

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.: Metallurgiya, 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

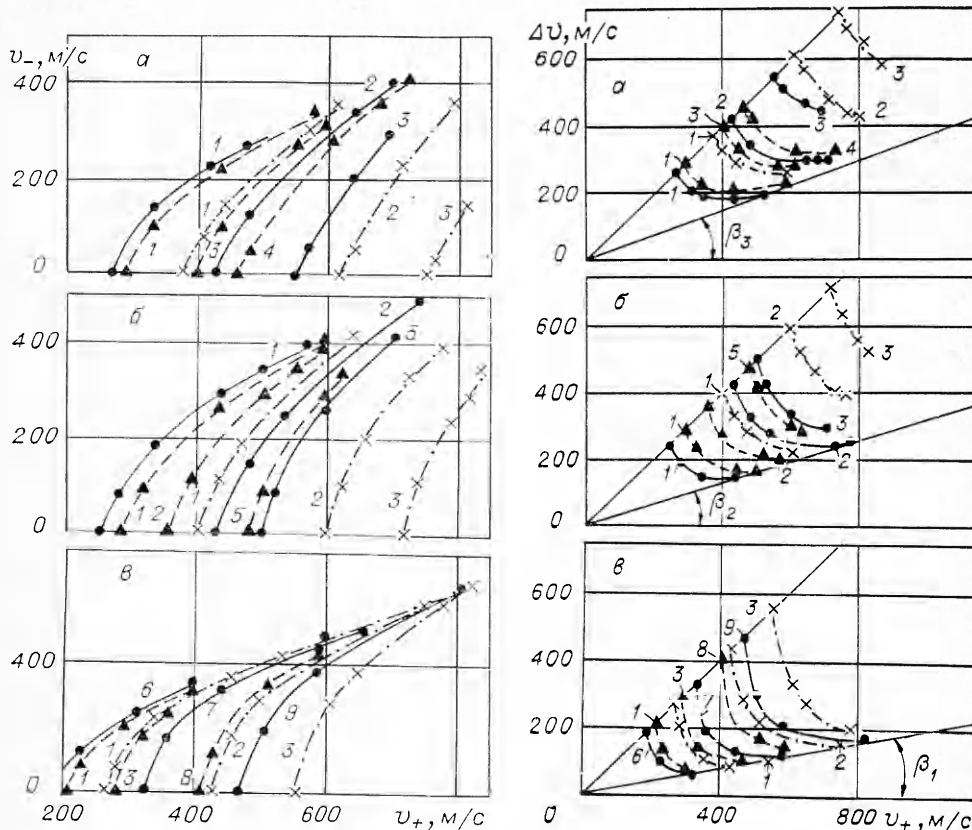
(Куйбышев)

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.

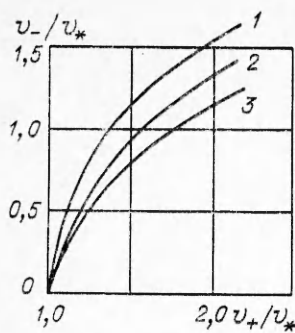
Наконец, в [1] построены безразмерные зависимости v_-/v_* от v_+/v_* .

