

о том, что одной из особенностей тонкой структуры волны спиновой детонации является периодическое появление и движение внутри ядра этой волны очагов химической реакции с более высокими частотами, чем частота вращательного движения ядра в детонационной трубе.

Поступила в редакцию
18/ХІІ 1973

ЛИТЕРАТУРА

1. С. Campbell, D. W. Woodhead. J. Chem. Soc., 1926, **129**, 3010.
2. К. И. Щелкин. Докл. АН СССР, 1945, **47**, 7, 501.
3. Я. Б. Зельдович. Докл. АН СССР, 1946, **52**, 2, 147.
4. Б. В. Войцеховский. Докл. АН СССР, 1957, **114**, 4, 717.
5. Б. В. Войцеховский, В. В. Митрофанов, М. Е. Топчиян. ПМТФ, 1962, 3.
6. Ю. Н. Денисов, Я. К. Трошин, К. И. Щелкин. Изв. АН СССР, ОТН, «Энергетика и автоматика», 1959, 6, 79.
7. Ju. N. Denisov, Ja. K. Troshin. Comb. and Flame, 1971, **16**, 141.
8. G. L. Schott. Phys. Fluids, 1965, **8**, 850.
9. Ю. Н. Денисов, Я. К. Трошин. ЖТФ, 1960, **30**, 4, 450.
10. К. И. Щелкин. Быстрое горение и спиновая детонация газов. М., Воениздат, 1949.
11. М. Е. Топчиян. ПМТФ, 1962, **4**, 94.
12. Т. В. Баженова, Л. Г. Гвоздева и др. Ударные волны в реальных газах. М., «Наука», 1968.
13. Ю. Н. Денисов, П. И. Копейка. 11-я Всесоюзная конф. по вопросам испарения, горения и газовой динамики дисперсных систем. Матер. конф. Одесса, 1972, стр. 70.
14. С. К. Асланов, П. И. Копейка. 11-я Всесоюзная конф. по вопросам испарения, горения и газовой динамики дисперсных систем. Матер. конф. Одесса, 1972, стр. 67.

УДК 532.593 : 536.715

ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРА ПРЕВРАЩЕНИЯ ЖИДКИХ ВЕЩЕСТВ В УДАРНЫХ ВОЛНАХ

*А. Н. Афанасенков, И. М. Воскобойников,
М. Ф. Гогуля, А. И. Катков
(Москва)*

В последнее время все больший интерес привлекают процессы, происходящие в веществе при высоких давлениях. Экспериментальные исследования сжимаемости веществ ведутся статическим и динамическим методами. Данные, полученные из экспериментов, указывают на то, что многие вещества под действием высоких давлений претерпевают различные изменения. К их числу можно отнести фазовый переход, полимеризацию, разложение и др.

О происшедшем превращении вещества судят по появлению изломов на кривой сжимаемости (изотерма — в статическом методе, ударная адиабата — в динамическом). Если при статическом методе характер превращения устанавливается надежно после извлечения вещества из камеры высокого давления, то в динамическом методе (однократное сжатие ударной волной) вещество разбрасывается в волне разгрузки.

Путем сравнения изотермы и ударной адиабаты для ряда твердых веществ (металлы, соли) было установлено, что фазовый переход при ударном сжатии происходит практически при тех же давлениях p и удельных объемах V , что и при статическом сжатии. Однако для твер-

Параметры	Бензол		CS ₂		CCl ₄	Изопрен		Сера	Дифенил
	жидкий	полимер	жидкий	полимер	жид- кий	жид- кий	поли- мер	твер- дая	твер- дый
ρ_0 , г/см ³	0,878	1,00	1,26	1,89	1,595	0,68	0,91	2,0	1,17
C_0 , м/с	1326	1950	1160	2110	940	1085	1790	2250	2360

дых органических соединений и жидких веществ такого согласия не наблюдалось. Например, Бриджменом было установлено, что бензол при статическом сжатии замерзает при комнатной температуре при давлении 12,5 кбар, изменение удельного объема при этом составляет 0,008 см³/г [1]. В то же время излом на ударной адиабате бензола [2] наблюдается при 150 кбар, а изменение объема составляет 0,04 см³/г. Такое различие может быть связано либо с разным характером превращения, протекающем в бензоле при статическом и динамическом сжатии, либо с временным фактором. Дело в том, что при ударно-волновом сжатии время действия высокого давления не превышает нескольких микросекунд, а при статическом сжатии оно практически не ограничено. Если превращение вещества является релаксационным процессом, то естественно, что при статическом и динамическом сжатии вероятность его завершения будет различна. У жидкостей, по-видимому, время релаксации значительно больше, чем у металлов и солей, этим и может объясняться различие в их поведении при сжатии различными методами.

