

**НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ СОХРАНЕНИЯ
УДАРНО СЖАТЫХ ОБРАЗЦОВ**

А. Н. Дремин, С. В. Першин

(Москва)

Ударные волны как инструмент научного исследования получили применение в 40-х годах. С тех пор накоплен большой экспериментальный материал по динамической сжимаемости веществ. Ударные адиабаты многих элементов и химических соединений имеют аномальный ход. Происходит либо разрыв ударной адиабаты (скачком меняется объем), либо на ней появляется угловая точка (скачком меняется модуль объемного сжатия). Эти аномалии свидетельствуют о том, что вещества претерпевают во фронте ударной волны превращение в новое состояние. На возможность таких изменений впервые обратили внимание в 1955 г. Б. Банкрофт, Е. Петерсон и С. Миншел, которые исследовали ударную сжимаемость железа и при 130 кбар обнаружили излом ударной адиабаты, свидетельствующий о переходе этого металла в более плотную модификацию [1]. Наличие фазового превращения в железе было позже подтверждено рентгеновским методом [2].

Аномальное поведение ударных адиабат наблюдалось у висмута [3], мрамора [4], парафина [5], кристаллического кварца [6], хлористого и бромистого калия [7, 8], акриламида [9] и у других веществ. Интервал давлений, в котором наблюдаются изломы адиабат, вполне достижим современными статическими методами, и для многих веществ обнаруженные в ударной волне превращения были впервые отмечены в статических экспериментах. Например, превращение графита в алмаз, графитоподобного нитрида бора в плотноупакованную кубическую модификацию BN, кварца в коэсит [6] или в степоверит [10].

Существенным отличием этих превращений в ударных условиях является их необыкновенно высокая скорость. В то время как для образования новых фаз в статических экспериментах требуются времена, исчисляемые минутами, а иногда и часами, то под действием высоких давлений ударной волны эти процессы завершаются за доли микро-секунды.

Обнаружение изломов на кривых ударной сжимаемости является первой самостоятельной частью задачи исследования физико-химических изменений веществ под действием ударных волн. Ее решение дает возможность определять параметры ударного сжатия, при которых имело место данное превращение. Для того же, чтобы ответить на вопрос, является ли превращение в данных условиях обратимым или необратимым и если необратимым, то каким именно, желательным уметь сохранить исследуемый образец в момент снятия ударной нагрузки. Сохранение образца, подвергнутого действию ударной волны с амплитудой в несколько сот тысяч атмосфер, представляет значительные трудности. Уже при сравнительно небольшом сжатии в конденсирован-

ных веществах накапливается большая потенциальная энергия, которая при резком снятии нагрузки превращается в кинетическую энергию движения вещества, что и приводит к разрушению сохраняющей ампулы и потере исследуемого образца.

В методе сохранения вещества в цилиндрической ампуле, расположенной по оси цилиндрического заряда ВВ, который инициируется с торца [11], параметры ударных волн сложного профиля определить трудно. Поэтому был избран метод сохранения веществ, сжимаемых плоской ударной волной, параметры которой при входе в исследуемый образец легко измерить. Сохранение образцов твердых веществ, сжатых плоской ударной волной, осуществлялось, например, в работах [9] и [12].

Основным интересом настоящей работы было решение задачи сохранения ударно сжатых жидкостей как объектов наиболее трудно сохраняемых, а также сохранения ударно сжатых твердых образцов с последующим разлетом их в охлаждающую среду.

В соответствии с различными поставленными задачами были разработаны три схемы сохранения ударно сжатых образцов: 1) твердых нерастворимых в воде с последующим разлетом их в воду; 2) жидкостей с последующим разлетом в замкнутое пространство и 3) жидкостей в замкнутом объеме.

