

## ЛИТЕРАТУРА

1. M. van Thiel, B. J. Alder. *Molec. Phys.*, 1966, **10**, 427.
2. M. van Thiel, M. Ross et al. *Phys. Rev.*, 1973, **31**, 16, 979.
3. Г. К. Уайт. Экспериментальная техника в физике низких температур. М., Физматгиз, 1961.
4. V. M. Titov, V. V. Sil'vestrov. *Proc. 9-th Int. Shock Tube Symp.*, Stanford, 1973, p. 523—533.
5. P. N. Keeler, E. B. Royce. *Proc. Int. School of Physics "Enrico Fermi"*, cours 48, ed. by P. Caldirola and H. Knoepfel, New York — London, Acad. press, 1971.
6. В. М. Титов, Н. С. Титова, Ю. И. Фадеенко. Докл. АН СССР, 1968, **180**, 5.
7. А. Н. Дремин, С. Д. Савров и др. Детонационные волны в конденсированных средах. М., «Наука», 1970.

УДК 541.12.03.

## О ПЕРЕНОСЕ ВЕЩЕСТВА ПРИ УДАРНОМ СЖАТИИ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ АМПУЛАХ

*Е. Я. Куцовский, А. М. Ставер*

(Новосибирск)

Для исследования физико-химических явлений при ударном нагружении часто применяются цилиндрические ампулы [1, 2]. Структура возникающего в них течения за ударными волнами описана в работе [3]. В этой работе для изучения особенностей течения использовались рентгеновская и электромагнитная методики. Как показали проведенные исследования, обжатие ампул возможно в режимах ударного сжатия слабыми ударными волнами, с образованием конической волны и с образованием «маховской волны». Течение за ударными волнами во всех режимах отличается значительной неоднородностью. Особенно сложная картина течения возникает в третьем режиме. Экспериментально зафиксированные градиенты скоростей в потоке составили 3—4 тыс. м/с на 1 мм поперечного сечения ампулы. При обжатии ампулы в режиме с образованием маховской волны реализуются наиболее высокие параметры ударного сжатия — давление, температура, скорости потока. В этом режиме оказалась сложной и картина переноса вещества.

Цель настоящей работы — дальнейшее изучение переноса вещества в цилиндрических ампулах. Для этого была разработана методика с использованием радиоактивных индикаторов. В стальную ампулу с наружным диаметром 30 мм, внутренним — 24 мм, длиной 180 мм засыпалась медь МО с размером частиц 20—40 мкм. Плотность засыпки составляла 4 г/см<sup>3</sup>. На расстоянии 60 мм от нижней пробки устанавливался стаканчик из конденсаторной бумаги с радиоактивным изотопом. Толщина радиоактивного слоя составляла 0,5 мм. При установке стаканчика принимались меры против попадания изотопа на стенки и в порошок ампулы.

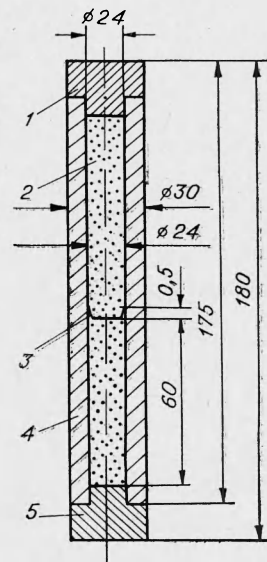


Рис. 1. Схема экспериментальной сборки.

1 — верхняя пробка; 2 — порошок меди; 3 — изотоп; 4 — корпус ампулы; 5 — нижняя пробка.