В настоящей работе предпринята попытка, используя сравнение рассчитанных и экспериментальных данных, выяснить, какого рода превращение происходит в жидкости при сжатии ее ударной волной. Рассматриваются четыреххлористый углерод (CCl₄), сероуглерод (CS₂), бензол и изопрен. Исходные данные, необходимые для построения ударных адиабат этих веществ, приведены в таблице.

Четыреххлористый углерод

При определении ударной адиабаты вещества обычно измеряется скорость ударной волны D и скорость вещества u за фронтом волны. Если свойства генератора ударной волны известны, то измеряется только D , а u рассчитывается методом отражения (на p, u -диаграмме). По известным D и u из законов сохранения массы и импульса находят p и V . Таким образом, D и u являются первичными экспериментальными данными, на которых основываются все дальнейшие расчеты и заключения.

Если на $D(u)$ -зависимости наблюдается излом, что отражается и на кривой Гюгоню в p, V -координатах, то это свидетельствует о каком-то превращении вещества.

На рис. 1 приведена ударная адиабата четыреххлористого углерода. Кривая отражает ударную адиабату CCl₄, рассчитанную по обобщенной зависимости

$$D = C_0 + 2u - 0,1 \frac{u^2}{C_0}, \quad (1)$$

где C_0 — объемная скорость звука в веществе при нормальных условиях. Эта зависимость была получена при обобщении динамической сжимаемости более десятка жидкостей [3, 4] в области отсутствия фазовых переходов; она справедлива в интервале изменения степени сжатия от 1 до 2. Как видно, на $D(u)$ -диаграмме отсутствуют какие-либо изломы и перегибы. Таким образом, экспериментальные данные по динамической сжимаемости CCl₄ не дают основания для заключения, что эта жидкость претерпевает какие-либо превращения при ударном сжатии. Однако из-

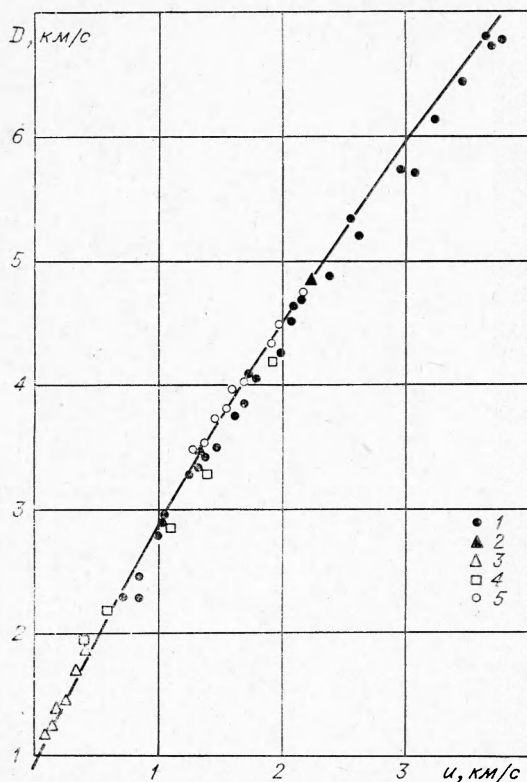


Рис. 1. Ударная аднабата CCl_4 .

Эксперимент: 1 — [2]; 2 — [5]; 3 — [6]; 4 — [7]; 5 — [8].

ких давлений (более чем на порядок), обусловленная тем, что экспериментальной динамической $T(p)$ -зависимости в области низких давлений не было.

Нами была построена фазовая диаграмма CCl_4 с использованием температурных измерений при более низких давлениях [11] и расчетной $T(p)$ -зависимости. На рис. 2 приведена кривая плавления $\text{CCl}_4(I)$, построенная по уравнению Симона

$$p = 2,919 \left[\left(\frac{T}{250,6} \right)^{2,19} - 1 \right] \text{ кбар,}$$

рекомендованному в [12], и $T(p)$ -зависимость ударно-сжатого $\text{CCl}_4 (II)$, рассчитанная по уравнению состояния молекулярного кристалла [13] в предположении $\Gamma/v = \Gamma_0/V_0$ и $C_{v1} = 6R$ (C_{v1} — теплоемкость межмолекулярного взаимодействия, Γ — коэффициент Грюнайзена). На основании рис. 2 можно сделать вывод, что если CCl_4 и замерзает, то только при давлениях, не превышающих 40 кбар. Однако гладкость зависимости $D(u)$ указывает на то, что CCl_4 не успевает затвердеть в ударной волне. Такой же вывод сделан в работе [6], где отмечено, что хотя рассчитанная зависимость $T(p)$ пересекает кривую фазового равновесия, экспериментальные данные показывают, что CCl_4 остается жидким в ударной волне, по крайней мере, в течение $1 \div 20$ мкс.

