

ПАРАМЕТРЫ УПРУГИХ ВОЛН, ИЗЛУЧЕННЫХ ПРИ СФЕРИЧЕСКОМ ВЗРЫВЕ В МЕТАЛЛАХ С РАЗЛИЧНОЙ ПРОЧНОСТЬЮ

В. Н. Родионов, А. П. Сухотин
(Москва)

В результате взрыва заряда ВВ в твердом теле образуется волна сжатия, амплитуда которой уменьшается по мере удаления ее от центра взрыва, так что в итоге на некотором расстоянии наблюдаются лишь

Металлы	ρ_0 , г/см ³	c , м/сек	ν	σ , кг/см ²	V , см ³	R , мм	U , м/сек
А-00	2,7	6440	0,36	450	1,3	91	5
Д-16 отожженный	2,8	6470	0,33	1600	0,75	45	14
Д-16 закаленный	2,8	6570	0,33	3000	0,42	27	26

упругие колебания среды. Параметры этих колебаний зависят, в частности, от механических характеристик твердого тела.

В данной работе исследуется влияние предела текучести металла на параметры излучаемой при взрыве упругой волны сжатия. Металлы являются материалами, прочностные характеристики которых путем легирования и термической обработки могут изменяться в широких пределах при сохранении практически неизменными прочих механических свойств.

Работа проводилась с тремя металлами: алюминием марки А-00, дюралюминием отожженным Д-16 и дюралюминием закаленным Д-16, соответственно обозначенными на рис. 1, 2, 3. Выбор этих металлов обусловлен тем, что их механические свойства, за исключением прочности, практически одинаковы.

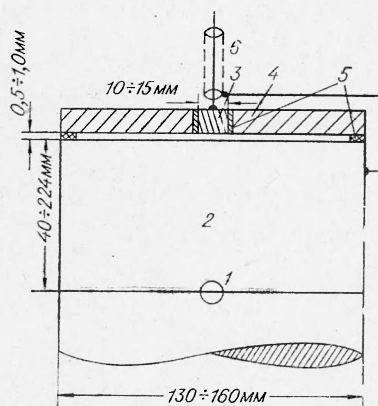


Рис. 1.

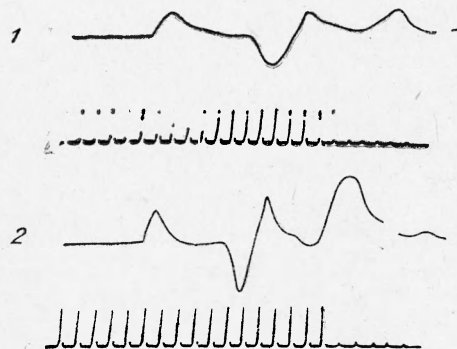
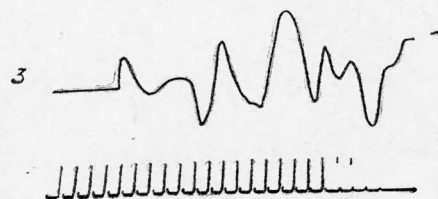


Рис. 2.



В таблице приведены значения начальной плотности ρ_0 , скорости продольных звуковых волн c , коэффициента Пуассона ν и предела текучести при одноосном растяжении σ . Все характеристики металлов были специально определены с помощью стандартных методик для тех же образцов, с которыми проводились эксперименты.

Общая схема опытов и размеры деталей показаны на рис. 1. Здесь: 1 — заряд ВВ; 2 — блок; 3 — пластина датчика; 4 — пластина охранного кольца; 5 — изоляторы; 6 — кабель. Сферический заряд взрывчатого вещества Тэна весом $q=0,2$ г. Радиус заряда $r_0=3,2$ мм устанавливался между двумя частями металлического цилиндрического блока в полусферических лунки. Половинки блока склеивались эпоксидной смолой ЭД-5.

В опытах на двух различных расстояниях от центра взрыва r (мм) измерялась скорость смещения плоских торцовых свободных поверхностей блока с помощью конденсаторных датчиков. Электрическая схема датчика была построена по принципу, описанному в работе [1]. Регистрация электрического сигнала датчика проводилась на катодном осциллографе ОК-17М.

