

## РОЛЬ МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫХ СИЛ МАТЕРИАЛОВ В ИХ РАЗРУШЕНИИ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ УДАРЕ

И.Ю. Пашкеев

**В работе показана связь величины энергии атомизации металлов, оксидов, карбидов, нитридов и материалов на их основе с разрушением при высокоскоростном ударе.**

На протяжении многих лет традиционно разрабатывался макроскопический подход в оценке механических свойств материалов. В технической механике для решения прикладных задач статики и невысоких скоростей нагружения оказывается достаточно известных параметров и модулей, характеризующих прочностные и пластические свойства материала. Однако поведение материалов при импульсных нагрузках (в ближней зоне взрыва) и высокоскоростном ударе плохо поддается прогнозированию по величине модуля Юнга, предельной прочности материала, ударной вязкости, пластичности и т.д. Иллюстрацией существования различного механизма разрушения при разных скоростях удара могут служить экспериментальные результаты работы [1], подтверждающие наличие пороговой скорости нагружения, по достижении которой наблюдалось значительное увеличение объема разрушения у металлов, рис. 1. Точнее, следует говорить о количестве подведенной энергии, так как при изменении материала снаряда несколько изменяется и пороговая скорость удара, но суть явления остается неизменной.

По результатам цитируемой работы следует, что после удара стальным ударником со скоростью более 3 км/с по преграде металлы переходят в такое пластичное состояние, при котором их поведение описывается уравнением гидродинамики, полученным М.А. Лаврентьевым для кумулятивных зарядов:

$$L = l \sqrt{\frac{\rho_c}{\rho_t}}, \quad (1)$$

где  $L$  – глубина проникания;  $l$  – длина кумулятивной струи при отсутствии преграды;  $\rho_c$  и  $\rho_t$  – плотность материала снаряда и преграды соответственно.

В соответствии с формулой (1) объем разрушения свинца не должен быть больше, чем у металлов с меньшей плотностью, но экспериментальные результаты говорят об обратном. Такое же несоответствие наблюдается для кадмия и меди. Этот факт объясняют тем, что объем кратера растет за счет вытеснения материала в радиальном направлении, и его объем увеличивается для пластичных материалов тем больше, чем меньше энергии требуется для пластического течения материала преграды [2]. Тогда как объяснить поведение пластичных материалов свинца, алюминия и кадмия с этих позиций? Кстати,

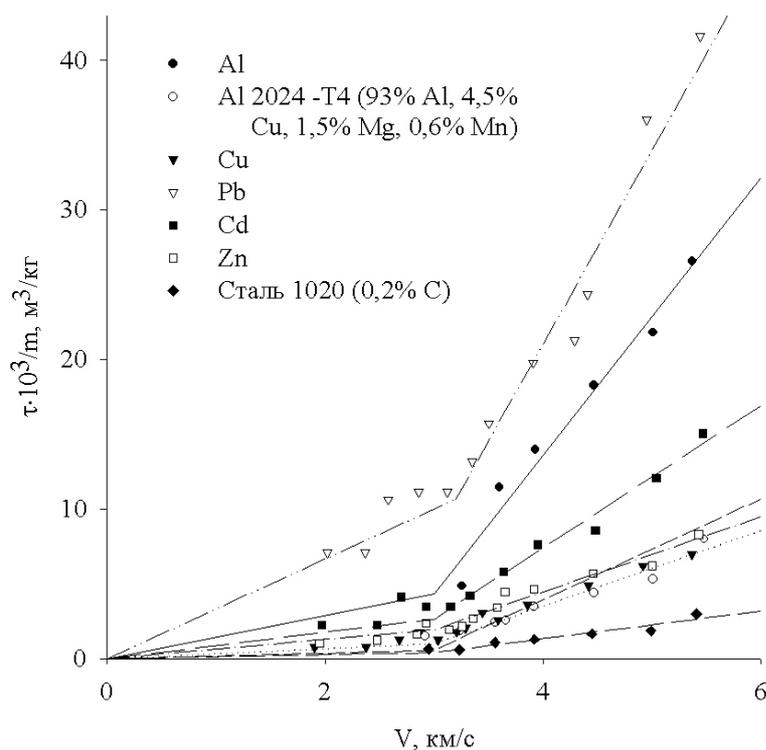


Рис. 1. Зависимость отношения объема кратера к массе снаряда от скорости стального снаряда для преград из различных металлов [1]