Таким образом, можно заключить, что изменение хода $T(p)$ -зависимости при давлениях $200 \div 270$ кбар связано не с фазовым переходом, а, по-видимому, с термическим разложением CCl_4 без изменения удельного объема. Например, распад может протекать по схеме $2\text{CCl}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{Cl}_6 + \text{Cl}_2$ с константой скорости $k = 2,4 \cdot 10^{12} \cdot \exp(-55/RT) \text{ с}^{-1}$, опре-

мерение температуры ударно-сжатой жидкости дает другие результаты.

В работе [9] была получена зависимость температуры ударного сжатия от давления для CCl_4 и на этой зависимости наблюдался перегиб при давлении ~ 200 кбар. На основе анализа взаимоположения зависимости $T(p)$ и линии фазового равновесия (кривой плавления) сделан вывод, что CCl_4 претерпевает фазовый переход. При давлениях $2,5 \div 200$ кбар CCl_4 замерзает, а при $p \geq 270$ кбар остается жидким. В интервале $200 < p < 270$ кбар измеренная температура относится к двухфазной смеси.

Перегиб на динамической $T(p)$ -зависимости наблюдался также в работе [10], где утверждается, что он связан не с фазовым переходом, а с разложением CCl_4 . На эту возможность указывалось и в работе [9].

Мы полагаем, что в работе [9] была проведена неправильная экстраполяция кривой плавления CCl_4 в область высоких давлений

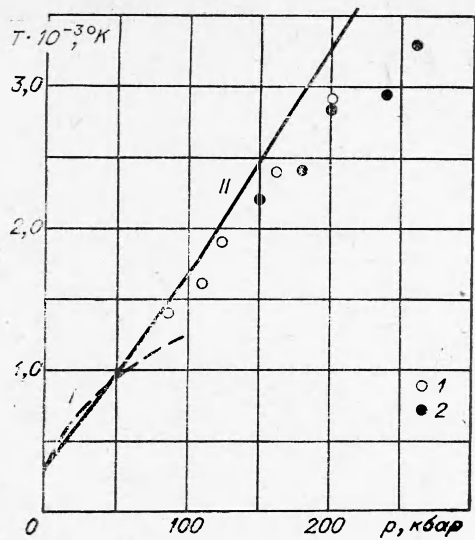


Рис. 2. $T(p)$ -диаграмма CCl_4 .
Эксперимент: 1 — [11]; 2 — [9].

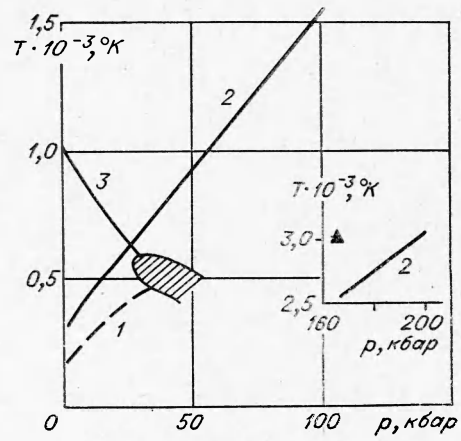


Рис. 3. $T(p)$ -диаграмма CS_2 .

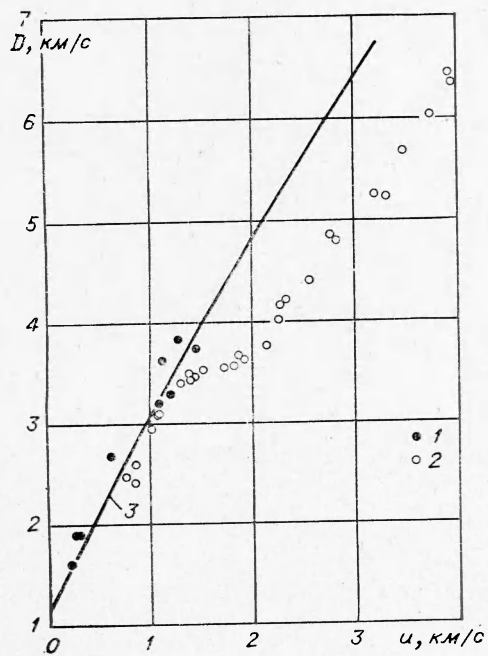


Рис. 4. Ударная адиабата CS_2 .
1 — [7]; 2 — [2]; 3 — расчет по (1).