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

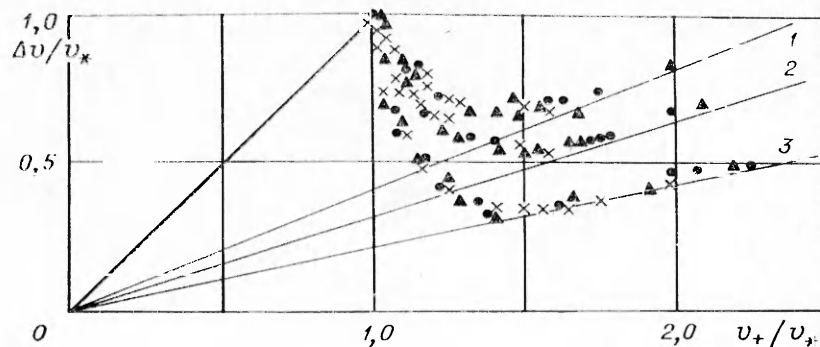


Ф и г. 3

мости материалов пробиванию в различных координатах, обеспечивающего установление связи с прочностными характеристиками при высоких скоростях деформирования. Исследование проведено на примерах алюминиевого сплава Д16Т и титановых сплавов ВТ-20 и ОТ-4-1. Нормальное пробивание преград толщиной от 2 до 10 мм проводилось шаровыми ударниками из стали ШХ15 диаметрами 6,37; 10,3 и 16,0 мм при скоростях до 800 м/с. В [1] показано, что кривые $v_+/v_*(v_+/v_*)$ не зависят от толщины преград h и диаметра ударников d . Установленный факт, по мнению авторов, позволяет отнести эти кривые к своеобразным прочностным характеристикам, и следует искать их связь с традиционными прочностными характеристиками в виде зависимости соотношений напряжений от деформаций $\sigma - \epsilon$ от скорости деформирования $\dot{\epsilon}$. Особый интерес при этом будет представлять выход кривых пробивания на асимптоты, который может быть связанным с насыщением группы кривых $\sigma - \epsilon$, построенных для разных скоростей деформирования $\dot{\epsilon}$ при использовании традиционного подхода на механические характеристики. Действительно, по концепции [1] вносения основного вклада в сопротивление внедрению ударника при наличии выбивания «пробки» пластического деформирования или хрупкого дробления сравнительно тонкого цилиндрического слоя стабилизация (выражающаяся в выходе на асимптоты кривых пробивания) зависимости силы сопротивления от входной скорости v_+ означает существование предельного значения $\dot{\epsilon}$, после которого кривые $\sigma - \epsilon$ становятся малочувствительными к дальнейшему росту $\dot{\epsilon}$. Физическая трактовка данного явления может быть следующей: при достижении больших входных скоростей материал оказывается в текучем состоянии, что определяет линейную зависимость ослабляющего действия преград из этого материала от входной скорости.

В связи с повышенным интересом к титановым и алюминиевым сплавам исследование асимптотики кривых сопротивляемости металлов пробиванию проводилось на примере титановых сплавов ВТ-20 и ОТ-4-1 и алюминиевого сплава Д16Т при пробивании преград из них толщиной от 2 до 10 мм шаровыми ударниками из стали ШХ15 при скоростях до 800 м/с. Заметим, что найденные зависимости представляют также и самостоятельный интерес.

Экспериментально найденные зависимости $v_+(v_+)$ (фиг. 1) и $\Delta v(v_+)$ (фиг. 2) для ВТ-20 (а), ОТ-4-1 (б) и Д16Т (в) соответствуют пробиванию ударниками диаметром 6,37 мм (штрихпунктирные линии, проведенные по экспериментальным точкам, отмеченным крестиками), 10,3 мм (сплошные линии, проведенные по экспериментальным точкам, отмеченным кружками) и 16,0 мм (штриховые линии, проведенные по экспериментальным точкам, отмеченным треугольниками) преград толщиной 2,0; 4,0; 6,0; 8,0; 10,0; 2,8; 4,2; 12,7; 7,4 мм (соответственно кривые 1—9). Оказалось, что для алюминиевого сплава Д16Т все найденные кривые при скоростях около 800 м/с выходят на единые асимптоты. Аналогичная тенденция может быть усмотрена также для титановых сплавов ВТ-20 и ОТ-4-1, что позволяет сделать предположение о существовании для исследованных материалов такой входной скорости, при которой кривые $v_+(v_+)$ (см. фиг. 1) и $\Delta v(v_+)$ (см. фиг. 2) становятся инвариантными относительно изменения габаритов ударников и толщины преград, естественно, в пределах заданных диапазонов изменений как первой, так и второй величин, что позволяет прогнозировать сопротивляемость металлов пробиванию, в том числе на более высокие скорости, по-видимому, вплоть до скоростей, при которых на процесс пробивания будет оказывать влияние пластическое деформирование ударника. Углы наклона асимптот, к которым стремятся кривые при увеличении входной скорости, могут быть истолкованы как



