

Следует также отметить, что в опытах с вынужденной конвекцией благодаря большой скорости азотного потока (от 20 до 40 м/сек) создаются условия, препятствующие скоплению у поверхности пороха большого количества газообразных продуктов разложения. Концентрация их в азотной струе очень мала, а температура равна почти комнатной. Небольшая плотность газа в ламинарном подслое у поверхности пороха (примерно на три порядка меньше плотности пороха) и незначительная толщина этого подслоя не могут обеспечить поджигания продуктов разложения в нем при температуре T_p . С другой стороны, при свободной конвекции ($H=0,8 \text{ см}^{-1}$) продукты разложения находятся у поверхности пороха в подогретом воздухе в более высокой концентрации (и в присутствии кислорода воздуха), занимая значительно больший объем, чем при вынужденной конвекции.

Тем не менее в обоих случаях температуры поджигания T_p практически не различаются, а закономерность изменения поджигающего импульса в зависимости от внешних условий одинакова и определяется целиком плотностью подводимого светового потока и величиной коэффициента теплоотдачи в окружающую среду в соответствии с представлениями о тепловой природе поджигания пороха в конденсированной фазе.

Поступило в редакцию
27/VI 1967

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Ковальский, В. Ф. Михеев, С. С. Хлевной. ФГВ, 1967, 3, 4.
2. А. А. Ковальский, В. Ф. Михеев, С. С. Хлевной. ФГВ, 1968, 4, 1.
3. В. В. Александров, Э. В. Конев и др. ФГВ, 1966, 1.

СЖИМАЕМОСТЬ ПОРОШКООБРАЗНОГО УРОТРОПИНА

В. К. Боболев, В. А. Буров, А. В. Дубовик
(Москва)

В последнее время ряд исследований был посвящен изучению динамической сжимаемости порошкообразных неорганических материалов, главным образом металлов (список опубликованных работ можно найти в обзорах [1—2]) в диапазоне сравнительно высоких давлений от $\sim 100 \text{ кбар}$ до $\sim 10 \text{ мбар}$. Для некоторых практических приложений определен интерес представляет знание сжимаемости порошков органических веществ в области низких давлений (до 100 кбар). Сведения в литературе по этому вопросу практически отсутствуют. Известна работа [3], в которой изучалась сжимаемость порошкообразного ВВ — тэна. Однако при приложении ударных нагрузок выше $\sim 3 \text{ кбар}$ тэн детонировал, что не позволило авторам указанной работы исследовать его сжимаемость в более широком интервале давлений.

В данной работе изложены результаты исследования динамической и изотермической сжимаемости гексаметилентетрамина (уротропина $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$) в области давлений от ~ 5 до $\sim 100 \text{ кбар}$. В опытах использовались образцы уротропина с насыпной плотностью $0,84 \text{ г/см}^3$ и прессованные до плотности $1,33 \text{ г/см}^3$, близкой к монокристаллической ($1,345 \text{ г/см}^3$). В опытах исследовалась сжимаемость уротропина различной дисперсности $\sim 0,1 \text{ мм}$ и $\sim 0,5 \text{ мм}$.

Динамическая сжимаемость уротропина при давлениях до $\sim 50 \text{ кбар}$ изучалась с помощью электромагнитного метода [4]. Ударная волна, создаваемая зарядом ВВ, воспринималась исследуемым веществом через слоистый (медь+плексиглас) экран. Специальными опытами было установлено, что ударная волна, взаимодействующая с датчиком установленным на расстоянии 55 мм от экрана, была достаточно плоской, по крайней мере, в районе движения рабочей переключной датчика. В работе применялся двухступенчатый датчик [5], что давало возможность в одном опыте независимо регистрировать в исследуемом веществе волновую и массовую скорость ударной волны. Этим достигалось снижение ошибки при расчете параметров ударного фронта. При измерении волновой скорости учитывалось затухание ударной волны в пористой среде. Характер этого затухания исследовался специальными опытами, в ко-

торых датчик располагался на разных расстояниях от экрана. Относительная ошибка при определении волновой и массовой скоростей составила $\pm 5\%$.