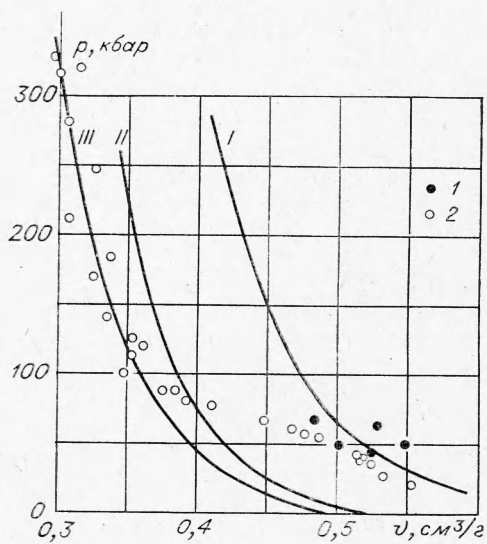
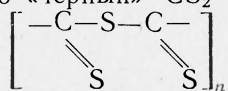


Рис. 5. Рассчитанные ударные адиабаты жидкого (I) и полимеризованного (II) CS_2 и смеси 16% C+84% S (III).
1 — [7]; 2 — [2].

деленной в [14]. Расчет по этой формуле дает, что при температуре 2750° К (перегиб зависимости $T(p)$ [9]) время полупревращения CSl_4 будет составлять $6 \cdot 10^{-3}$ мкс, что значительно меньше времени эксперимента.

Сероуглерод

При определении изотермической сжимаемости жидкого CS_2 Бриджмен [1] установил, что фазовое превращение CS_2 происходит при давлении 45 кбар и температуре 448° К. Новая фаза имела черный цвет, высокую плотность и была стабильна при нормальных условиях. В дальнейших работах [15, 16] были определены границы образования плотной фазы CS_2 и ее плотность ($1,89 \text{ г/см}^3$ [16]) и сделано предположение [15], что «черный» CS_2 представляет собой полимер с вероятной структурой



На рис. 3 представлена $T(p)$ -диаграмма CS_2 , заимствованная из работы [16]. Кривая 1 — линия фазового равновесия, построенная по уравнению Симона

$$p = 8,25 \cdot \left[\left(\frac{T}{161,6} \right)^{1,5} - 1 \right] \text{ кбар,}$$

рекомендованному в [12], 2 — расчет ударно-сжатого CS_2 по [13], 3 — граница, вправо от которой CS_2 разлагается на серу и углерод, а слева находится в жидком состоянии. Слева от кривой 1 — жидкое состояние, справа — твердое. Заштрихованный участок диаграммы представляет собой область образования плотной фазы CS_2 , точка — эксперимент авторов. Таким образом, при статическом сжатии жидкий CS_2 может замерзнуть, превращаться в новую фазу и разлагаться.

Ударная адиабата жидкого CS_2 представлена на рис. 4. Как видно, на $D(u)$ -зависимости наблюдается излом, т. е. при ударном сжатии происходит какое-то превращение CS_2 . Чтобы выяснить характер этого превращения, рассмотрим ударную адиабату CS_2 на $p(V)$ - и $T(p)$ -диаграммах. На рис. 3, 2 показана $T(p)$ -зависимость ударно-сжатого жидкого CS_2 , рассчитанная, как и в случае CSl_4 , по уравнению состояния молекулярного кристалла. Как видно, динамическая зависимость $T(p)$ не пересекается с кривой плавления и не заходит в область образования «черной» фазы CS_2 . При давлениях выше 25 кбар она проходит по области разложения CS_2 . Естественно предположить, что в ударной волне происходит разложение CS_2 . Для проверки этого предположения были рассчитаны ударные адиабаты предполагаемого полимера CS_2 и смеси 16% C + 84% S (состав продуктов разложения CS_2), которые затем сравнивались с экспериментальной на $p(V)$ -диаграмме (рис. 5). Ударная адиабата смеси рассчитывалась по смесевому методу [17, 18], при этом ударная адиабата углерода заимствовалась из работы [19], а серы рассчитывалась по формуле $D = (2,23 + 1,5u) \text{ км/с}$; она хорошо согласуется как с данными по изометрической сжимаемости [20], так и с ударной адиабатой, приведенной в графическом виде в [21]. Рис. 5 показывает, что излом на ударной адиабате жидкого CS_2 связан с разложением его на серу и углерод. Измерения проводимости ударно-сжатого CS_2 , выполненные в [2], показали, что при $p \approx 80$ кбар проводимость резко увеличивается, что можно связать с появлением большого количества свободного углерода.

