

**ПРОБИВАНИЕ ЖЕСТКИМ УДАРНИКОМ ПРЕГРАД
ИЗ ПЛАСТИЧНОГО МАТЕРИАЛА**

И. Ф. ЛАНДГРОВ, О. А. САРКИСЯН

(Черноголовка)

В отличие от преград из конструкционных сплавов, пробивание которых, как правило, сопровождается распространением цилиндрической трещины в преграде и выбиванием пробки [1], преграды из рассматриваемых в данной работе материалов пробиваются путем сильного пластичного деформирования материала преграды под ударником, что отчетливо видно на фиг. 1, где представлены фотографии штифов пластины толщиной $h = 4,85$ мм из технически чистого алюминия после удара стальным шаром диаметром 6,37 мм с указанными на фигуре начальными скоростями ударника при нормальном и косом (70° к нормали) ударе.

Точное решение задачи пробивания, даже в рассматриваемом относительно простом случае (жесткий ударник и пластичная преграда), требует подробного анализа полей напряжений и связанных с ним деформаций и перемещений материала преграды, что в свою очередь требует знания определяющего соотношения для материала преграды в условиях больших давлений и высоких скоростей деформирования.

При этих обстоятельствах интерес представляют простые модели пробивания (см., например, [2]), вариант схемы описания пробивания предлагается ниже.

Предположим, что форма ударника в процессе пробивания не меняется и на каждую элементарную площадку dS поверхности контакта ударника с преградой действует сила сопротивления, направленная по нормали к площадке:

$$d\mathbf{p} = -F(v_n)dS,$$

где v_n — нормальная составляющая скорости площадки.

Аппроксимируем функцию F следующим образом:

$$(1) \quad F(v_n) = \begin{cases} E \left(\frac{\sigma_0}{E} \right)^{1-v_n/c} & \text{при } v_n > 0, \\ 0 & \text{при } v_n \leq 0, \end{cases}$$

где E — модуль Юнга материала преграды; σ_0 — параметр, характеризующий материал преграды; c — скорость звука в тонком стержне из материала преграды.

Уравнение движения ударника в преграде примем в виде

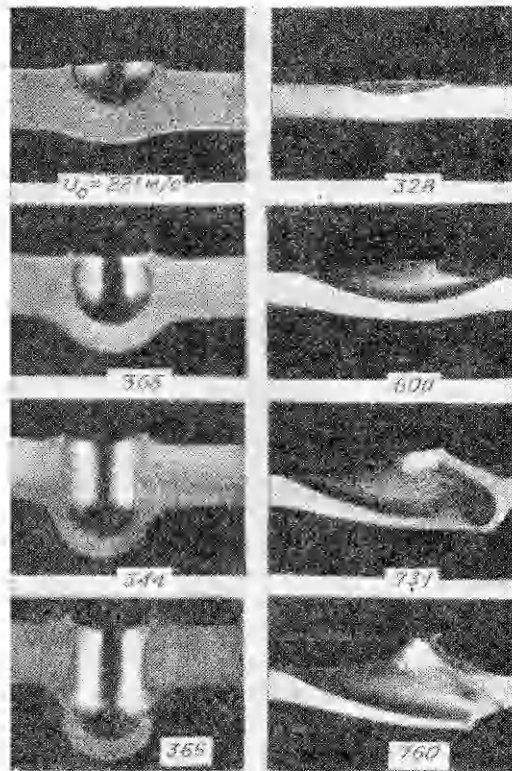
$$(2) \quad m \frac{dv}{dt} = \int_S d\mathbf{p},$$

где v — скорость площадки dS по отношению к преграде; m — масса ударника; S — поверхность контакта ударника и преграды.

Численное интегрирование уравнения (2) ведется от момента $t = 0$, $v = v_0$ до момента времени,

когда $\int_S d\mathbf{p} = 0$, что достигается либо при $v = 0$, либо при $v = v_1 = \text{const}$ (условие выхода ударника из преграды).

