

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ УДАРНИКОВ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ВНЕДРЕНИИ ИХ В ПРОЧНЫЕ ПРЕГРАДЫ КОНЕЧНОЙ ТОЛЩИНЫ

Горельский В. А., Захаров В. М., Клишкин К. А., Хорев И. Е.

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия, khorev@main.tusur.ru

В работе [1] описано обнаруженное в опытах по высокоскоростному взаимодействию ударников с преградами новое физическое явление в процессе соударения разно-масштабных твёрдых тел, названное автором ударно – откольной асимметрией. Оно заключается в разрушении откольной тарелочки, образующейся после пробития преграды конечной толщины остатком ударника только на нечетное количество фрагментов: 3; 5; 7; 9 и т.д.

В процессе проведения более тщательных систематических экспериментов по ударному взаимодействию высокопрочных ударников с различными преградами нами было обнаружено новое, ранее не описанное физическое явление, названное авторами «ударно – сдвиговой асимметрией» в процессе разрушения высокопрочных бойков с преградами при ударе.

Установлено, что в случае соударения высокопрочных стальных ударников со стальными преградами характер деформации и разрушения их существенно изменяется при увеличении скорости встречи ударника с преградой [2].

На рис.1 показана кривая проникания $L_k(V_0)$ высокопрочных ударников в стальную преграду (НВ170) при скоростях встречи до 2800 м/с. Высокопрочные сердечники (диаметром $d = 6$ и 10,9 мм из стали У12А, HRC 64–68) размещались в мягкой биметаллической оболочке диаметром $D = 7,62$ и 12,7 мм.

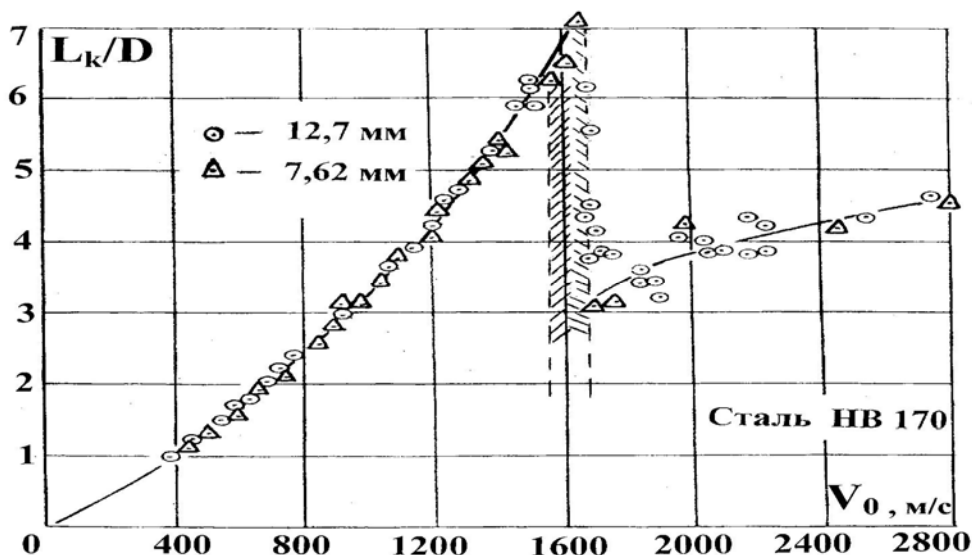


Рис. 1

Как следует из опытов, зависимость глубины внедрения от скорости имеет сложный вид и состоит из трёх существенно различных участков, обусловленных различным характером деформации и разрушения ударников в процессе проникания. В диапазоне скоростей до 1600 м/с (первый участок) ударники деформируются лишь упруго и не разрушаются, при этом глубина внедрения нарастает очень быстро. В узком диапазоне значений V_0 вблизи скорости 1600 м/с (второй участок) головная часть ударников начинает разрушаться и глубина внедрения резко падает. На третьем участке свыше 1600 м/с глубина проникания начинает вновь возрастать за счёт внедрения ос-

тавшейся (хвостовой) части ударника, но значительно медленнее, чем на первом участке. Попытки описать полученную кривую численно в исследованном диапазоне скоростей взаимодействия не увенчались пока успехом из-за неисследованной физики и механики разрушения головной части высокопрочных ударников.

Исследование уловленных в опытах остатков ударников свидетельствует о существенной нестационарности процесса разрушения материала ударника, из анализа которых следует, что в диапазоне скоростей встречи 500–1000 м/с имеет место разрушение головных частей высокопрочных ударников типа «сколов». В систематических экспериментах с ударниками цилиндрической формы с головной частью в виде плоского торца установлено, что в зависимости от скорости удара «угол срабатывания» или «угол сколов» 2β головной части ударника изменяется от 90° до 130° во всём исследованном диапазоне скоростей удара, а в диапазоне 500 – 1000 м/с он изменяется в пределах $2\beta = 90^\circ - 100^\circ$. Скалывание ударников при скоростях встречи 500 – 1000 м/с приводит к образованию существенно несимметричных головных частей исследованных ударников даже при строго осесимметричном ударе, которые напоминают по форме «зубило».

На рис.2 показан осевой срез кратера в преграде конечной толщины из стали средней твёрдости (НВ 300) толщиной 17 мм и остаток ударника с удлинением 6 калибров ($\lambda = 6$), где λ – отношение длины ударника к его диаметру, непосредственно в кратере. Скорость встречи при строго осесимметричном ударе составляла $V_0 = 1065$ м/с. Параметры цилиндрического ударника составляли: масса $m=10,8$ г, диаметр $d = 6,6$ мм, удлинение $\lambda = 6$, материал ударника – сталь 35Х3НМ. Отчётливо видна коническая форма головной части внедрившегося в преграду цилиндрического ударника.

