

чтобы обеспечить требуемый уровень надежности. Зависимости  $N(m)$  имеют вид \*

$$N(m) = Am^{-r}, r > 0,$$

поэтому  $m_1^r = AQT/\tau$ .

Предположив, что метеорит имеет форму шара, а его плотность равна некоторой средней величине  $\rho_0$ , можно вычислить диаметр метеорита  $d_1$ , соответствующий массе  $m_1$ .

Таким образом, предлагаемая методика позволяет по заданному уровню надежности и известной метеоритной модели, включающей в себя функцию  $N(m)$ , среднюю плотность метеоритов  $\rho_0$  и их среднюю скорость  $v_0$ , определить параметры экранной защиты и стенки конструкции. В качестве примера такого расчета на фиг. 8 приведены зависимости толщины одиночной стенки (сплошные линии) и суммарной толщины экрана и экранированной стенки (штриховые линии) от задаваемого уровня надежности для различных «экспозиций»  $QT$  (кривые 1—5 соответствуют экспозициям:  $4,5 \cdot 10^3 \text{ м}^2 \cdot \text{ч}$ ,  $1,1 \cdot 10^5 \text{ м}^2 \cdot \text{ч}$ ,  $6,75 \cdot 10^5 \text{ м}^2 \cdot \text{ч}$ ,  $1,7 \cdot 10^6 \text{ м}^2 \cdot \text{ч}$ ,  $3,4 \cdot 10^6 \text{ м}^2 \cdot \text{ч}$ ). В расчетах использовалась метеоритная модель Уиппла [7]

$$N(m) = 10^{-14,48} (0,44/\rho_0)^{1,34} m^{-1,34}, \rho_0 = 2,7 \text{ г/см}^3, v_0 = 30 \text{ км/с.}$$

При расчете экранированной стенки считалось, что  $S_1 > 30$ .

Поступила 19 III 1976

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мерзиевский Л. А., Титов В. М. Пробивание пластин при высокоскоростном ударе.— ПМТФ, 1975, № 5.
2. Титов В. М., Фадеенко Ю. П., Титова И. С. Разгон твердых частиц кумулятивным взрывом.— «Докл. АН СССР», 1968, т. 180, № 5.
3. Arenz R. J. Projectile size and density effects on hypervelocity penetration.— «J. of Spacecraft and Rockets», 1969, vol. 6, N 11.
4. Титов В. М., Фадеенко Ю. П. Сквозное пробивание при метеоритном ударе.— «Космические исследования», 1972, т. 10, № 4.
5. Maiden C. J., McMillan. An investigation of the protection afforded a spacecraft by a thin shield.— «AJAA. J.», 1964, vol. 2, N 11. Рус. пер.— «Ракетн. техника и космонавтика», 1964, т. 2, № 11.
6. Мерзиевский Л. А., Фадеенко Ю. П. Разрушение тонкостенного трубопровода, заполненного жидкостью, при ударах метеоритов.— «Космические исследования», 1973, т. 11, № 6.
7. Уиппл Ф. Оценка возможности метеоритных пробоев в космических летательных аппаратах.— «Вопросы ракетной техники», 1965, № 4.

УДК 531.78.781

#### ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭЛЕКТРОННО-ИНЕРЦИОННОГО ЭФФЕКТА ПРИ УДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ СТЕРЖНЕЙ

Ю. Г. Кашаев, С. А. Новиков, В. А. Синицын

(Москва)

В широко известных опытах Толмена [1] катушка с большим количеством витков проволоки приводилась в быстрое вращательное движение и резко тормозилась. С помощью гальванометра, присоединенного к вы-

водам катушки, измерялась величина тока, вызванного инерционным движением свободных электронов относительно ионов кристаллической решетки. Вызванное этим разделением зарядов приводит к возникновению электрического поля, тормозящего движение электронов. В результате движение электронов будет таким, как если бы на них действовало электрическое поле напряженности  $E$ , определяемое соотношением

$$(1) \quad -eE = -mw,$$

где  $e$ ,  $m$  — заряд и масса электрона соответственно;  $w$  — ускорение при торможении ( $w < 0$ ).

Подробное рассмотрение электронно-инерционного эффекта дано в [2]. Из уравнения (1) можно получить выражение для тока в цепи

$$(2) \quad i_+ = \frac{m}{e} \frac{S}{\rho} w,$$

где  $S$  — поперечное сечение стержня;  $\rho$  — удельное сопротивление.