Дополнительно была измерена температура ударно-сжатого жидкого CS_2 при больших давлениях (за перегибом). Давление в CS_2 создавалось взрывом зарядов тротила ($\rho_0 = 1,6 \text{ г/см}^3$) через алюминиевую

пластинку толщиной 3 мм. Давление составляло 165 кбар, измеренная температура — 3000° К. Как видно из рис. 3, измеренная температура далека от рассчитанной $T(p)$ -зависимости жидкого CS_2 . Однако, если принять, что разложение CS_2 в ударной волне происходит не мгновенно, т. е. излучение исходит от некоторого слоя ударно-сжатого жидкого CS_2 , то измеренной температуре будет соответствовать давление 190 кбар, т. е. согласие расчета и эксперимента будет значительно лучше.

Бензол

Как уже отмечалось, при статическом сжатии бензол замерзает. При динамическом сжатии бензол также испытывает какое-то превращение, о чем свидетельствует излом на экспериментальной зависимости $D(u)$ (рис. 6). Дик, который наиболее полно исследовал ударную адиабату бензола, считает, что его замерзание в ударной волне мало вероятно, но возможна его полимеризация. Измерения проводимости, проведенные им же, показали, что при давлениях, соответствующих излому на ударной адиабате, она практически не изменяется. $T(p)$ -диаграмма бензола (рис. 7) аналогична таковой для CCl_4 . Динамическая зависимость $T(p)$, рассчитанная по уравнению состояния молекулярного кристалла, и кривая плавления, построенная по уравнению Симона

$$p = 3,675 \cdot \left[\left(\frac{T}{278,6} \right)^{2,69} - 1 \right] \text{ кбар,}$$

рекомендованному в работах [12, 22], пересекаются в двух точках (см. рис. 7). Замерзание бензола в ударной волне может произойти при давлениях ниже 80 кбар.

Однако при $p < 80$ кбар аномалий на $D(u)$ -зависимости (см. рис. 6) не наблюдается: экспериментальные данные разных авторов тесно группируются около рассчитанной по уравнению (1) ударной адиабаты жидкого бензола. По нашему мнению, бензол, как и CCl_4 , не успевает замерзнуть в ударной волне.

Для выяснения характера превращения в бензоле при большем давлении обратимся к p, V -диаграмме (рис. 8). Небольшое отклонение экспериментальных точек от рассчитанной кривой Гюгонио жидкого бензо-

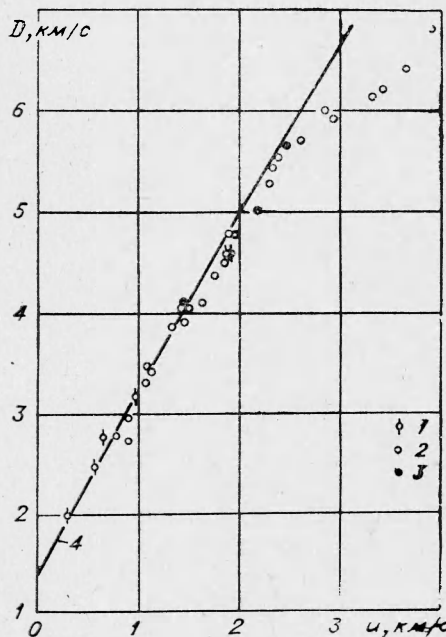


Рис. 6. Ударная адиабата бензола. 1 — [7]; 2 — [2]; 3 — [5]; 4 — расчет по (1).

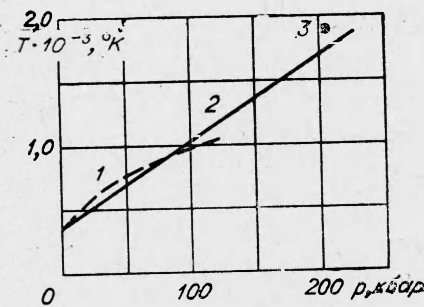


Рис. 7. $T(p)$ -диаграмма бензола. 1 — линия фазового равновесия; 2 — расчет для ударно-сжатого бензола по [13]; 3 — эксперимент авторов.

