

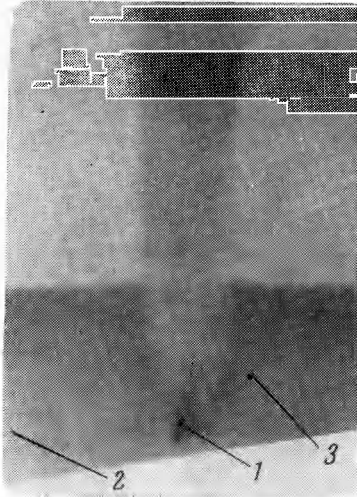
ОПЫТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТЕОРИТНОГО УДАРА

М. М. Русаков (Москва)

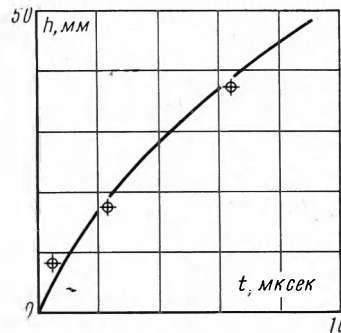
Описаны результаты опытов по удару компактной массой плотностью  $\sim 1 \text{ г/см}^3$  со скоростью  $24 \text{ км/сек}$  по преградам из полистирола и стали.

Вопреки ожиданию, удар оставлял в преграде глубокие и узкие пробойны, т. е. оказался непохожим на точечный поверхностный взрыв.

В последнее время появилось много исследований удара твердых тел по преградам с космическими скоростями. Однако для скоростей выше  $10 \text{ км/сек}$  они носят теоретический характер и дают сильно различающиеся результаты [1-5]. В них предполагается или «взрыв» ударяющего тела на поверхности преграды [1], или его растекание и распространение ударной волны в преграде [4], или проникание в преграду и взрыв на глубине [3].

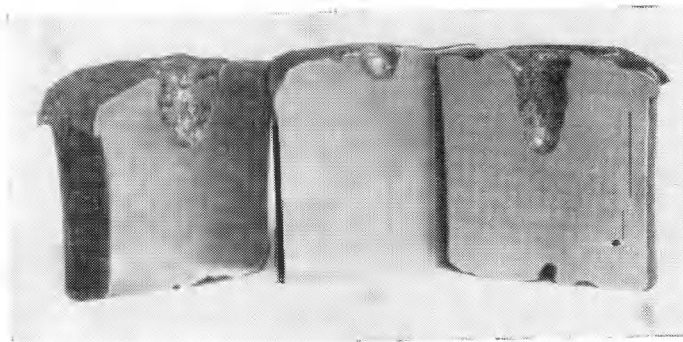
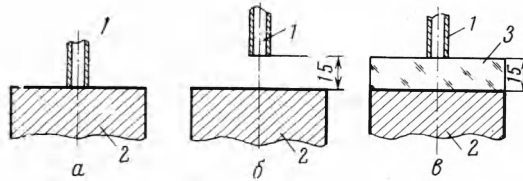


Фиг. 1. Рентенограмма сгустка, движущегося в преграде из полистирола: 1—сгусток, 2 — преграда, 3 — ударная волна



Фиг. 2. График проникания сгустка в преграду из полистирола

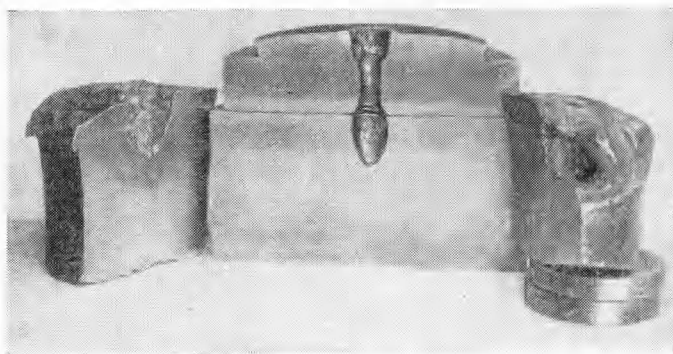
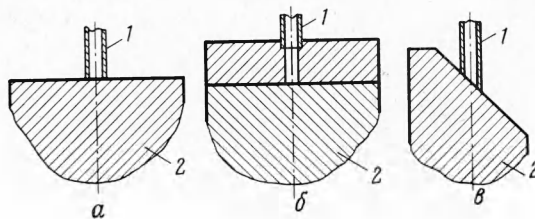
При больших скоростях удара, видимо, правильна картина точечного поверхностного взрыва, однако неясно, при каких скоростях эта картина становится похожей на асимптотическую [1].



Фиг. 3. Кратеры, образовавшиеся в стальных преградах при ударе сгустком: а — непосредственный удар, б — удар через воздух, в — удар через оргстекло; 1 — трубка, по которой движется сгусток, 2 — преграда, 3 — оргстекло

Компактной массой, представляющей собой сгусток частиц вольфрама с плотностью около  $1 \text{ г/см}^3$ , движущейся со скоростью  $24 \text{ км/сек}$ , производился удар по преградам из полистирола и стали. Сгусток диаметром  $5 \text{ мм}$  и длиной около  $10 \text{ мм}$  подвигался к преграде по трубке из оргстекла с толщиной стенок  $1.5 \text{ мм}$  и длиной  $\sim 100 \text{ мм}$ , заполненной воздухом.