Используя данные работы [3], можно показать, что выражение (2) применимо и для случая ударного нагружения стержней в области упругих деформаций.

В [4] электронно-инерционный эффект был исследован в металлических стержнях при ударе. Измерение тока проводилось с помощью соленоида, внутри которого располагался исследуемый стержень. Показано, например, что при ударе текстолитовым стержнем по медному величина тока в последнем достигает нескольких миллиампер, т. е. является легко измеряемой величиной\*.

Непосредственное измерение зависимости ускорения от времени  $w = f(t)$  представляется весьма удобным при исследовании деформаций.

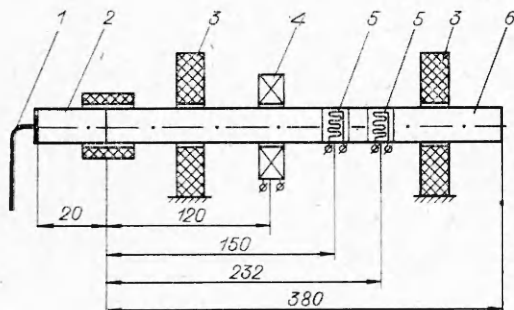
Из (2) можно показать, что в упругой области деформация стержня определяется выражением

$$\varepsilon(x, t) = \frac{k\rho}{mSc} \int_0^t i_+ dt,$$

где  $c$  — скорость звука;  $k$  — калибровочный коэффициент.

Как известно, в большинстве случаев исследования динамического деформирования проводятся с помощью тензорезисторов, которые наклеиваются на поверхность исследуемой конструкции. Таким же методом производится снятие диаграммы динамического сжатия и растяжения стержней (см., например, [5]).

Использование электронно-инерционного эффекта представляет поэтому большой интерес при исследовании динамических деформаций стержней материалов, к поверхности которых нельзя приклеить тензорезисторы (например, обладающие плохой адгезией к клеям или сильно разогретые материалы).

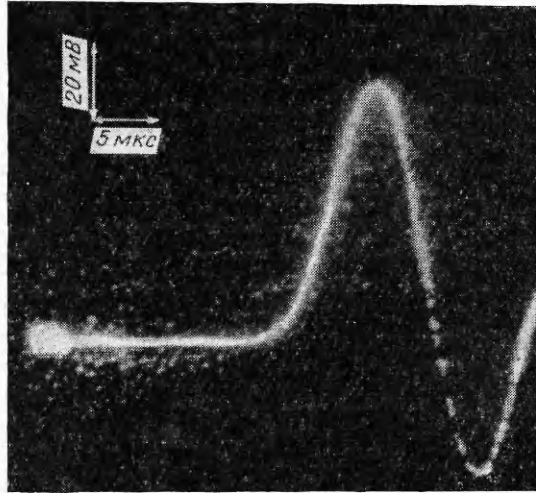


Ф и г. 1

\* В данной работе, в частности, предложено использовать этот эффект для определения деформации при ударе.

В данной работе представлены некоторые результаты применения этого эффекта для исследования поведения металлических стержней при распространении по ним упругих волн, возбуждаемых взрывом небольшого количества взрывчатого вещества (ВВ).

