

## ПРЕВРАЩЕНИЕ УДАРНОГО СЖАТИЯ В ИЗЭНТРОПИЧЕСКОЕ

*А.С.Компанеев, В.И.Романова, П.А.Ямпольский*

В физике высоких давлений в последние годы часто обсуждаются новые, перспективные задачи. Сюда относятся проблемы получения сверхпроводников, металлизация диэлектриков и, в частности, получение металлического водорода и ряд других задач.

Проведение экспериментальных исследований, необходимых для решения указанных задач, ограничено теми максимальными давлениями, которые доступны современным лабораторным установкам. Эти давления, получаемые при статическом сжатии, не превышают, как правило, несколько сот килобар<sup>1)</sup>.

---

<sup>1)</sup> Имеются данные о статическом уплотнении стекла и кварца при давлении выше 2 Мбар [1].

Между тем для решения указанных выше задач требуются давления превышающие мегабар. Давления до 10 Мбар в настоящее время можно получить в ударных волнах с использованием взрывчатых веществ. Однако, имеется одно обстоятельство, лимитирующее использование ударных волн в ряде задач физики высоких давлений.<sup>1</sup>

Процессы в ударных волнах связаны с изменением энтропии. Вещество за фронтом ударной волны испытывает в связи с этим сильный нагрев. Это приводит к тому, что степень сжатия вещества в ударной волне много меньше, чем при статическом сжатии при тех же давлениях.<sup>1</sup>

Таким образом, при решении перечисленных выше проблем, где определяющим является в сущности, не давление, приложенное извне, а степень уплотнения вещества, преимущества от использования ударных волн, создающих большие давления, являются поэтому в значительной степени иллюзорными.<sup>1</sup>

В связи с этим представляется перспективной возможность трансформации ударно-волнового сжатия в изэнтропическое<sup>2)</sup>. При этом становится возможным при помощи ударных волн получать высокие сжатия вещества, недоступные современной лабораторной практике.

С этой целью ниже рассматривается задача о распространении ударной волны по среде с переменными акустическими характеристиками и определяется, каким законом должно удовлетворять изменение этой характеристики для превращения ударно-волнового сжатия в сжатие изэнтропическое.

Использовалось уравнение состояния типа Л.Д. Ландау и К.П. Станюковича в виде суммы двух составляющих, которые характеризуют упругие свойства холодного тела и тепловое давление атомов [ 2 ]. Показатель степени объема в упругой составляющей принят равным 3, а коэффициент Грюнайзена равен 2. Для простоты рассматривается вещество с переменным удельным объемом  $V_0$ , но при постоянной начальной скорости звука  $c_0$  и с постоянным коэффициентом Грюнайзена.

Так как ударная волна создает переменную энтропию, удобно вести счет в Лагранжевых координатах, считая координатой массу  $m$  на квадратный сантиметр, заключенную между входной поверхностью и данной точкой. Тогда уравнения движения имеют следующий вид:

$$(\partial v / \partial t) = (c^2 / V^2) (\partial V / \partial m), \quad (1)$$

$$\partial V / \partial t = \partial v / \partial m, \quad (2)$$

где  $V$  – удельный объем,  $v$  – скорость,  $c^2 = (\partial P / \partial \rho)_{S = const}$  ( $S$  – энтропия). Уравнение адиабаты Гюгонио принимает весьма простой вид

$$P_\Phi = (c_0^2 / V_0) [(V_0 - V_\Phi) / (2V_\Phi - V_0)], \quad (3)$$

<sup>1)</sup>Изэнтропа в твердом теле при не очень высокой температуре близка к изотерме.

где  $P_{\phi}$ ,  $V_{\phi}$  – давление и удельный объем на фронте ударной волны.

С помощью этого уравнения записываются выражения скорости фронта ударной волны и скорости вещества на фронте.

