

ОПЫТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛЕТА ВЕЩЕСТВА ПОСЛЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ПО НЕМУ МОЩНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

М. М. Русаков

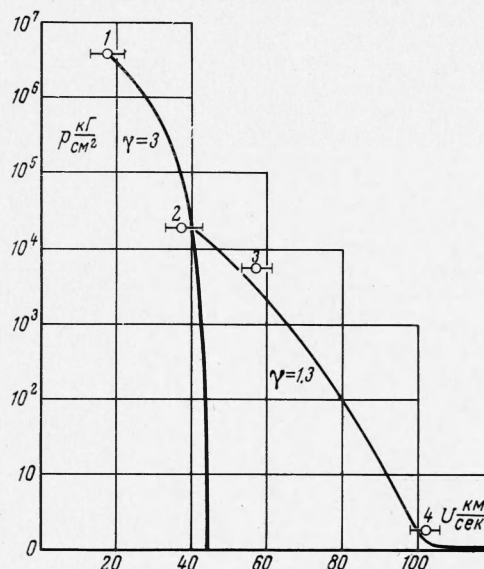
(Москва)

После прохождения по веществу ударной волны и выхода ее на свободную поверхность тела вещество начинает разлетаться. Если ударная волна мощная и внутренняя энергия нагретого вещества во много раз превосходит энергию связи атомов, то при разлете вещество испаряется и ведет себя как газ. Теория такого разлета рассматривалась Я. Б. Зельдовичем и Ю. П. Райзером [1,2]. Однако они считают, что получить окончательное решение этой задачи пока не представляется возможным, так как для описания термодинамических функций вещества в области плотностей несколько меньших нормальной плотности твердого тела нет удовлетворительной теории. Существенную роль при таком разлете может играть также кинетика фазовых превращений, но эти вопросы мало рассматривались теоретически и, насколько известно автору, почти совсем не изучались экспериментально.

В последнее время для определения термодинамических свойств веществ при плотностях, близких к плотности твердого тела, и изучения его разлета стали использовать «мгновенный» нагрев вещества излучением оптического квантового генератора [3-6].

Для наблюдения процессов разлета вещества после мгновенного его нагрева были проведены опыты по разлету парафиновой пробки после прохождения по ней плоской ударной волны со скоростью 33 км/сек¹. Разлет парафина после выхода ударной волны на свободную поверхность пробки происходил в цилиндрический канал такого же диаметра как и пробка, заполненный воздухом при различных давлениях (760, 85 и 0,1 мм рт. ст.). В опытах фиксировались скорость ударной волны в пробке из парафина и скорость ударной волны в воздухе, заполняющем трубку, при помощи сверхскоростной фоторегистрирующей установки СФР-2М². Результаты опытов нанесены на график зависимости скорости разлета парафина от давления в нем (точки 1, 2, 3 и 4). Массовая скорость разлетающегося парафина и давление, действующее на него, равное давлению в ударной волне в воздухе, распространяющейся перед разлетающимся веществом, определялись по данным работы [7]. Точка 1 нанесена на основании экспериментально определенной скорости ударной волны в пробке из парафина. При этом для парафина было принято уравнение состояния, аналогичное уравнению состояния, принимаемому для продуктов детонации конденсированных ВВ $p = A\rho^3$.

На основании этого же уравнения была рассчитана кривая изэнтропического расширения парафина после выхода на его поверхность ударной волны. Расчет был проведен аналогично расчету, проводимому в работе [8] для расширения продуктов детонации конденсированных ВВ. Из графика видно, что опытная точка, полученная при разлете парафина в воздух при нормальных условиях (точка 2), лежит очень близко от рас-



Фиг. 1

¹ Давление в ударной волне составляет $\sim 5 \cdot 10^6$ кг/см² и превышает значение $\rho c_0^2 = 4 \cdot 10^4$ кг/см² для парафина на два порядка, что в десять раз выше достаточного для полного испарения парафина [4].

² Регистрация движения ударной волны в пробке производилась с ее торца при расположении оси пробки и оси прибора под углом $15 \div 20^\circ$. При регистрируемых скоростях ударная волна в парафине светится и видна через впереди лежащие слои. Скорость 33 км/сек представляет среднее арифметическое значение по результатам пяти независимых опытов. Среднее квадратичное отклонение при этом $\sigma = 0,85$ км/сек. При движении ударной волны по пробке скорость ее сохраняется постоянной в пределах погрешности измерений.