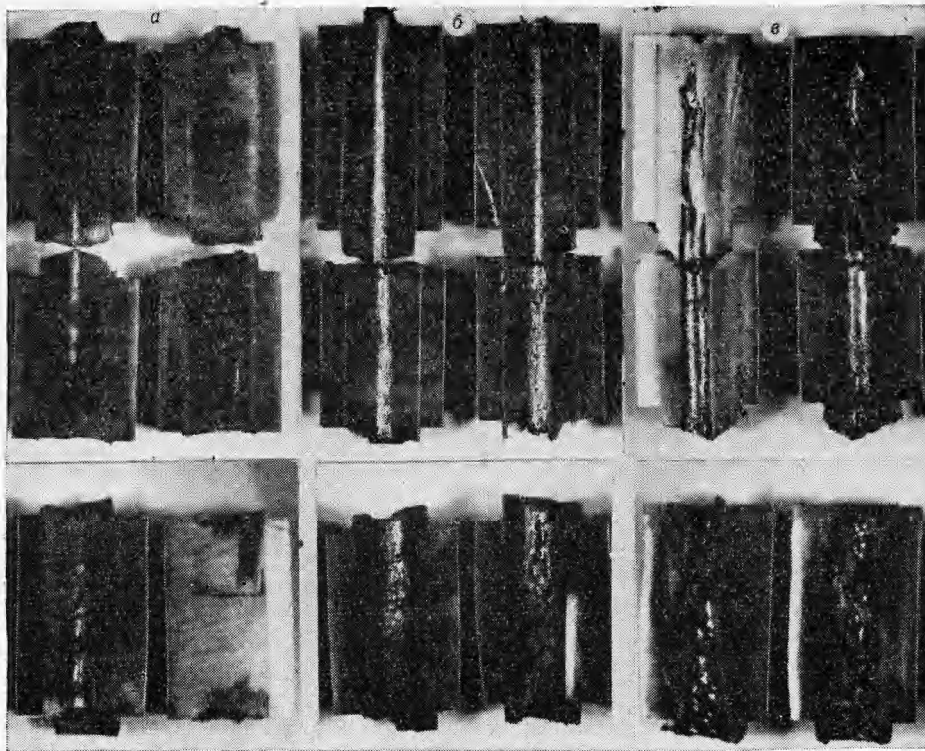


Рис. 2. Фотографии образцов с диаметром заряда 60 (а), 80 (б) и 100 мм (в).

В качестве индикатора использовался изотоп  $W^{185}$  в виде порошка с максимальной энергией  $\beta$ -спектра 0,43 МэВ. В некоторых опытах применяли изотоп цинка. Ампула располагалась по оси цилиндрического заряда взрывчатого вещества 6ЖВ (рис. 1). Диаметр заряда в опытах изменялся от 60 до 100 мм.

После взрывного обжата ампулы разрезались по высоте на три части. Стаканчик с радиоактивным изотопом оставался в нижней части ампулы относительно направления детонации. Каждый из полученных образцов разрезался продольно на две половины. Для исключения механического переноса радиоактивного изотопа разрезание и шлифовка поверхностей производились изолированно с использованием отдельных шлифовальных и режущих принадлежностей. Ядерное излучение изотопа регистрировалось фотографическим методом, который позволяет достаточно точно установить характер распределения радиоактивных веществ по плотности потемнения фотоэмульсии [4].

Результаты экспериментов представлены на рис. 2, а — в, 3, а — в. На рис. 2 показана фотография полученных образцов. По оси ампулы наблюдается канал (см. рис. 2, б, в), который образовался в процессе обжата. Из фотографий видно, что диаметр канала растет с увеличением диаметра заряда. Направление детонации сверху вниз. На рис. 2, а темная поперечная полоса указывает на положение изотопа в ампуле. При обжате зарядом ВВ с диаметром 100 мм (см. рис. 2, в) полость имеет утолщения и разрывы, на стенках полости просматриваются расправы. Описанная картина возникает при взрывном обжате ампулы в режиме с образованием трехударной конфигурации, которая подробно описана в [3].

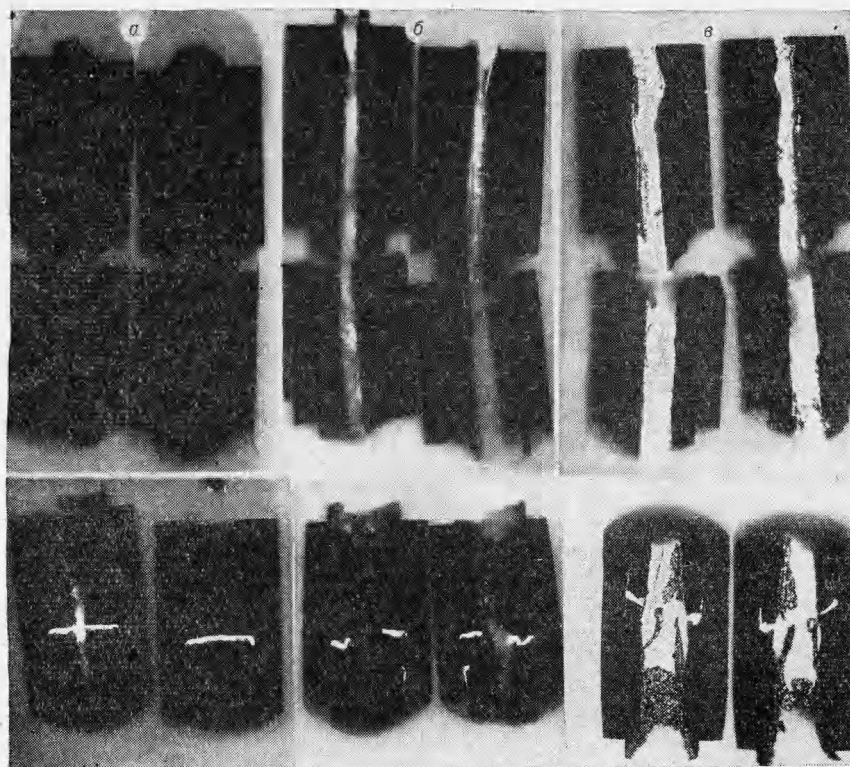


Рис. 3. Фотографии образцов, полученные автордиографическим методом. Обозначения аналогичны рис. 2.