В аппроксимации (1) фигурирует единственная константа σ_0 , подлежащая определению из эксперимента. Одной из возможных схем определения этой константы является сравнение значения критической скорости v_* пробивания при ударе по нормали к поверхности преграды, полученной численным интегрированием уравнения (2) при различных значениях σ_0 , со значением v_* , полученным из прямого эксперимента (технику и методику эксперимента см. в [3]). При этом принимается то значение σ_0 , при котором расчетное и экспериментальное значения v_* совпадают с точностью

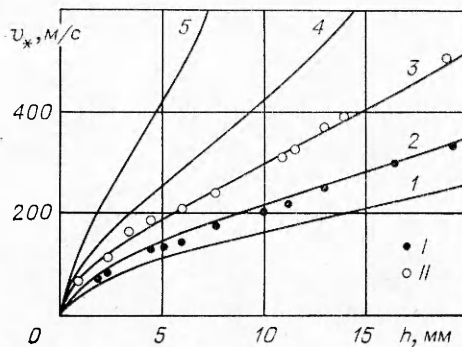


Ф и г. 1

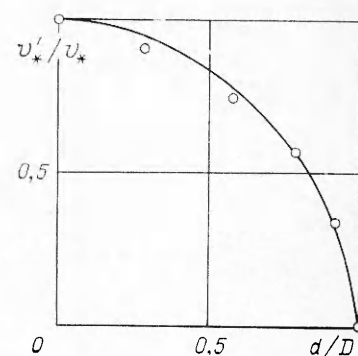
Материал	Pb	Cu	Al	Nb	In	Fe
ρ , г/см ³	11,35	8,96	2,70	8,40	7,28	7,80
c , м/с	1200	3790	5080	4310	1190	5170
h , мм	5,00	2,40	4,85	4,00	12,50	2,00
v_* , м/с	190	355	366	600	235	435
σ_0 , кгс/мм ²	7,8	67	37	103	4,4	123
HM , кгс/мм ²	5,8	57	36	119	—	119

до 1% (точность эксперимента). Результаты подобной процедуры для некоторых материалов представлены в таблице. Любопытно, что полученные значения σ_0 близки к величинам твердости H по Майеру [4, 5] для этих материалов с точностью, необходимой для определения v_* (значения твердости в таблице получены экспериментально на установке типа ТШ-2М).

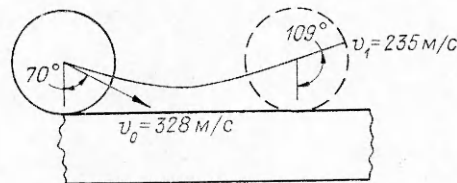
По изложенной схеме были рассчитаны значения $v_*(h)$ для стальных шаров разного диаметра и преград из некоторых пластичных материалов (результаты для свинца представлены на фиг. 2, расчет: $D = 16; 10, 3; 6,37; 4,0; 2,0$ мм — линии 1—5 соответственно; эксперимент: $D = 10,3; 6,37$ мм — точки I, II соответственно), критическая скорость пробивания v'_* пластины толщиной 4,85 мм из технически чистого алюминия при ударе стальным шаром диаметром $D = 6,37$ мм по центру сквозного цилиндрического отверстия для разных значений диаметра d (фиг. 3, сплошная линия — расчет, точки — эксперимент) и траектория центра такого же ударника при ударе под углом 70° к нормали по преграде из технически чистого алюминия (фиг. 4).



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

Удовлетворительное соответствие расчетных и экспериментальных зависимостей, показанное на конкретных примерах, дает основание надеяться, что, несмотря на очевидную ограниченность изложенной модели, она может оказаться полезной при решении и более сложных задач пробивания, так как она позволяет рассчитать практически важные зависимости при произвольной форме ударника, а в случае шара из уравнения (2) вытекает подобие процесса пробивания по h/D , что ранее было замечено в эксперименте [6].

Авторы благодарят С. Т. Милейко за полезные советы при обсуждении результатов и Е. Д. Пантелеева за помощь в проведении экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Райнхарт Дж. С., Пирсон Дж. Поведение материалов при импульсивных нагрузках. М.: ИЛ, 1958.
2. Милейко С. Т., Саркисян О. А. Феноменологическая модель пробивания. — ПМТФ, 1981, № 5.

3. Милейко С. Т., Кондаков С. Ф., Голофаст Е. Г. Об одном случае пробивания. — Пробл. прочности, 1979, № 12.
4. Испытания металлов/Под ред. К. Нитцше. М.: Металлургия, 1967.
5. Григорович В. К. Твердость и микротвердость металлов. М.: Наука, 1976.
6. Милейко С. Т., Кондаков С. Ф., Саркисян О. А. О пробивании металлической преграды шаровым ударником. — В кн.: Тр. конф. по механике деформируемого твердого тела. Ташкент, 1979.