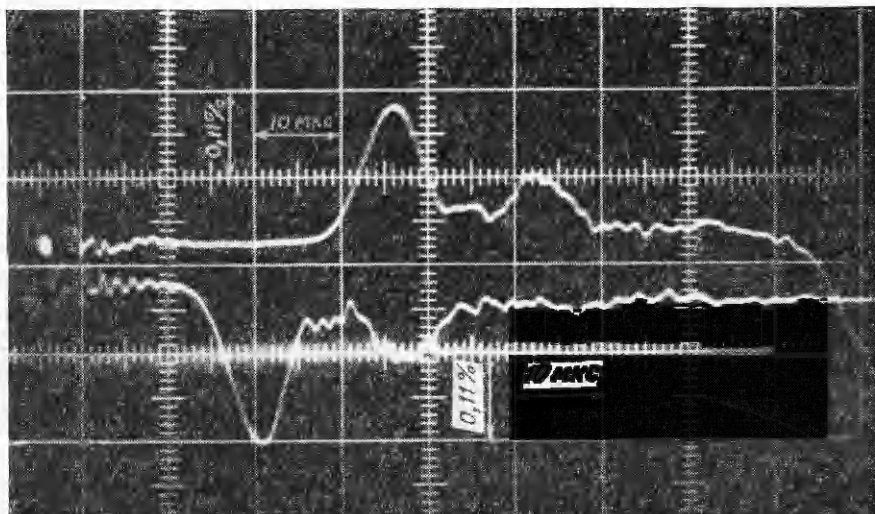
Схема опыта приведена на фиг. 1. В первой серии опытов для измерений был выбран стержень из титана  $\beta$  ( $\alpha$  — фаза) диаметром  $\varnothing = 13,7$  мм и удельным сопротивлением  $\rho = 55$  мкОм·см. Нагружение стержня осуществлялось взрывом слоя ВВ 1, наклеенного на стальной ударник 2 длиной  $l = 20$  мм. Запуск осциллографов осуществлялся от импульса подрыва детонатора через линию задержки. Деформация стержня при распространении волны регистрировалась тензорезисторами 5 марки 2ФКПД-5-100, а ток ускорения электронов — индуктивным датчиком 4. Вся сборка устанавливалась на фторопластовых опорах 3. В качестве индуктивного датчика использовалось ферритовое кольцо марки НМ с намотанными на него витками из медного провода в количестве  $n = 80-100$ .



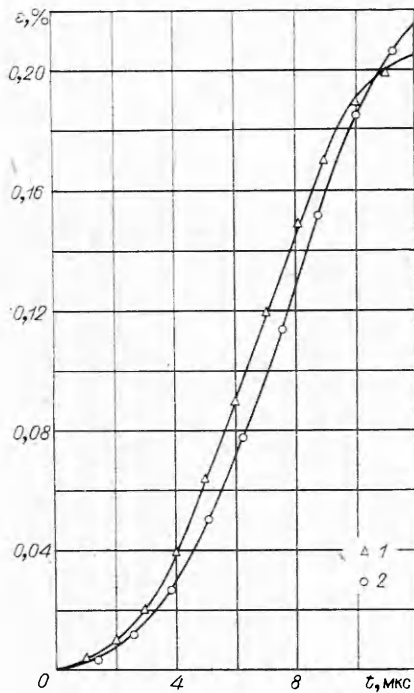
Ф и г. 2

Ферритовое кольцо с витками провода было заэкранировано алюминевой фольгой от влияния внешних электромагнитных полей, а со стороны стержня в экране делалась кольцевая щель шириной 2 мм.

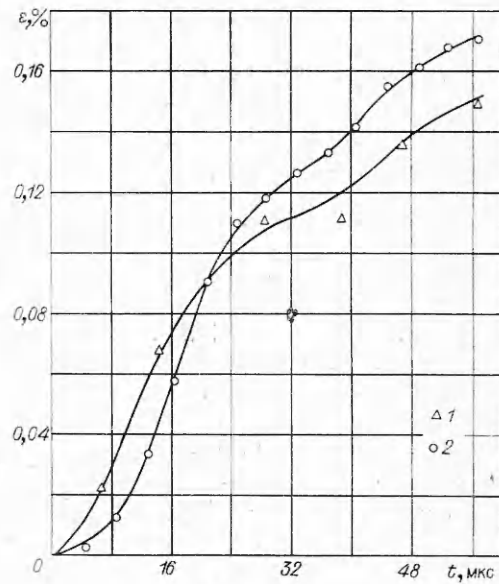
Индуктивный датчик при измерениях использовался в режиме трансформатора тока с нагрузочным сопротивлением  $R_n = 50$  Ом. Перед из-



Ф и г. 3



Ф и г. 4



Ф и г. 5

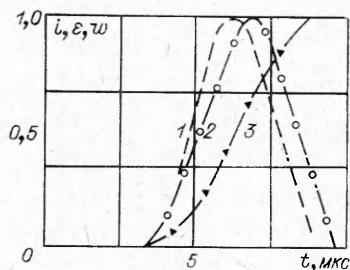
мерением датчик калибровался по коэффициенту передачи тока на частотах  $f = 10-100$  кГц.

В процессе проведения экспериментов было показано, что при измерениях происходит намагничивание ферритовых сердечников, поэтому перед каждым опытом их необходимо размагничивать переменным током с затухающей до нуля амплитудой.

