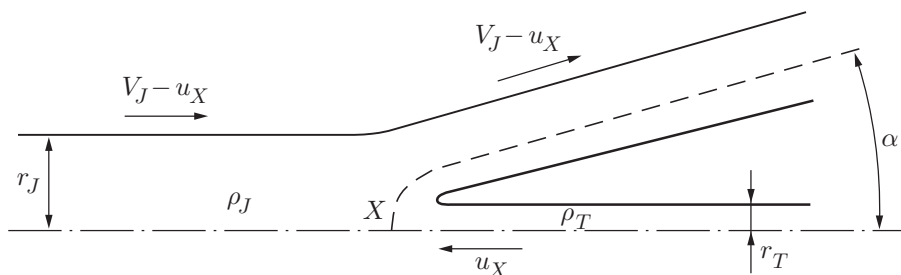


Рис. 1. Схема взаимодействия струй в движущейся системе отсчета: штриховая линия — граница раздела струи и стержня

получаем

$$u_X = V_J / (1 + \lambda), \quad V_J - u_X = u_X \lambda, \quad \lambda = \sqrt{\rho_T / \rho_J}. \quad (1)$$

Поскольку в рамках гидродинамической модели материал преграды уходит в “пелену” со скоростью  $u_X$ , скорость струи в “пелене” равна  $V_J - u_X$ . Выражение для импульса вещества, поступающего в зону торможения в единицу времени, слева от границы раздела принимает вид

$$I_1 = \rho_J (V_J - u_X)^2 \pi r_J^2,$$

справа от границы раздела —

$$I_2 = -\rho_T u_X^2 \pi r_T^2.$$

Удельный импульс вещества, движущегося в осевом направлении, при выходе из зоны торможения имеет вид:

— для струи

$$I_3 = \rho_J (V_J - u_X)^2 \pi r_J^2 \cos \alpha;$$

— для преграды

$$I_4 = \rho_T u_X^2 \pi r_T^2 \cos \alpha.$$

С учетом закона сохранения импульса  $I_1 + I_2 = I_3 + I_4$  получаем

$$\rho_J (V_J - u_X)^2 \pi r_J^2 - \rho_T u_X^2 \pi r_T^2 = [\rho_J (V_J - u_X)^2 \pi r_J^2 + \rho_T u_X^2 \pi r_T^2] \cos \alpha. \quad (2)$$

Разделив уравнение (2) на  $\rho_J$  и учитывая (1), имеем выражение [1]

$$\pi r_J^2 u_X^2 \lambda^2 - \pi r_T^2 u_X^2 \lambda^2 = [\pi r_J^2 u_X^2 \lambda^2 + \pi r_T^2 u_X^2 \lambda^2] \cos \alpha,$$

из которого следует

$$\cos \alpha = (r_J^2 - r_T^2) / (r_J^2 + r_T^2). \quad (3)$$

Угол раствора “пелены”  $\alpha$  не зависит от плотности струи  $\rho_J$  и плотности преграды  $\rho_T$ , которые, однако, оказывают влияние на величину давления  $P$  в точке торможения  $X$ . Полагая радиус струи  $r_J = 0,06D$ , радиус преграды  $r_T = 0,002D$  ( $D$  — калибр кумулятивного заряда), из выражения (3) найдем угол раствора “пелены”:  $\alpha = 4^\circ$ .

Поскольку КС имеет переменный диаметр (в начале струя более тонкая, чем в конце), она распыляется в некотором диапазоне углов. Изменить величину угла распыления КС можно с помощью профилирования (например, утончения) стержня. Величина распыленной КС зависит от длины стержня и определяется в рамках гидродинамической теории [2].

Экспериментально исследовалось явление взаимодействия медной КС со стержнем из вольфрама, который помещался в пенопластовую обойму перед кумулятивным зарядом. На вольфрамовом стержне наблюдалось диспергирование КС на мельчайшие частицы (рис. 2). Следует отметить, что распыленная КС образует пробойну увеличенного диаметра, а при использовании стержня глубина пробития кумулятивного заряда уменьшается.

Таким образом, рассмотрено явление распыления медной кумулятивной струи на тонком вольфрамовом стержне. Явление распыления можно использовать для создания пробойны увеличенного диаметра в бронезащите, для поражения сложных преград [3], напыления материала КС на поверхность преграды и др.



Рис. 2. Распыление КС на металлическом стержне (рентген)

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Гуревич М. И.** Теория струй идеальной жидкости. М.: Наука, 1979.
2. **Лаврентьев М. А.** Проблемы гидродинамики и их математические модели / М. А. Лаврентьев, Б. В. Шабат. М.: Наука, 1973.
3. **Рототаев Д., Григорян В.** Снаряд — броня: что сильнее? // Военный парад. 1999. № 2. С. 32–34.

*Поступила в редакцию 21/XII 2006 г.,  
в окончательном варианте — 25/VII 2007 г.*

---