четной кривой ($\gamma = 3$). Плотность парафина для этой точки, рассчитанная по изэнтропе с показателем, равным 3, получается равной $\sim 0.3 \text{ г/см}^3$. Положение точек 3 и 4 на значительном расстоянии от изэнтропы с показателем, равным 3, показывает, что расширение до более низких давлений происходит с меньшим значением показателя. Подобное изменение показателя изэнтропы происходит и при расширении продуктов взрыва конденсированных ВВ. Расчеты Джонса и Миллера, приведенные в работе [9], показывают, что изменение показателя изэнтропы от значения 3 до значения 1.27 можно считать происходящим в довольно узком интервале плотностей и давлений ($\rho \sim 0.3 \text{ г/см}^3$). Считая, что изменение показателя изэнтропы при расширении парафина должно происходить подобным же образом, была сделана попытка путем подбора (для точек 3 и 4) рассчитать кривую дальнейшего расширения парафина с показателем 1,3. При этом за исходные данные принимались параметры между точками 2 и 3 и необходимость прохождения кривой вблизи точки 4 (кривая $\gamma = 1.3$).

На основании описанных опытов можно заключить, что расширение парафина после прохождения по нему ударной волны со скоростью 33 км/сек происходит с переменным показателем изэнтропы. При этом до определенного противодавления (разлет в воздух при нормальных условиях) показатель изэнтропы близок к 3 и плотность разлетающегося парафина сохраняется довольно высокой.

В упомянутых выше работах [3-6] показатель изэнтропы при расширении принимался постоянным, что могло оказать существенное влияние на точность результатов.

Обнаруженная закономерность расширения парафина после мгновенного нагрева его в мощной ударной волне, по-видимому, должна наблюдаться и при разлете других веществ.

Так, используя это явление, был получен сгусток частиц вольфрама, имеющий скорость 24 км/сек и плотность $\sim 1 \text{ г/см}^3$, воздействие которого на преграды было описано в работе [10]. При разлете в вакуум ($10^{-2} \text{ мм рт. ст.}$) частицы вольфрама приобретают скорость 68 км/сек.

Автор благодарит С. Г. Шпак и М. С. Гайнуллина за помощь в проведении опытов и обработке результатов.

Поступила 15 X 1968

ЛИТЕРАТУРА

1. З е л ь д о в и ч Я. В., Р а й з е р Ю. П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М., Физматгиз, 1963.
2. З е л ь д о в и ч Я. В., Р а й з е р Ю. П. Физические явления при расширении в вакуум твердых тел, сжатых сильными ударными волнами. ЖЭТФ, 1958, т. 35, вып. 6 (12).
3. Б а с о в Н. Г., Б о й к о В. А., Д е м е н т ь е в В. А. и др. Нагревание и разлет плазмы, образующейся при воздействии сфокусированного импульса лазера на твердую мишень. ЖЭТФ, 1966, т. 51 вып. 4 (10).
4. К а л ь м ы к о в А. А., К о н д р а т ь е в В. Н., Н е м ч и н о в И. В. О разлете мгновенно нагретого вещества и об определении его уравнения состояния по величине давления и импульса. ПМТФ, 1966, № 5.
5. К а л ь м ы к о в А. А., Н е м ч и н о в И. В., П е т р у х и н А. И. Экспериментальное исследование разлета мгновенно нагретого вещества и возникающего импульса при концентрациях энергии, меньших теплоты испарения. ПМТФ, 1966, № 6.
6. А ф а н а с ь е в Ю. В., К р о л ь В. М., К р о х и н О. Н., Н е м ч и н о в И. В. Газодинамические процессы при нагревании вещества излучением лазера. ПММ, 1966, т. 30, вып. 6.
7. С е л и в а н о в В. В., Ш л я п и н т о х И. Я. Термодинамические свойства воздуха при термической ионизации и ударная волна. Ж. физ. химии, 1958, т. 32, № 3.
8. З е л ь д о в и ч Я. В., К о м п а н е е ц А. С. Теория детонации. М., Гостехиздат, 1955.
9. Ч е д в и к П., К о к с А., Г о п к и н с Г. Механика глубинных подземных взрывов. М., «Мир», 1966.
10. Р у с а к о в М. М. Опытное моделирование метеоритного удара. ПМТФ, 1966, № 4.