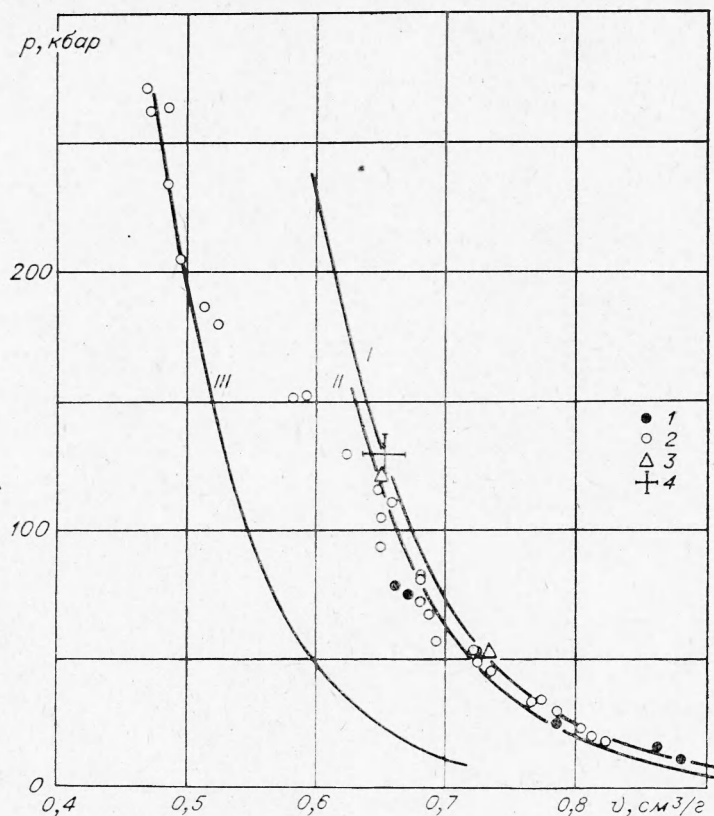


Рис. 8. Рассчитанные ударные адиабаты жидкого (I) и полимеризованного (II) бензола и смеси 98,7% дифенила и 1,3% жидкого водорода (III).

1 — [7]; 2 — [2]; 3 — [5]; 4 — данные авторов.

да начинается при давлении 60 кбар, а значительное отклонение — при 150 кбар. Отклонения при 60—120 кбар могут быть связаны как с началом превращения, так и определяться изменением условий эксперимента (повышенная температура), поэтому их не касаемся. Каков возможный характер превращения бензола при 150 кбар и выше? Например, полное разложение бензола на углерод и водород, на эту возможность указано в работе [23]. Реализация этого случая в ударной волне не реальна, поскольку только объем выделившегося водорода ($\sim 8\%$ по весу) будет составлять $0,5 \text{ см}^3/\text{г}$, что, естественно, не согласуется с экспериментом. Вторая возможность — это разрушение бензольного кольца и образование полиена типа $[-\text{HC}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}-]_n$ [24]. На рис. 8, 4 приведена ударная адиабата полиена, рассчитанная из обобщений. Плотность полиена, по аналогии с бутадиеновыми каучуками, принималась равной $1,0 \text{ г}/\text{см}^3$. Как видно, согласия с экспериментальными данными не наблюдается. Чтобы его достигнуть, плотность полиена надо взять равной $1,5 \text{ г}/\text{см}^3$, что невозможно для соединения подобной структуры.

По нашему мнению, наиболее вероятная причина наблюдаемого превращения — пиролиз бензола. Как отмечается в [24], при пиролизе бензола «...характерной реакцией является отщепление атома водорода с последующей конденсацией образовавшихся радикалов. Бензол при температуре $500\text{—}600^\circ\text{C}$ отщепляет водород, превращаясь в фенильные радикалы, при рекомбинации которых образуется дифенил. Применение давления в 250 атм понижает температуру образования дифе-

нила до 480°С [25]». На эту возможность указывают и данные работы [26].

При многократном сжатии антрацена в ампулах сохранения авторы [26] установили, что весь антрацен превратился в диантраценил. Температура разогрева бензола также достаточна для осуществления пиролиза (см. рис. 7).

Была рассчитана ударная адиабата смеси продуктов пиролиза бензола в предположении, что он полностью превращается в дифенил и водород (98,7% и 1,3% соответственно). Ударная адиабата дифенила строилась по обобщенной $D(u)$ -зависимости. Относительно водорода было сделано предположение, что в ударной волне он находится в жидком состоянии с максимальной степенью сжатия, равной трем. Экспериментально достигнутая степень сжатия жидкого водорода равна 2,7 при давлении 39,5 кбар (при этом $u \approx 6$ км/с). Рассчитанная адиабата смеси продуктов полного пиролиза бензола представлена на рис. 8. Как видно, наблюдается хорошее согласие результатов расчета и эксперимента.

Была измерена температура ударно-сжатого бензола. При давлении 205 кбар (заряд гексогена с $\rho_0 = 1,76$ г/см³, контакт) температура равна 1890°К, что несколько выше расчетной (см. рис. 7).

Изопрен

Для выяснения возможности полимеризации мономеров в проходящей ударной волне несомненный интерес представляет изопрен, который легко полимеризуется при нормальных условиях. Ранее в работе [27] было установлено, что акриламид полимеризуется при ударном сжатии в интервале давлений 15–70 кбар. При более высоких давлениях происходит некоторое превращение полимера, названное авторами [27] деструкцией.