1. Установка для сохранения твердых нерастворимых веществ с разлетом их в воду после ударного сжатия представляет собой сосуд, состоящий из двух стальных толстостенных (толщина стенки 20 мм) стаканов 1 и 2 (рис. 1). Верхний стакан 2 большего диаметра (внутренний диаметр 325 мм) имеет в дне ступенчатое отверстие для сменного опытного узла 3, который имеет вид опрокинутого стакана. В дне стакана 2 помещен образец испытуемого вещества диаметром 40 мм и высотой до 20 мм. Стакан в нормальном положении заливается водой

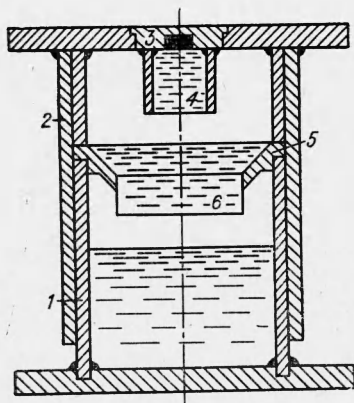


Рис. 1.

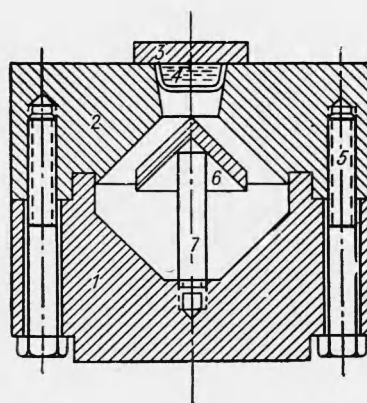


Рис. 2.

и закрывается плотно натянутой тонкой (0,8 мм) резиной 4. На расстоянии 50 мм от резинового дна сменного узла находится стальное коническое кольцо 5 с тарелкой из алюминиевой фольги (0,3 мм), в которую налита вода. На дно нижнего стакана 1 также налита вода.

Ударное сжатие образца осуществляется либо подрывом накладного заряда ВВ на поверхности сменного узла 3, либо ударом по этой поверхности металлическим ударником, разогнанным продуктами взрыва. Сразу после ударного сжатия исследуемый образец разгружается

с разлетом в воду. Сменный узел разрушается. Осколки его и смесь разрушенного образца с водой устремляются через тарелку с водой на дно установки и затем движутся вдоль стенок сосуда вверх. Для удержания этого потока служит стальное коническое кольцо 5. При такой конструкции установки этот удар воды компенсируется движением стаканов относительно друг друга. При отсутствии кольца 5 крышку верхнего стакана могло бы оторвать.

Установка хорошо выдерживает подрыв на поверхности ее узла 3 заряда 5 кг тротила. На больших зарядах установка не испытывалась. При полном заполнении установки водой она может не выдержать прилагаемых в наших опытах давлений. Об этом свидетельствуют опыты, проведенные в процессе отработки установки.

2. Установка для сохранения жидких веществ и растворов после ударного сжатия с последующим разлетом жидкостей в замкнутом пространстве состоит из двух цилиндрических стальных частей корпуса 1 и 2 (рис. 2), соединенных четырьмя болтами 5. Полость установки имеет вид колбы, в дно которой ввернут стальной штырек 7. На штырек свободно насажен полый конус 6. Исследуемая жидкость в стеклянном (или из тонкой алюминиевой фольги) стаканчике 4 помещается в горло полости и накрывается металлическим экраном 3, через который производится удар по жидкости. Сжатие жидкости осуществляется ударной волной, которая создается отражением детонационной волны от металлического экрана. Максимальный вес заряда, использованного для удара, составлял 100 г ТНТ.

В результате удара металлический экран обрезается по окружности горла, въезжает в него и натывает на конус 6. Жидкость обтекает конус, врывается под него и выбрасывает его кверху, закрывая горло полости. Так удается избежать проникновения продуктов взрыва в полость. В том, что это действительно так, убеждает вид сохранившейся цилиндрической части металлического экрана 5. После опыта он находится в горле сосуда, наполовину из него выступая. На нижней части этого цилиндрика имеется глубокий отпечаток конуса 6.