Максимальное отличие измеренных в одном и том же опыте с помощью электрических тензометров и с помощью индуктивного датчика величин деформации стержня составило в этой серии экспериментов 7,5%.

Во второй серии опытов для измерений был выбран стальной стержень марки 30ХГСА диаметром 13,7 мм и удельным сопротивлением 45 мкОм·см.

Между ударником и стержнем устанавливалась прокладка из пенопласта толщиной 20 мм, плотностью  $\gamma = 0,57$  г/см<sup>3</sup>, которая служила для растяжки ударного импульса. Максимальное отличие измеренных в одном и том же опыте двумя указанными методами величин деформации в этой серии опытов составляло не более 14,7%. Типичные осциллограммы «ускорение — время» и «деформация — время» показаны соответственно на фиг. 2, 3.



Ф и г. 6

Результаты обработки этих осциллограмм в виде зависимостей  $\varepsilon(t)$  представлены графически на фиг. 4 и 5 соответственно для первой и второй серии опытов, где кривые 1 соответствуют измерениям, полученным с помощью электрического тензометра, кривые 2 — измерениям, полученным с помощью индуктивного датчика.

На фиг. 6 приведены: кривая  $\varepsilon(t)$  — 3, соответствующая измерениям, полученным с помощью электрического тензометра; кривая  $w(t)$  — 1, полученная дифференцированием кривой  $\varepsilon(t)$ ; кривая  $i(t)$  — 2, соответству-

ющая регистрируемому электрическому сигналу с индуктивного датчика. Из сопоставления кривых  $w(t)$  и  $i(t)$  видно, что характер записи регистрируемого электрического сигнала с трансформатора тока  $i(t)$  близок по форме к волне ускорения  $w(t)$ .

Проведенные эксперименты показывают, что электронно-инерционный эффект при ударном нагружении может быть использован для неконтактных измерений деформаций при высокоскоростных испытаниях материалов.

Поступила 6 IV 1976

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тамм И. Е. Основы теории электричества. М., «Наука», 1966.
2. Цидильковский И. М. Электроны и дырки в поле сил инерции.— «Усп. физ. наук», 1975, т. 115, вып. 3.
3. Parmenter R. H. The acousto-electric effect.— «Phys. Rev.», 1953, vol. 89, N 5.
4. Стихановский Б. Н. О возникновении электрического тока при ударе по металлическим и полупроводниковым телам.— «Изв. СО АН СССР», 1973, № 8, вып. 3.
5. Большаков А. П., Новиков С. А. и др. О получении диаграмм растяжения образцов при взрывном нагружении.— ПМТФ, 1975, № 1, с. 184.

УДК 539.58

### О ВЛИЯНИИ КРИТИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ СДВИГА ЗА ФРОНТОМ УДАРНОЙ ВОЛНЫ НА ОБРАЗОВАНИЕ ОТКОЛОВ

С. А. Новиков, А. В. Чернов

(Москва)

При расчетах взаимодействия волн разрежения, приводящего к разрушению материала (отколу), обычно используют гидродинамическое уравнение состояния. Такие расчеты необходимы, например, при определении величины откольных напряжений расчетно-экспериментальным методом по толщине образующегося тыльного откола в образце.

В то же время из экспериментальных работ [1—3] следует, что в области давлений до  $\approx 1$  Мбар поведение многих металлов значительно отличается от гидродинамического: критические напряжения сдвига за фронтом ударной волны сжатия, определяющие амплитуду упругой волны разгрузки, могут существенно сказываться на характере образующегося течения (например, так называемое «негидродинамическое» затухание ударных волн). Величина критического напряжения сдвига  $\sigma_*$  для металлов зависит от давления в ударной волне и достигает значений  $\sim 100$  кбар. Поэтому интересно рассмотреть образование отколов с учетом влияния напряжений сдвига за фронтом ударной волны.

Рассмотрим простейший случай образования откола при ударе пластиной-ударником по образцу (ударник и образец изготовлены из одного материала). Схема взаимодействия волн разгрузки представлена на фиг. 1 в координатах  $x - t$  (путь — время) и фиг. 2 в координатах  $p - u$  (давление — массовая скорость). Обозначенные на фиг. 2 цифрами точки (в  $p - u$  координатах) определяют состояние вещества в областях течения на плоскости  $x - t$  (фиг. 1), имеющих те же цифровые обозначения.