По уравнению (1) были рассчитаны ударные адиабаты изопрена и изопренового каучука и экспериментально определено несколько точек на ударной адиабате изопрена. Эксперимент проводился следующим образом. На заряд тротила или гексогена помещалась металлическая пластина, на которой находилась кювета с изопреном. Плотность заряда, толщина и материал пластины подбирались таким образом, чтобы при соответствующей их комбинации было известно давление на границе раздела пластина — изопрен (см., например, [28]). Методом высвечивающих зазоров измерялась скорость ударной волны в изопрене на базах 5 и 10 мм, затем на p, u -диаграмме методом отражения находилась точка на ударной адиабате. В расчете использовалось значение D_0 , полученное из линейной экстраполяции измеренных значений на нулевую толщину слоя изопрена. Поскольку при определении D_0 может возникать ошибка, связанная с возможным нелинейным характером затухания скорости ударной волны в изопрене, определялась таким образом точка на ударной адиабате бензола (тротил $\rho_0 = 1,59$ г/см³, контакт). Полученная точка, среднее из четырех опытов, показана на рис. 8. Согласие с данными Дика вполне удовлетворительное.

Результаты для изопрена (единичные измерения) показаны на рис. 9. Как видно, Точки — эксперимент авторов.

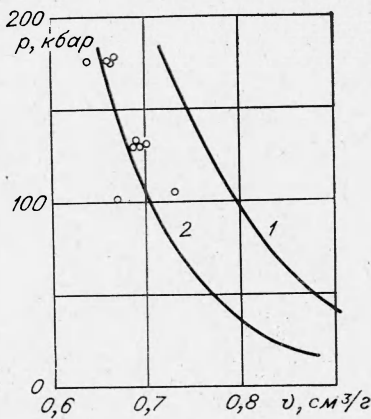


Рис. 9. Рассчитанные ударные адиабаты жидкого (1) и полимеризованного (2) изопрена. Точки — эксперимент авторов.

все экспериментальные точки ложатся на ударную адиабату полимеризованного изопрена. Измеренная температура ударно-сжатого изопрена при $p=140$ кбар равна 1750°C , что на 300° превышает расчетную.

* *
*

В данной работе использован метод изучения характера превращения жидких веществ в ударных волнах, связанный с совместным рассмотрением $p(v)$ -, $T(p)$ - и $D(u)$ -диаграмм.

В том случае, если это превращение проявляется при измерении кинематических параметров (D и u), то удастся либо точно определить характер превращения, либо исключить некоторые возможные виды превращения. Например, с уверенностью можно сказать, что CS_2 разлагается в ударной волне ($p > 50$ кбар) на серу и углерод, а бензол не замерзает при давлениях $p \geq 150$ кбар и не разлагается на углерод и водород. Если превращение регистрируется при изменении температуры ударно-сжатой жидкости (как в случае CCl_4), то о природе превращения можно судить только приближенно. В противоположность нашим заключениям в работе [29] на основании изучения прозрачности ударно-сжатых веществ сделан однозначный вывод, что во фронте ударной волны все органические жидкости разлагаются с образованием свободного углерода.

По-видимому, то или иное превращение в первую очередь определяется как строением молекул жидкости, так и величиной давления и температуры в ударной волне, а, возможно, и степенью сжатия вещества. Пока еще данных недостаточно, чтобы выяснить, какой из этих факторов является определяющим.

Измеренные температуры для CS_2 , C_6H_6 и C_5H_8 носят отрывочный характер, они могут лишь использоваться для оценки состояний, которые реализуются при ударном сжатии, но не для конкретных заключений.

Исходя из рассмотренных данных можно прийти к выводу: большинство жидких веществ при сжатии ударными волнами испытывают те или иные превращения. Для выявления времени релаксации и природы этих превращений необходимы более тщательные измерения D , u и T . Для этого желательно использовать ударные волны прямоугольного профиля; поскольку измерения при затухающей ударной волне нередко (при наличии превращения) приводят к неверным выводам [30].