Фотокопии типичных осциллограмм скорости смещения свободной поверхности во времени $u(t)$ показаны на рис. 2, частота меток времени 500 кгц. По осциллограммам измерялись время нарастания скорости до максимума τ_1 (мксек), время положительной фазы τ_2 (мксек) и максимальная массовая скорость u_m (м/сек). Оценки показали, что при данной геометрии опытов

массовая скорость в волне сжатия на том же расстоянии в неограниченном пространстве равна половине скорости смещения свободной поверхности, а временные параметры движения свободной поверхности не отличаются от параметров волн сжатия. Результаты измерений τ_1 , τ_2 , u_m при-

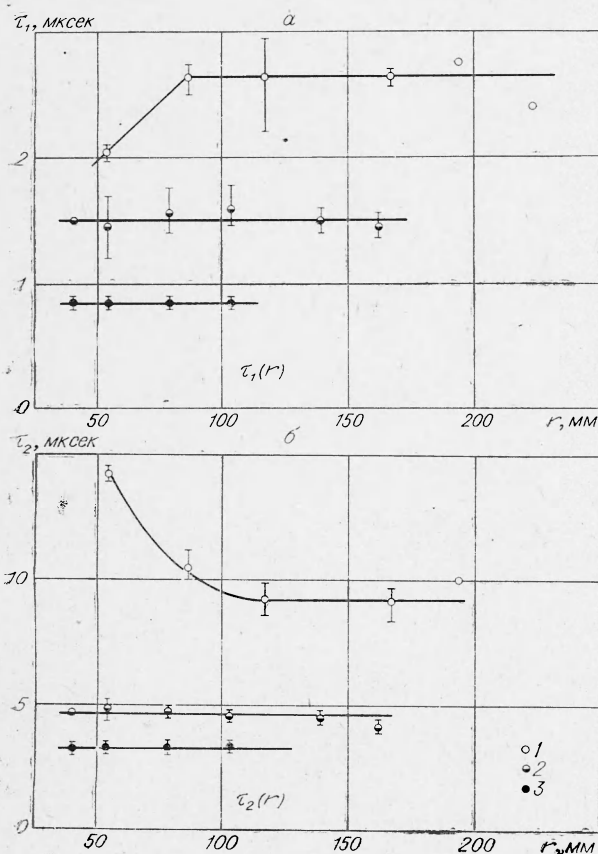


Рис. 3.

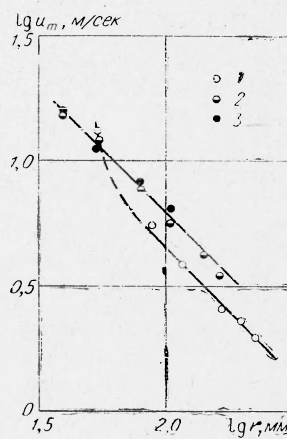


Рис. 4.

ведены на рис. 3, 4, где точки соответствуют средним значениям параметров, а отрезки прямых показывают пределы разброса экспериментальных значений. Средняя по всем опытам величина разброса значений максимальной скорости равна 6%.

Данные показывают, что время нарастания и время положительной фазы волны сжатия в металлах 2 и 3 не изменяются с расстоянием. В алюминии τ_1 вначале увеличивается с расстоянием, достигая значения $\tau_1 \approx 2,6$ мксек при $r=90$ мм, на больших расстояниях время нарастания не изменяется. Время положительной фазы уменьшается с расстоянием, стремясь к постоянному значению $\tau_2=9$ мксек. Зависимость максимальной скорости смещения в волне сжатия от расстояния для всех металлов имеет вид

$$u_m \sim \frac{1}{r}$$

(сплошная линия на рис. 4).

Более сильное затухание наблюдается лишь на расстояниях $r < 100$ мм при взрыве в алюминии.

Законы изменения временных и амплитудных параметров зарегистрированных волн дают основание считать, что это упругие волны. Поскольку начальные условия опытов были одинаковы, наблюдаемые различия во временных параметрах обусловлены, очевидно, только влиянием прочности металлов. Увеличение предела текучести в ~ 7 раз приводит к уменьшению времени нарастания и времени положительной фазы приблизительно в 3 раза.

В опытах измерялись и конечные объемы взрывных полостей V . Влияние прочности на этот параметр видно из таблицы.

Используя результаты экспериментов, можно рассчитать значение максимальной массовой скорости U на границе упругой области и ее радиус R . Изменение τ_1 в упруго-пластической волне происходит потому, что скорости распространения максимальной амплитуды и вступления волны в области пластических деформаций отличаются друг от друга. Известно [2], что фронт пластической волны распространяется со скоростью $c_0 = \sqrt{\frac{K}{\rho_0}}$ (K — модуль объемного сжатия), а скорость начала упругого вступления, очевидно, равна c . Причина $c_0 = \text{const}$, из геометрических построений легко получить для R формулу

$$R = \frac{c \cdot c_0 \cdot \tau_1}{c - c_0} + r_0.$$

В таблице приведены значения R , а также значения U , соответствующие статическому пределу текучести, которые были вычислены в предположении, что массовая скорость вплоть до максимума возрастает во времени по линейному закону

$$U = \frac{\sigma(1-\nu)}{\rho_0 c(1-2\nu) \left(1 + \frac{c \tau_1}{R}\right)}.$$

Зависимость приведенной максимальной массовой скорости от приведенного расстояния, показанная на рис. 5, служит доказательством того, что размеры области пластических деформаций определяются статическим значением предела текучести металла.