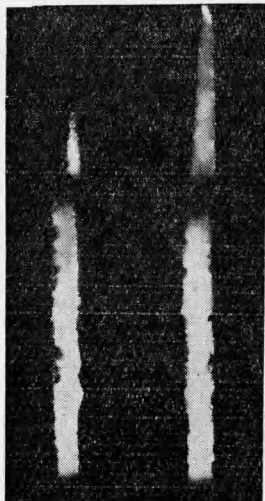
На рис. 3 приведены фотографии, полученные с тех же образцов автордиографическим методом. Светлые места соответствуют скоплению изотопа. Из фотографий видно, что в результате ударного сжатия ампулы изотоп перемещается вдоль образованного канала. Интенсивность засветки указывает на концентрацию изотопа вдоль канала ампулы. Интенсивность возрастает в направлении детонации и с увеличением диаметра заряда. Вдоль канала можно выделить области равномерного засвечивания и области скопления матричного материала с изотопом. Перенос изотопа в направлении детонации аналогичен переносу в ампуле, описанному в работе [3]. Движение изотопа вверх по каналу неожиданно и, насколько известно, в литературе не описано.

Была предпринята попытка объяснить такой перенос с гидродинамической точки зрения, рассмотрев процесс отражения ударной волны в пористом материале от жесткой стенки — нижней пробки ампулы. С этой целью были проведены эксперименты по сжатию порошков с изотопом в ампулах без нижней пробки, исключая тем самым возникновение отраженных ударных волн. На рис. 4 показана автордиография продольного сечения такой ампулы, из рассмотрения которой следует, что картина распределения изотопа существенно не изменилась.

По нашему мнению, наблюдаемая картина переноса вещества объясняется:

1) переносом вещества в турбулентном потоке, возникающем за трехударной конфигурацией [3];

2) конвективным переносом вещества в газовой фазе. Переход вещества в газообразное состояние при ударном сжатии, по-видимому, возможен в местах возникновения максимальных градиентов скоростей



вследствие значительного выделения в них тепла. В описываемых экспериментах максимальные градиенты наблюдаются на границе взаимодействия высокоскоростного и низкоскоростного потоков. Предположение о переносе вещества в газовой фазе в некотором смысле подтверждается равномерным покрытием изотопом образовавшегося канала. В условиях течений с большими градиентами испарение материала может происходить в тонких поверхностных слоях частиц;

3) тем, что на перенос вещества в ампуле, по-видимому, существенное влияние может оказать воздух, сжимаемый вместе с порошком.

Для окончательного ответа на вопрос о механизме переноса вещества при ударном сжатии необходимы дополнительные исследования.

Авторы выражают благодарность за помощь в проведении экспериментов *Ш. А. Акимову* и *В. М. Тартаковскому*.



*Рис. 4.* Фотографии, полученные автордиографическим методом с образцов, изготовленных в ампуле без нижней пробки.

*Поступила в редакцию  
2/VIII 1974*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. С. С. Бацанов, А. А. Дерибас. НТПГВ, 1965, 1, 1.
2. Г. А. Адауров, А. Н. Дремин и др. ФГВ, 1967, 3, 2.
3. А. М. Ставер. В кн.: 1-st Intern. Symposium on Explosive Cladding. Marianske-Lazne, 1970. Pardubice — Semtin, 1971, 343—351.
4. А. Я. Абрамов, Л. И. Кононович. Завод. лаб., 1958, 24, 8.

#### ЗАМЕЧАНИЯ ПО ПОВОДУ СТАТЬИ «СЕРИЯ ВОЛИ СЖАТИЯ ЗА ДЕТОНАЦИОННЫМ ФРОНТОМ»<sup>1</sup>

*П. А. Уртьев*

*(Калифорнийский университет, Калифорния, США)*

Авторы рассматриваемой статьи наблюдали серию волн сжатия за детонационным фронтом, отличающуюся от колебаний в многофронтной детонации, приведенных в [1]. Было также замечено, что эти волны серии отличаются от самоподдерживающихся вторичных волн, которые:

<sup>1</sup> А. А. Васильев, Т. П. Гавриленко, М. Е. Топчян. ФГВ, 1973, 9, 1, 144.