Головная часть уловленного в опытах остатка ударника после взаимодействия с преградой частично напоминает по форме «зубило» (существенно несимметричное разрушение при ударе бойка по нормали к лицевой поверхности преграды). Это неопи-санное ранее явление названо авторами «ударно – сдвиговой асимметрией».

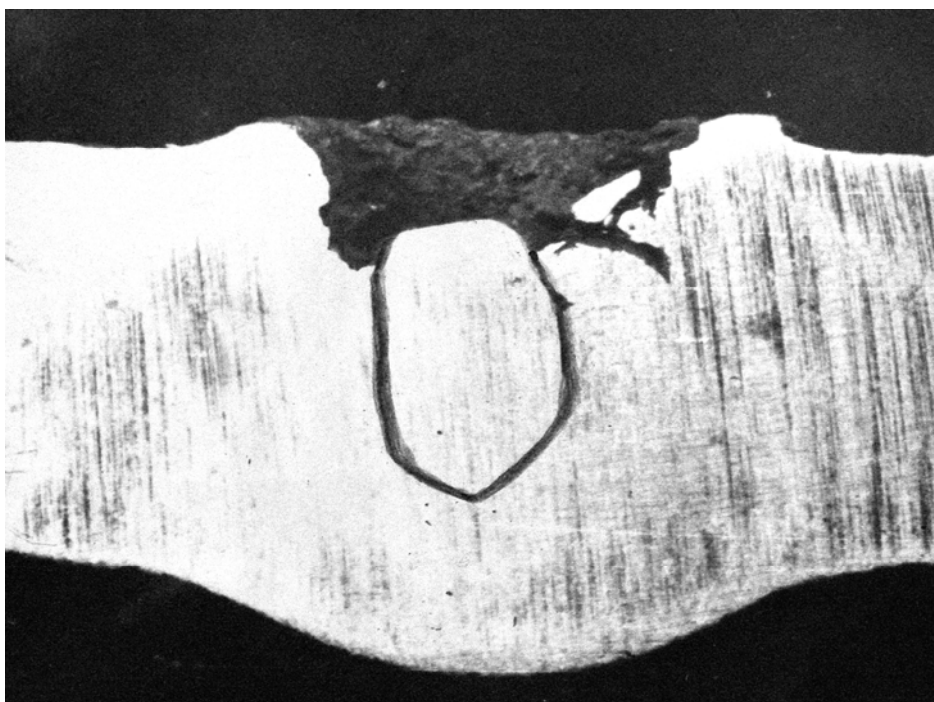


Рис. 2

Его нельзя описать в рамках осесимметричной задачи даже при строго осесимметричном взаимодействии ударников с преградами из-за несимметричного разрушения головной части бойков [3].

Представляет повышенный интерес, в связи с чрезвычайно высокой стоимостью подобных экспериментов, компьютерное моделирование этого сложного процесса с целью получения недостающей информации непосредственно из зоны высокоскоростной деформации и разрушения взаимодействующих тел.

Для математического описания поведения взаимодействующих тел используется модель повреждаемой среды, характеризующаяся наличием микрополостей (пор, трещин) [3]. Система уравнений, описывающая нестационарные адиабатные движения такой среды, включает в себя уравнения неразрывности, движения, энергии и кинетическое уравнение изменения удельного объема микроповреждений [3]. Численное моделирование проводится модифицированным методом конечных элементов, в осесимметричной постановке [4].

На рис. 3 представлен расчёт проникания стального ударника в стальную преграду толщиной 10 мм со скоростью 800 м/с в момент времени 37 мкс. В этот момент начинается разрушение головной части стального ударника.

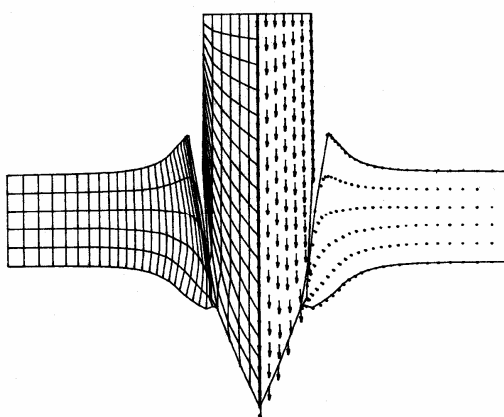


Рис. 3

Таким образом, обнаружено неопианное до настоящего времени и неизвестное ранее новое физическое явление при ударном взаимодействии высокопрочных ударников с преградами. Оно заключается в том, что в процессе проникания ударников в преграды головная часть их, даже при строго осесимметричном взаимодействии, разрушается несимметрично и имеет форму «зубило». Это явление имеет чрезвычайно важное научное (фундаментальное) и практическое значение, связанное с созданием широкодиапазонной теории динамического разрушения высокопрочных материалов (включая сверхпрочные изделия, получаемые из нанопорошков), изучением физики и механики пробивания отдельных преград и составных конструкций и разработка высокоэффективных проникающих в различные среды [4]. Представляют отдельный научный и практический интерес теоретическое объяснение этого сложного явления и разработка его полной физико-математической модели.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНП ВШ (рег. №2.1.1/4147) и РФФИ (код проекта 10-08-00398).

Список литературы

1. Хорев И.Е.// Письма в ЖТФ. 2005. Том 31. Вып. 4. С. 71-75.
2. Захаров В.М., Хорев И.Е.// Матер. 2 – го Всес. совещ. по детонации. Черноголовка, 1981. В. 2. С. 46-50.
3. Хорев И.Е.// Химическая физика. 2002. Т. 21. № 9. С. 17 – 21
4. Радченко А.В., Фортон В.Е., Хорев И.Е.// ДАН. 2003. Т. 389. № 1. С. 49 – 54.