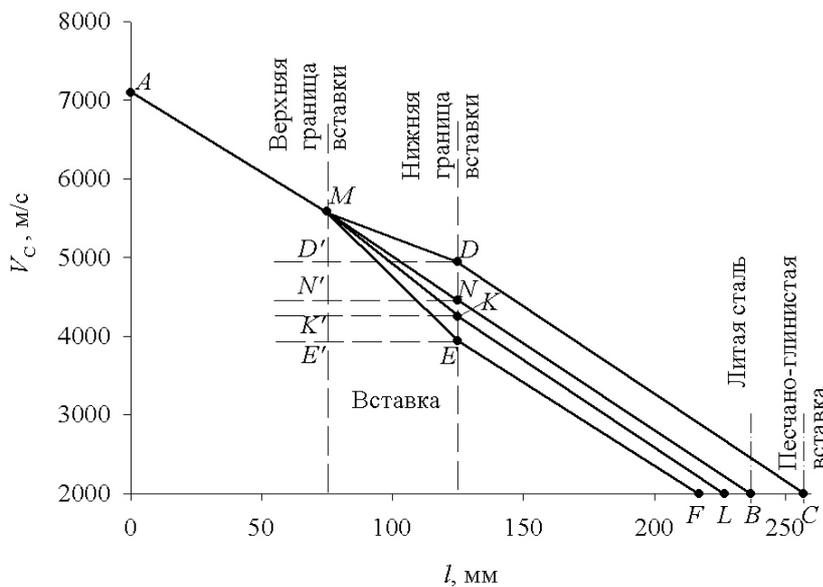


Рис. 7. Графический метод определения глубины пробоя комбинированной преграды кумулятивной струей

Этот графоаналитический метод позволяет оценить изменение скорости кумулятивной струи в сложной комбинированной преграде, состоящей из нескольких вставок различных материалов, и рассчитать глубину пробоя в комбинированной преграде.

Из приведенных результатов сравнительных испытаний композиционных материалов следует, что стойкость преграды высокоскоростному удару возрастает при введении в нее компонентов с более высокой энергией атомизации.

#### Литература

1. Эйчельбергер Р., Кайнике Дж. Высокоскоростной удар // В кн.: Физика быстропротекающих процессов. – М.: Мир, 1971. – Т. 2. – С. 204–246.
2. Шаль Р. Физика детонации // В кн.: Физика быстропротекающих процессов. – М.: Мир, 1971. – Т. 2. – С. 276–349.
3. Хэллок Ф. Свифт. Механика соударения со сверхвысокими скоростями // В кн.: Динамика удара. – М.: Мир, 1985. – С. 173–197.
4. Геринг Дж. Высокоскоростной удар с инженерной точки зрения // В кн.: Высокоскоростные ударные явления. – М.: Мир, 1973. – С. 468–516.
5. Понд Р., Гласс К. Металлофизические исследования и распределение энергии // В кн.: Высокоскоростные ударные явления. – М.: Мир, 1973. – С. 428–467.
6. Christman D.R., Gehring J.W. Analysis of High-velocity projectile penetration mechanics // J. Appl. Physics. – 1966. – V. 37. – № 4. – P. 1579–1587.
7. Григорович В.К. Твердость и микротвердость металлов. – М.: Наука, 1976. – 232 с.
8. Макмиллан Н. Идеальная прочность твердых тел // В кн.: Атомистика разрушения. – М.: Мир, 1987. – С. 35–103.
9. Изотов А.Д., Лазарев В.Б. Теоретическая прочность керамических материалов // Изв. АН СССР. Неорганические материалы. – Т. 21. – № 5. – 1985. – С. 706–711.
10. Друкованный М.Ф., Комир В.М., Мячина Н.И. Петряшина Л.Ф. Исследование взаимосвязи энергетических характеристик горных пород с их дробимостью // Взрывное дело: Сборник 67/24. – М.: Недра, 1969. – С. 29–37.
11. Кинеловский С.А., Тришин Ю.А. Физические аспекты кумуляции // Физика горения и взрыва. – 1980. – № 5. – С. 26–40.
12. Пашкеев И.Ю. Прогнозирование разрушения при высокоскоростном ударе и импульсном нагружении по термодинамическим характеристикам преграды // В Забабахинские научные чтения: Сб. трудов. – Снежинск: Изд-во РФЯЦ-ВНИИТФ, 1999. – С. 77–83.
13. Шардин Х. Исследование скорости разрушения // Атомный механизм разрушения; Пер. с англ. – М.: Металлургиздат, 1963. – С. 297–330.
14. Физика взрыва / Ф.А. Баум, Л.П. Орленко, К.П. Станюкович и др.; Под ред. К.П. Станюковича. – М.: Наука, 1975. – 704 с.

Поступила в редакцию 2 ноября 2005 г.