В области давлений от 30 до 130 кбар сжимаемость уротропина изучалась фотогографически, методом «аквариума» [6], применение которого было вызвано необходимостью сохранения электромагнита от разрушения при работе с большими зарядами ВВ. Наконец, для проверки данных, полученных с помощью ударного сжатия, было выполнено исследование изотермической сжимаемости уротропина в интервале давлений от 1 до 30 кбар методом смещающихся поршней, изложенным в работе [7]. В связи с определением ударной адиабаты уротропина насыпной плотности следует обратить внимание на следующее обстоятельство. При распространении ударной волны по образцу пористого вещества воздух в промежутках между частицами вещества, поверхность частиц и их внутренние слои во фронте волны разогреваются до различных температур, причем тепловое равновесие между ними устанавливается за время $\tau \sim \lambda^2/\kappa$, где λ — средний размер частиц вещества и κ — их температуропроводность. Для $\lambda \sim 10^{-2}$ см и $\kappa \sim 10^{-2}$ см²/сек $\tau \sim 10^{-2}$ сек. В то же время регистрация процесса занимала период около 10 мксек. В силу этого можно считать, что в наших экспериментах определялась неравновесная (в рассмотренном выше смысле) ударная адиабата уротропина насыпной плотности (полагаем, конечно, что давление успевает выравниваться по всему сечению образца, нагружаемому ударной волной).

Результаты экспериментов представлены на рис. 1—3. На рис. 1 в $(D-u)$ -координатах прямая 1 проведена через точки, полученные для порошкообразного уротропина с $\rho_0 = 0,84$ г/см³ и размером частиц 0,1 и 0,5 мм (кружками отмечены экспериментальные данные для уротропина с размером частиц $\sim 0,1$ мм), а прямая 2 — через точки для прессованного уротропина с $\rho_0 = 1,33$ г/см³.

Уравнения соответствующих прямых имеют вид:

$$1) D = 0,42 + 1,74u \text{ км/сек в области давлений от } \sim 5 \text{ до } \sim 60 \text{ кбар.}$$

$$2) D = 2,09 + 2,06u \text{ км/сек (от 30—130 кбар).}$$

Как видно из графика, ударные адиабаты уротропина насыпной плотности с различным (примерно в 5 раз) размером частиц совпадают в рассматриваемом диапазоне давлений.

Представление о характере сжимаемости уротропина можно получить из анализа кривых на рис. 2, на котором нанесены экспериментальные данные для насыпного и прессованного уротропина, а также кривая изотермического сжатия (кривая x). Как видно из рис. 2, уротропин насыпной плотности «дожимается» до кристаллической плотности сравнительно слабыми ударными волнами (около 5 кбар), и в области давлений от ~ 8 до ~ 30 кбар дальнейший ход кривой ударного сжатия уротропина практически совпадает с кривой изотермического сжатия.

В области давлений от 30 до 60 кбар кривые ударного сжатия насыпного (0,84 г/см³) и прессованного (1,33 г/см³) уротропина также совпадают. Причем указанные кривые плавно продолжают кривую изотермического сжатия.

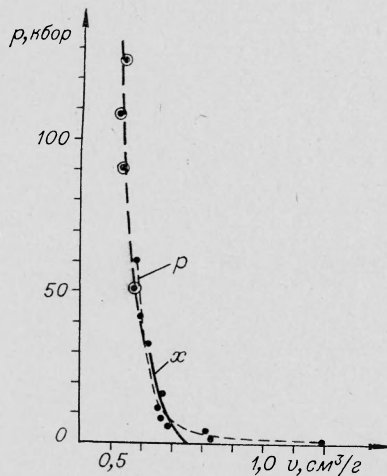


Рис. 2.

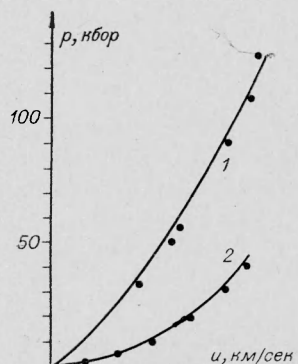


Рис. 3.