Закон распределения плотности с массой принимаем:

$$\rho_0 = \rho_{11} [1 - (m/m_0)^2]^{-1}. \quad (4)$$

Форма зависимости в большой степени произвольна. Существенно только, чтобы плотность нарастала по мере распространения волны и в разложении по степени  $m/m_0$  не содержалось линейного члена. В конкретных расчетах было принято  $m_0 = 5 \text{ г/рад/см}^2$ .

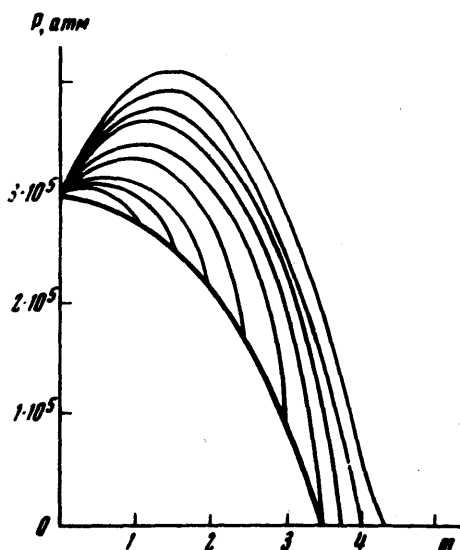


Рис. 1. Распределение давления по массе (нижняя кривая)

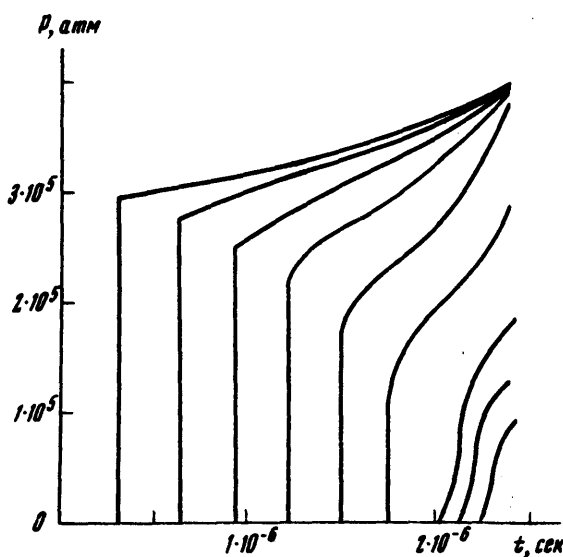


Рис. 2. Кривые изменения давления во времени для  $m = 0,52; 1; 1,53; 2; 2,5; 2,95; 3,52; 3,75; 4$  (соответственно слева направо)

Ударная волна возбуждается с помощью дѣтонации достаточно толстого слоя взрывчатого вещества примыкающего к среде при  $m = 0$ , так чтобы давление на сжимаемое вещество было постоянно.

Начальное изменение давления во фронте ударной волны описывается разложением

$$P_{\phi} = P_0 ( 1 - 1,46(m_{\phi}/m_0)^2 ). \quad ( 5 )$$

Расчеты выполненные на ЭВМ методом явной разностной схемы [ 3 ], привели к следующим результатам (рис. 1 и 2).

Получено, что при растущей плотности амплитуда ударной волны обращается в нуль при  $m = 3,5 \text{ град/см}^3$ . Дальнейшее сжатие происходит изэнтропически. На рис. 2 приведены для этого случая кривые сжатия в зависимости от времени для разных точек.

Таким образом, показано, что принципиально возможно превращение ударно-волнового сжатия в изэнтропическое.

Приносим благодарность Г.М.Гандельману за совет по выбору уравнения состояния и Х.С.Кистенбойму за указание эффективного метода численного счета.

Институт химической физики  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
14 июля 1972 г.

### Литература

- [ 1 ] N.Kawai, S.Mochizuki, H.Fuuta. *Phys. Lett.*, **34A**, 107, 1971.
  - [ 2 ] Л.Д.Ландау, К.П.Станюкович. *ДАН СССР*, **46**, 399, 1945.
  - [ 3 ] Х.С.Кистенбойм, Г.С.Росляков. *Численное решение одномерных задач о взрыве*. Изд. МГУ, 1971 г.
-