В случае полистироловой преграды процесс пробоя фиксировался в несколько моментов времени при помощи импульсного рентгена. Было обнаружено, что сгусток проникает в преграду без заметного расширения в стороны, т. е. без взрыва. Рентгенограмма сгустка, движущегося в преграде, показана на фиг. 1. Ударная волна в преграде в первый период движения сгустка «сидит» на его носке. Она светится, и движение ее головной части было записано при помощи сверхскоростной фоторегистрирующей установки СФР-2М. Результат опыта показан на фиг. 2, где нанесены также три точки, полученные импульсным рентгенографированием.



Фиг. 4. Кратеры, образовавшиеся в стальных преградах при ударе сгустком: а — прямой удар, б — удар в «замкнутое» пространство, в — удар под углом  $45^\circ$ ; 1 — трубка, 2 — преграда

Начальная скорость проникания сгустка в полистирол составила  $11.5 \text{ км/сек}$  или около половины скорости удара, что соответствует равенству динамических жесткостей сгустка и преграды.

Результаты удара сгустком по стальным преградам для различных условий удара показаны на фиг. 3 и 4.

Из описанных опытов видно, что в преграде из полистирола сгусток движется аналогично движению твердого тела в газе. На рентгенограмме видно, что он в стороны не расширяется, а ударная волна в преграде «сидит» на его носке. Ни взрыва сгустка, ни его растекания в стороны не наблюдается. Более того, преграда даже предохраняет его от расширения, свойственного ему как диспергированному телу при свободном полете. В самом деле, удар по стали через слой оргстекла оставляет в ней пробоину, гораздо более глубокую, чем удар через такой же слой воздуха (фиг. 3).

Форма кратеров в стальных преградах (фиг. 3 и 4) показывает, что «взрыва» сгустка не происходит и здесь. В случае «взрыва» при ударе в «замкнутое» пространство кратер должен был быть близким к сферическому и располагаться в обеих частях преграды, чего в действительности нет. Таким образом, при достигнутых скоростях картина пробоя еще совсем не похожа на точечный поверхностный взрыв, т. е. эта асимптотика, видимо, еще очень далека. Причина этого не вполне ясна — недостаточно большие скорости, роль прочности преграды или что-то другое.

Автор искренне благодарит Е. И. Забабахина за ценные советы при обсуждении результатов и И. И. Евгеньева и С. Г. Шпак за помощь в проведении опытов.

Поступила 9 XII 1965

## ЛИТЕРАТУРА

1. З е л ь д о в и ч Я. Б., Р а й з е р Ю. П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. Физматгиз, 1963.
2. Л а в р е н т ь е в М. А. Проблема пробивания при космических скоростях. Искусственные спутники Земли, 1959, № 3.
3. С т а н ю к о в и ч К. П. Элементы теории удара твердых тел с большими (космическими) скоростями. Искусственные спутники Земли, 1960, № 4.
4. С а г о м о н я н А. Я. К задаче о взаимодействии тел с очень большими скоростями. Докл. АН СССР, 1964, т. 156, № 5.
5. У и п л Ф. А. Оценка возможности метеоритных пробоев в космических летательных аппаратах. Вопросы ракетной техники. Сб. перев. и обз. ин. период. лит., 1965, № 4.

## ОБ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ РАЗМЕРАХ ЗОН РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ВЗРЫВАХ

Д. М. Камышников

(Москва)

Устанавливается зависимость между размером полости камуфлетного взрыва и размером зоны разрушения окружающей пористой среды.

Относительный размер зоны разрушения определяется скачком плотности и не зависит от величины плотности энергии и величины заряда.

При камуфлетных взрывах зарядов любой формы замечено, что смещение среды, окружающей заряд, имеет место в пространстве существенно ограниченных размеров [1]. Согласно сказанному в работах [2-4], можно утверждать, что зона максимально разрушенной среды ограничивается и отделяется от окружающего ненарушенного (точнее — слабо деформированного) массива сферическими трещинами.

Для определения радиуса  $R_1$  зоны сферических трещин отслаивания предлагается использовать следующее соображение.

Вследствие ограниченности объема среды, деформированной энергией взрыва, будем предполагать, что свободный объем камуфлетной полости образовался за счет полного устранения или частичного уменьшения порового пространства в зоне разрушенной среды. Пусть в недеформированном до взрыва пространстве среда обладала пористостью  $n_0$ , плотностью  $\rho_0$  и минералогической плотностью  $\rho_*$ , связанными следующим соотношением:

$$n_0 = \frac{\rho_* - \rho_0}{\rho_*} \quad (1)$$

Здесь  $n_0$  — пористость или объем пор единицы объема породы, а  $\rho_*$  — масса единицы объема породы без пор.

После взрыва заряда ВВ, занимавшего сферический объем радиуса  $R_0$ , соответственные величины приняли значения  $n$  и  $\rho$ , также связанные условием (1). Причем подчеркиваем, что эти изменения произошли только в зоне отслоившейся уплотненной среды в объеме некоторого радиуса  $R_1$ . Следуя условию сохранения массы в заданном объеме несжимаемой среды до и после взрыва, получим уравнение вида

$$\int_V^V \rho dV = \rho_0 (V_1 - V_0) \quad (2)$$

Здесь  $V_0$ ,  $V$  и  $V_1$  — объемы заряда, камуфлетной полости и зоны откола соответственно.

В первом приближении плотность в зоне разрушений может быть принята постоянной  $\rho = \rho_2 = 0,5 (\rho_0 + \rho_1)$ , либо линейно зависящей от радиуса  $r$  в виде

$$\rho = \rho_1 - \frac{\rho_1 - \rho_0}{R_1 - R} (r - R) \quad (3)$$

где  $\rho_1$  — плотность на стенке полости.

При этом соотношение (2) примет вид

$$\frac{1 - n_2}{1 - n_0} V = V_1 \frac{n_0 - n_2}{1 - n_0} + V_0 \quad (4)$$