Поступила в редакцию
17/XII 1973

ЛИТЕРАТУРА

1. P. W. Bridgman, Proc. Am. Acad. Art. Sci., 1942, 74, 12, 399; J. Chem. Phys., 1941, 9, 794.
2. R. D. Dick, J. Chem. Phys., 1970, 52, 12, 6021.
3. И. М. Воскобойников, А. Н. Афанасенков, В. М. Богомолов. ФГВ, 1967, 3, 4, 585.
4. А. Н. Афанасенков, В. М. Богомолов, И. М. Воскобойников. В сб. «Взрывное дело», № 68/25. М., «Недра», 1970.
5. J. M. Walsh, M. H. Rice. J. Chem. Phys., 1957, 26, 4, 817.
6. P. C. Lyne, J. Chem. Phys., 1971, 55, 11, 5242.
7. M. A. Cook, L. A. Rogers. J. Appl. Phys., 1963, 34, 8, 2330.
8. A. C. Mitchell, R. N. Keeler. Rev. Sci. Instr., 1968, 39, 4, 513.
9. С. Б. Кормер. УФН, 1968, 94, 4, 641.
10. И. М. Воскобойников, А. И. Катков. Тез. докл. на Втором симпозиуме по горению и взрыву. М., «Наука», 1969.

11. И. М. Воскобойников, В. М. Богомолов и др. Докл. АН СССР, 1968, **182**, 4, 807.
12. S. E. Vabb, J. R. Rev. Modern Phys., 1963, **35**, 2, 400.
13. Цянь Сюэ-Сень. Физическая механика. М., «Мир», 1965.
14. Н. М. Эмануэль, Д. Г. Кнорре. Курс химической кинетики. М., «Высшая школа», 1969.
15. F. Dacheille, R. Roy. Conf. Proc. Physics and Chemistry of High Pressures, London, 1962.
16. E. G. Butcher, M. Alsop a. o. Nature 1963, **199**, 4895 756.
17. А. Н. Дремин, И. А. Карлухин. ПМТФ, 1960, 3, 184.
18. А. Н. Афанасенков, В. М. Богомолов, И. М. Воскобойников. ПМТФ, 1969, 4, 137.
19. B. I. Alder, R. H. Christian. Phys. Rev. Lett, 1961, 7, 367.
20. P. W. Bridgman. Proc. Am. Acad. Art. Sci., 1945, **76**, 1, 1.
21. U. I. Berg. Arkiv för Fusik, 1964, **25**, 2.
22. И. К. Шоховский, В. С. Богданов, Е. М. Иванова. Тр. метрологических институтов СССР. Вып. 104(164), 1969, стр. 110.
23. Л. С. Кобринна, А. П. Крысин и др. Тез. докл. на Первом всесоюзном симпозиуме по горению и взрыву. М., «Наука», 1968.
24. Л. В. Барабэ, А. Н. Дремин и др. ФГВ. 1969, 5, 4, 528.
25. К. Р. Кинни. Химия углеводородов нефти. Т. 2, 1958, стр. 93.
26. R. H. Warnes. J. Chem. Phys., 1970, **53**, 3, 1088.
27. В. А. Веретенников, А. Н. Дремин, А. Н. Михайлов. ФГВ, 1966, 2, 3, 95.
28. А. Н. Дремин, П. Ф. Похил. Докл. АН СССР, 1959, **127**, 6, 1295.
29. O. B. Jakusheva, V. V. Jakushev, A. N. Dremin. High Temperatures — High Pressures, 1971, 3, 261.
30. А. Н. Дремин, С. В. Першин. ФГВ, 4, 1, 112.

УДК 662.215

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ХИМПИКА С ТОНКОЙ ПЛАСТИНОЙ

О. А. Кузнецов, В. С. Соловьев
(Москва)

Согласно теории ЗНД, детонационная волна (ДВ) представляет собой комплекс ударной волны (УВ) и следующей за ней зоны химической реакции. Следствием этого является существование в ДВ зоны повышенных давлений, названной зоной химпика (ХП). Экспериментальное подтверждение теории ЗНД и определение ширины ХП — a производилось как с использованием кривых затухания [1—3], так и с помощью электромагнитного датчика [4]. Оказалось, что величина a для конденсированных ВВ изменяется в диапазоне 0,5÷2 мм. Естественно, что при решении задач метания тел возникает необходимость учета влияния химпика на процесс разгона, когда характерный размер метаемого тела (толщина δ) соизмерим с шириной ХП. В настоящей работе предпринята попытка экспериментального решения этого вопроса с помощью метода емкостного датчика [5].

Известно, что процесс разгона сопровождается волновым характером обмена энергией между продуктами детонации (ПД) и метаемым телом. Поэтому закон изменения скорости свободной поверхности метаемого тела (пластины) — w во времени t для достаточно больших отношений l/δ (l — длина заряда ВВ) имеет вид, представленный на рис. 1: прирост величины w происходит скачкообразно спу-

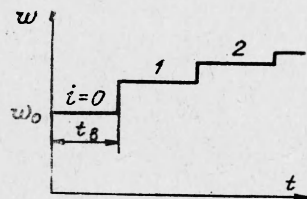


Рис. 1. Характер изменения скорости свободной поверхности пластины во времени при разгоне.