Результаты настоящей работы и уравнения теории упругости позволяют воссоздать всю картину движения и состояния металла в упру-

гой области. По экспериментальным эпюрам $u(t)$ были рассчитаны функции $f(\xi)$, характеризующие упругие потенциалы движения металлов. Графики функции $f(\xi)$ (мм^3), первой $f'(\xi)$ ($\text{мм}^3/\text{мксек}$) и второй $f''(\xi)$ ($\text{мм}^3/\text{мксек}^2$) производной для отожженного (I, масштаб справа) и закаленного дюралюминия (II, масштаб слева) показаны на рис. 6.

$$\varphi = \frac{f(\xi)}{r},$$

где $\xi = t - \frac{r}{c}$.

Представляет интерес поведение границы R_* , на которой разность главных напряжений равна пределу текучести металла. На рис. 7 показано движение границы R_* закаленного дюралюминия в зависимости от положения фронта волны. Вначале граница движется от центра взры-

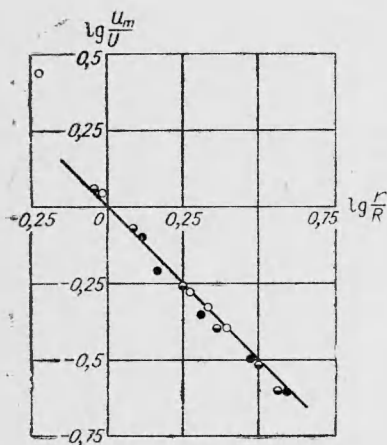


Рис. 5.

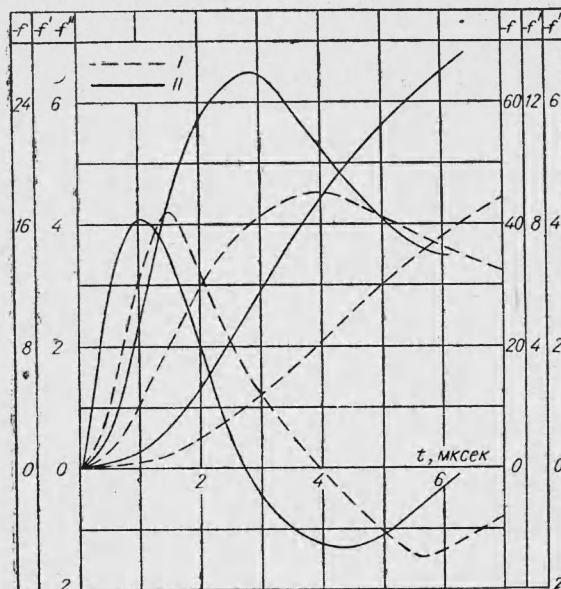


Рис. 6.

ва, затем, достигнув положения $R_* \approx 32 \text{ мм}$, начинает смещаться к центру. Возрастное перемещение границы прекращается на расстоянии $\approx 27 \text{ мм}$. Следует отметить, что движение R_* к центру происходит в период времени, когда массовые скорости вблизи этой границы по-прежнему направлены от центра. Влияние предела текучести на движение границы R_* видно из рис. 8. Сравнение показывает, что увеличение

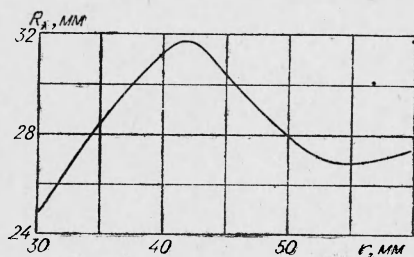


Рис. 7.

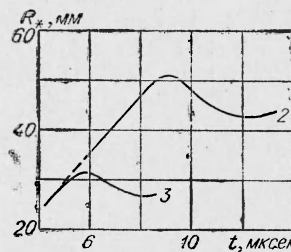


Рис. 8.

предела текучести сказывается как на амплитуде, так и на временных параметрах движения границы R_* .

В проведении работы принимали участие С. Д. Викторov, О. Н. Короткова, Н. М. Цыганов, которым авторы выражают свою благодарность.

*Поступила в редакцию
19/VI 1970*

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Г. Иванов, С. А. Новиков, В. А. Синицын. ФТТ, 1963, 5, 1.
 2. Д. Вуд. Сб. «Механика», 1953, № 5.
-