Ф и г. 4

некоторые прочностные характеристики материалов, связанные со скоростью деформирования $\dot{\epsilon}$, определяемой скоростью v_+ . Кривые $v_-(v_+)$ перестраивались в $v_-/v_*(v_+/v_*)$ (фиг. 3). При этом оказалось, что и надо было ожидать, следуя [1], что в новых координатах кривые, соответствующие разным толщинам преград и диаметрам ударников, сгруппировались в достаточно узкие пучки (пучок для Д16Т выделен на фиг. 3 в единую кривую 1, для ОТ-4-1 в кривую 2 и для ВТ-20 в кривую 3), что говорит об инвариантности кривых в этих координатах относительно изменения толщины преград и диаметров ударников уже во всем диапазоне рассматриваемых скоростей, а не только при достижении определенной скорости.

Аналогичное перестроение в новые координаты проводилось также для феноменологических зависимостей $\Delta v(v_+)$. Полученные графики $\Delta v/v_*(v_+/v_*)$ показаны на фиг. 4. Как и предполагалось, данные образовали для каждого материала явно выраженные свои пучки, имеющие тенденцию выходить на асимптоты (1 — ВТ-20, 2 — ОТ-4-1, 3 — Д16Т).

Авторы благодарны С. Т. Милейко и О. А. Саркисяну, основополагающая работа [1] которых стимулировала проведение настоящего исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Милейко С. Т., Саркисян О. А. Феноменологическая модель пробивания. — ПМТФ, 1981, № 5.
2. Милейко С. Т., Кондаков С. Ф., Голофаст Е. Г. Об одном случае пробивания. — Пробл. прочности, 1979, № 2.
3. Recht R. F., Ipson T. W. Ballistic perforation dynamics. — J. Appl. Mech., 1963, N 3.
4. Awerbuch J., Hahn H. T. Hard object impact damage of metal matrix composites. — J. Composite Materials, 1976, vol. 10, p. 231.
5. Awerbuch J., Bodner S. R. Experimental investigation of normal perforation of projectiles in metallic plates. — Int. J. Solids Structures, 1974, vol. 10, p. 685.
6. Ipson T. W., Recht R. F. Ballistic-penetration resistance and its measurement. — Exp. Mech., 1975, vol. 15, N 7.

Поступила 4/VIII 1983 г.

УДК 539.4

О ВЛИЯНИИ ИСТОРИИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ НА СКОРОСТЬ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПРИ НЕМОНОТОННОМ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

А. А. МОВЧАН

(Москва)

1. Проблема определения момента разрушения в условиях немонотонного упруго-пластического нагружения включает в себя в качестве контрастных частных случаев такие задачи, как определение числа циклов до разрушения при малоциклового усталости [1, 2] и определение ресурса пластичности при сложных технологических операциях обработки металлов давлением [3]. Данная работа посвящена описанию накопления рассеянных, а не локализованных после образования макротрещины повреждений. Поэтому под термином «разрушение» понимается зарождение трещины некоторой фиксированной малой длины. Хотя внешне картины усталостного (малоциклового) и квазистатического разрушения различны [2], дислокационные субструктуры, определяющие поврежденное состояние материала на стадии накопления рассеянных повреждений, во многом сходны [4], что говорит в пользу возможности их единого описания. Диапазон скоростей деформаций и температур считается таким, что выбор масштаба времени несуществен.

Одним из возможных путей феноменологического описания накопления повреждений является введение объектов, имеющих скалярную или тензорную природу и описывающих поврежденное состояние материала. Эти объекты либо задаются в виде функционалов пути нагружения [5], либо их изменение определяется кинетическими уравнениями [6—8]. В [7, 8] кинетическое уравнение для параметра поврежденности Ω записывается в виде

$$(1.1) \quad d\Omega/dL = \lambda P,$$

где L — длина дуги пластического деформирования; P — интенсивность остаточных микронапряжений [9]; λ — постоянная.

В [7, 10, 11] принято в качестве «...рационального первого приближения» [10], что P связано конечным соотношением с интенсивностью пластических деформаций $p_i = (2/3)(p_{ij}p_{ij})^{1/2}$, где p_{ij} — тензор пластических деформаций. Уравнение (1.1) принимает при этом вид

$$(1.2) \quad d\Omega/dL = f(p_i).$$