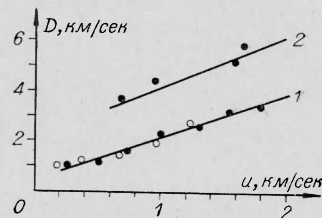


Рис. 1.

К сожалению, авторам не удалось исследовать характер ударной сжимаемости сыпного уротропина в области давлений до 100 кбар и выше, чтобы выяснить возможность расхождения кривых сжимаемости сыпного и прессованного уротропина в сравнении с найденной для образцов пористых металлов в области сравнительно высоких давлений [1]. Следует отметить плавный ход кривой изотермического сжатия, указывающий на отсутствие полиморфных превращений в уротропине в диапазоне давлений от 1 до 30 кбар.

В работе [8] предложен метод расчета ударных адиабат органических «пористых» жидкостей, основанных на знании сжимаемости сплошного вещества и степени пористости образца. Там же предложена обобщенная ударная адиабата сплошных органических жидкостей, записываемая в виде $D=1,2c_0+1,7u$, где c_0 — скорость звука в веществе. По данным о сжимаемости уротропина, приведенным на рис. 2, можно рассчитать скорость звука в уротропине $c_0=2,26$ км/сек, знание которой позволяет определить его ударную адиабату $D=2,71+1,7u$.

На рис. 3 в $(p-u)$ -координатах кривой 1 отмечена рассчитанная ударная адиабата уротропина, а кривая 2 представляет расчет ударной адиабаты сыпного уротропина при плотности $0,84$ г/см³, произведенной по формуле (10) из работы [8]. Согласие с экспериментом удовлетворительное. Напротив, рассчитанная адиабата сыпного уротропина в $(p-v)$ -координатах располагается несколько правее экспериментальной (рис. 2; расчет — кривая p). Можно указать, по крайней мере, на две возможные причины некоторого расхождения теории с экспериментом: влияние точности измерений на результаты или неправильное предположение [8] об однократном характере ударного сжатия воздуха во фронте волны. Представляется возможным считать, что в рассмотренных выше условиях эксперимента воздух в промежутках между кристаллами уротропина испытывает многократное сжатие при отражениях ударных волн от границ промежутков, в результате чего характер его сжимаемости приближается к адиабатическому, а сам он в итоге занимает ничтожный объем.

Поступило в редакцию
20/VI 1967

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. В. Альтшулер. УФН, 1965, 85, 197.
2. С. С. Бацанов. ИФЖ, 1967, 12, 1, 104.
3. G. E. Seay, L. V. Seely. J. Appl. Phys., 1961, 32, 6, 1092.
4. В. М. Зайцев, П. Ф. Похил, К. К. Шведов. Докл. АН СССР, 1960, 132, 1339.
5. А. Н. Дремин, С. В. Першин, В. Ф. Погорелов. ФГВ, 1965, 4, 3.
6. Ф. А. Баум, К. П. Станюкович, Б. И. Шехтер. Физика взрыва. Физматгиз, 1959.
7. Ю. С. Геншафт, И. Д. Лившиц, Ю. Н. Рябинин. ЖТФ, 1967, 1, 179.
8. И. М. Воскобойников, А. Н. Афанасенков, В. М. Богомолов. ФГВ, 1967, 3, 4.

ДЕЙСТВИЕ ВЗРЫВА ЛИСТОВОГО ЗАРЯДА ВВ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПЛАСТИНЫ

А. П. Рыбаков, Е. В. Ментешов, В. П. Шавков

(Москва)

В работе экспериментально исследовано образование откольных явлений при действии взрыва листовых зарядов ВВ на металлические пластины. Иницирование заряда ВВ осуществлялось таким образом, что на металлическую пластину действовала нагрузка, бегущая со скоростью детонации. Были измерены скорости искусственного и естественного отколов. В качестве ВВ был использован литой сплав тротил+гексоген 50/50, из которого изготавливались листовые заряды размером 80×150 мм. Отклонение толщины зарядов от опыта к опыту не превышало $\pm 0,1$ мм. В качестве испытываемых материалов были использованы Ст. 3, алюминиевый сплав (АМГ) и медь (М1). Все материалы брались в состоянии поставки и не подвергались какой-либо термической обработке. В опыте использовалась металлическая пластина размером