Поступила 30/VI 1983 г.

УДК 539.3 : 534.1

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ ПРОБИВАЮЩЕМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

В. П. МУЗЫЧЕНКО, В. И. ПОСТНОВ

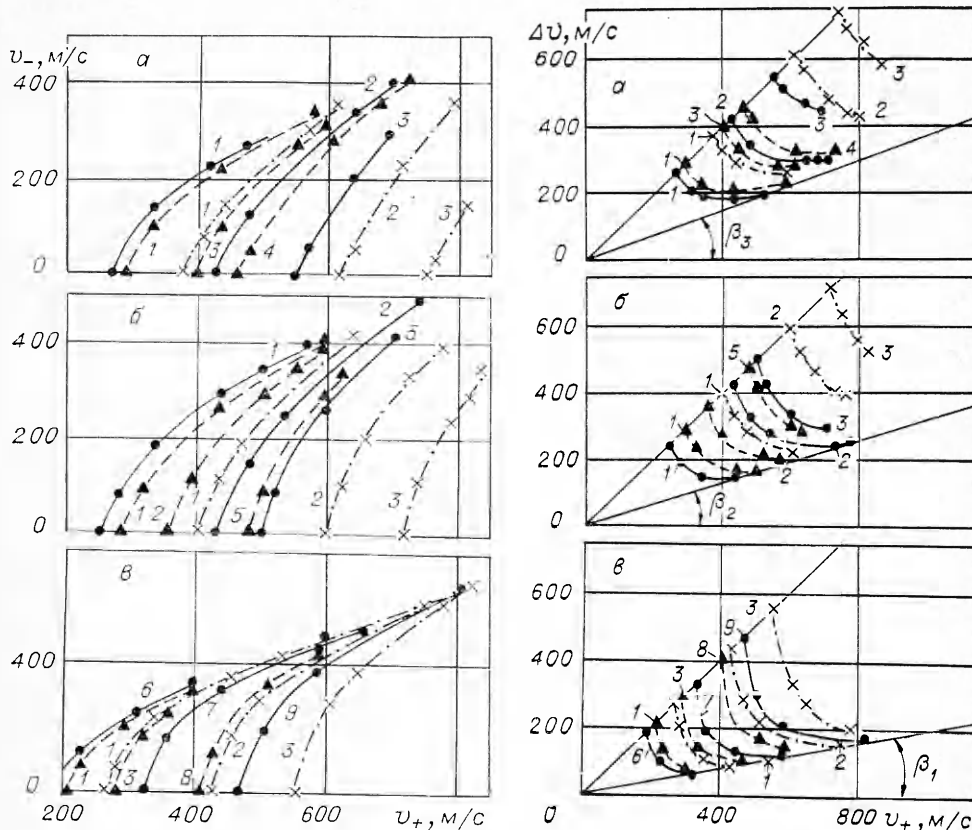
(Куйбышев)

Получение физико-механических характеристик конструкционных материалов при повышении скоростей деформирования наталкивается на ряд серьезных трудностей при применении традиционных методов испытаний. Практический интерес к скоростям деформирования свыше 10^3 с⁻¹ способствовал развитию феноменологического подхода. Попытка найти связь механических характеристик при скоростях деформирования 10^4 – 10^5 с⁻¹ с характеристиками пробивания впервые предпринята в [1].

Среди феноменологических зависимостей, описывающих результаты пробивания преград, наибольшее распространение получили так называемые кривые пробивания, связывающие критические скорости пробивания с параметрами преград и ударников [2]. Послекритическое поведение пар ударник — преграда представлено в [3–6] в виде зависимостей выходной скорости v_- от входной v_+ , потери скорости $\Delta v = v_+ - v_-$ от v_+ , полученных для разных толщин преград и габаритов ударников.

Наконец, в [1] построены безразмерные зависимости v_-/v_* от v_+/v_* .

В данной работе проведено систематическое изучение зависимостей, описывающих процессы пробивания металлических сплавов при послекритических скоростях, с целью доказательства возможности прогнозирования характеристик сопротивляе-



Ф и г. 1

Ф и г. 2