

ПИСЬМО В РЕДАКЦИЮ

УДК 531.66 : 623.56

А. Холт

О ПРОСТЫХ МОДЕЛЯХ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ПРОНИКАНИЯ  
СТЕРЖНЕЙ В МЕТАЛЛИЧЕСКОЕ ПОЛУПРОСТРАНСТВО<sup>1</sup>

Высокоскоростное пробивание металлического полупространства стержнями с большим относительным удлинением — сложный двумерный гидродинамический процесс. Расчет глубины проникания стержня при заданных начальных условиях удара требует интегрирования скорости контактной границы снаряд — мишень по интервалу времени от момента соударения до полной остановки.

При больших относительных удлинениях и скоростях снаряда, когда основная часть процесса осуществляется при почти стационарных условиях, возможна оценка глубины проникания на основе одномерных моделей [1—3]. В этом случае используется интеграл Бернулли

$$\frac{1}{2} \rho_1 u^2 = \frac{1}{2} \rho (u - v)^2 = \sigma, \quad (1)$$

где  $\rho$  и  $\rho_1$  — плотность материалов снаряда и мишени;  $v$  — скорость жесткой части стержня;  $u$  — скорость проникания (скорость контактной границы снаряд — мишень);  $\sigma$  — осевое напряжение на контактной границе. Важно понять, что  $\sigma$  не определяет силу, препятствующую движению недеформируемой части стержня. В зоне пластического течения между контактной границей и границей жесткой части резко изменяется напряжение от значения на контактной границе до предела упругости материала стержня.

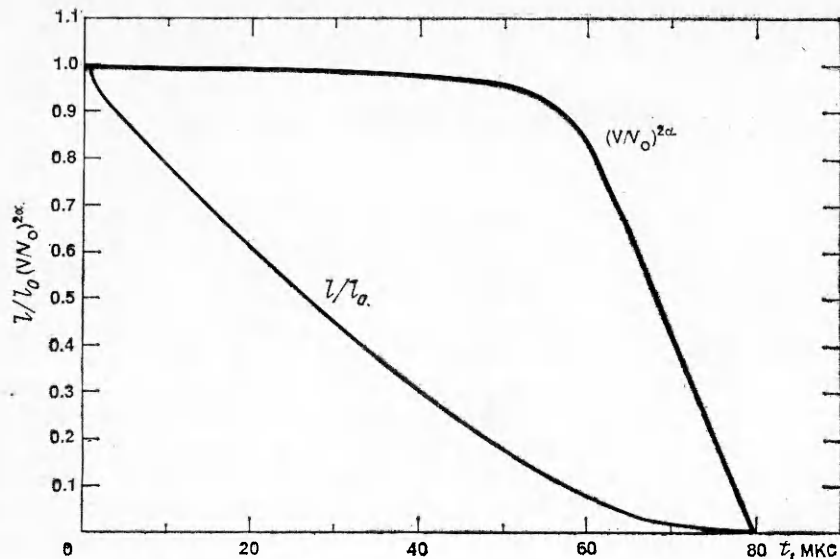
Предположив, что эрозия стержня в процессе проникания не влияет на его скорость, из (1) получаем оценку глубины проникания  $l_0 \sqrt{\rho/\rho_1}$  ( $l_0$  — начальная длина стержня).

Для уточнения этой оценки необходимо учесть замедление стержня, зависящее от свойств материала и его плотности. Согласно [4], в предположении малости зоны пластического деформирования по сравнению с жесткой частью стержня, замедление недеформируемой части стержня описывается уравнением

$$\frac{dv}{dt} = - \frac{Y}{\rho l}, \quad (2)$$

где  $Y$  — предел текучести материала снаряда;  $l$  — длина жесткой части стержня.

<sup>1</sup> Перевод Л. А. Ефремовой под ред. Л. А. Мерзиевского.



Дальнейшее развитие проблема построения простой модели получила в работах [5—9]. В литературе существуют разногласия в трактовке связи уравнений (1) и (2). В [9] правая часть выражения (2) заменяется на  $\sigma$  из (1), пересчитанное с учетом его изменения в пластической зоне. Вследствие использованной аппроксимации получается  $l/l_0 = (v/v_0)^{2\alpha}$  ( $v_0$  — начальная скорость стержня,  $\alpha = \sqrt{\rho/\rho_1}$ ), что противоречит геометрическому уравнению  $\frac{dl}{dt} = u - v$ , откуда следует, что в приближении высокой скорости соударения, при котором  $u$  и  $v$  постоянны вплоть до заключительной стадии процесса, длина линейно убывает со временем.

На рисунке приведены результаты численного расчета внедрения стержня из вольфрамового сплава длиной 7,62 и диаметром 0,635 см в стальную преграду со скоростью 3 км/с. За исключением начала и конца процесса зависимости не совпадают.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Birkhoff G., MacDougall D. R. et al. Appl. Phys., 1948, 19, 563.
2. Pack D. C., Evans W. M. // Proc. Phys. Soc. Lond., 1951, B64, 298.
3. Christman D. R., Gehring J. W. J. Appl. Phys., 1966, 37, 1579.
4. Taylor G. I. // Proc. Roy. Soc. Lond., 1948, A194, 289.
5. Алексеевский В. П. ФГВ, 1966, 2, 2, 99.
6. Tate A. J. Mech. Phys. Solids, 1967, 15, 387.
7. Tate A. // Ibid., 1969, 17, 141.
8. Jones S. E., Gillis P. P., Foster J. C. // Ibid., 1987, 23, 2, 97.
9. Томашевич И. И. ФГВ, 1987, 23, 2, 97.

Ливерморская национальная лаборатория  
им. Лоуренса, Калифорния, США.

Поступила в редакцию  
21/XI 1988