3. Сохранение замкнутого объема ударно сжатой жидкости производится в сборке, изображенной на рис. 3. Сохраняемая жидкость помещается в стальную ампулу (рис. 3, а), составленную из двух стаканов: верхнего 5 и вдвинутого в него нижнего 3. Внутренний объем ампулы 10 см³. Систему поддержки ампулы составляют стальное кольцо 2, массивный диск 1 и свинец 6, залитый в кольцевые зазоры между ампулой и кольцом 2 и между кольцом и диском 1. Стальной диск составлен из четырех секторов, стянутых банджом (см. рис. 3, б), так как сплошной диск раскалывается даже в результате слабого удара после серии сильных

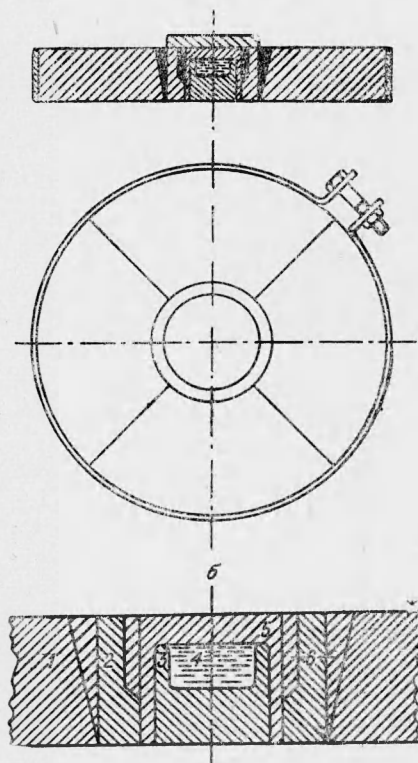


Рис. 3.

ударов. В сплошном диске сказывается усталость металла от динамических растягивающих напряжений. В составном диске эти напряжения значительно меньше.

Ударное сжатие жидкости осуществляется либо накладным зарядом взрывчатого вещества, либо ударом металлического ударника, разогнанного продуктами взрыва. Удар производится со стороны дна верхнего стакана 5. При давлениях, развивающихся в стали в плоскости, соответствующей середине слоя жидкости и равных 400-700 тыс. *атм*, для надежного сохранения замкнутого объема жидкости дно верхнего стакана прикрывается стальным экраном толщиной 10 мм. Напротив, при низких давлениях порядка 100 тыс. *атм* в стали в плоскости, проходящей через середину слоя жидкости, можно обойтись поддержкой только кольца 2 и заменить стальной экран парафиновым.

Кроме воды и других жидких веществ в этой сборке хорошо сохраняются твердые вещества, ударное сжатие которых сопровождается значительным газовыделением.

При более низких давлениях конструкция, подобная только что описанной, позволяет сохранять значительно большие объемы жидкости (до 100 *см*³).

Поступила в редакцию
24/V 1966

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Bancroft, E. Peterson, S. Minshall. *J. Appl. Phys.*, 1956, 27, 291.
2. A. S. Balchan. *J. Appl. Phys.*, 1963, 34, 2, 241.
3. R. E. Duff, S. Minshall. *Rhys. Rev.*, 1957, 108, 1207.
4. А. Н. Дремин, Г. А. Ададунов. Докл. АН СССР, 1959, 128, 261.
5. А. Н. Дремин. ПМТФ, 1960, 3, 184.
6. А. Н. Дремин, Г. А. Ададунов и др. ПМТФ, 1962, 4, 82.
7. Л. В. Альтшулер, М. Н. Павловский и др. ФТТ, 1963, 5, 1, 279.
8. А. Н. Дремин, С. В. Першин, В. Ф. Погорелов. ФГВ, 1965, 4.
9. Г. А. Ададунов, И. М. Баркалов и др. Докл. АН СССР, 1965, 165, 4, 851.
10. R. G. McQueen, I. N. Fritz and S. P. Marsh. *J. Geoph. Res.*, 1963, 68, 8.
11. Ю. Н. Рябинин. ЖТФ, 1956, 26, 2661.
12. J. Wackerle. *J. Appl. Rhys.*, 1962, 33, 922.