

11. Р. М. Зайдель. ЖЭТФ, 1968, 54, 1253.
12. Л. В. Альтшулер. УФН, 1965, 85, 197.
13. А. Г. Иванов, Е. З. Новицкий и др. ЖЭТФ, 1967, 53, 41.
14. T. J. Ahrens. J. Appl. Phys., 1966, 37, 7.
15. А. Г. Иванов, В. Н. Минеев и др. ЖЭТФ. Письма, 1965, 2, 353.
16. R. K. Linde, W. J. Muggi, D. G. Dogan. J. Appl. Phys., 1966, 37, 2527.
17. Ю. Н. Тюняев, В. Н. Минеев и др. ЖЭТФ, 1969, 56, 1.
18. G. E. Hauver. J. Appl. Phys., 1965, 36, 2113.
19. В. Н. Минеев, Ю. Н. Тюняев и др. Физика Земли, 1968, 4.
20. А. Г. Иванов, Ю. Н. Тюняев и др. ФГВ, 1969, 5, 3.
21. Ю. Н. Тюняев, А. А. Урусовская и др. ФТТ, 1968, 10, 3400.
22. В. В. Якушев, О. К. Розанов, А. Н. Дремин. ЖЭТФ. Письма, 1968, 7, 165.
23. В. В. Якушев, О. К. Розанов, А. Н. Дремин. ПМТФ, 1968, 5.
24. А. А. Бриш, М. С. Тарасов, В. А. Цукерман. ЖЭТФ, 1960, 38, 22.
25. В. В. Якушев, О. К. Розанов, А. Н. Дремин. ЖЭТФ, 1968, 54, 396.
26. А. Г. Иванов, В. Н. Минеев и др. ЖЭТФ. Письма, 1968, 7, 365.
27. P. Haggis. J. Appl. Phys., 1965, 36, 739.
28. Л. В. Альтшулер, Л. В. Кулешова, М. Н. Павловский. ЖЭТФ, 1960, 39, 16.

УДК 532.593

ПРОВОДИМОСТЬ АКРИЛАМИДА И ПОЛИАКРИЛАМИДА ЗА ФРОНТОМ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

*В. Н. Зубарев, Т. Н. Игнатович,
А. Н. Шуйкин, П. А. Ямпольский
(Москва)*

Как показали исследования [1—5], сжатие вещества ударными волнами сопровождается разнообразными химическими реакциями. При изучении превращений в органических веществах большой интерес представляет полимеризация. Многие мономеры после сжатия под высоким давлением в десятки и сотни тысяч атмосфер в течение коротких промежутков времени 10^{-5} сек оказываются в значительной степени полимеризованными [2, 3]. В работах [2, 3] было высказано мнение, что процесс полимеризации происходит за короткое время, пока вещество находится в сжатом состоянии. По результатам анализа сжатых образцов, зная условия (плотности и температуры), в которых находятся образцы в сжатом и разгруженном состояниях, можно сделать лишь косвенные выводы относительно скорости химических превращений. Непосредственно данные о кинетике превращений могут быть получены методами, которые используются для исследования явлений, сопровождающих ударное сжатие (электромагнитный метод изучения профилей волн [6, 7], изучение проводимости [8], поляризации [9], релаксационных явлений [10] и др.).

В данной работе измерена проводимость акриламида (АА) и полиакриламида (ПАА) при давлениях в ударных волнах 80 и 160 кбар. Полученные результаты дают возможность сделать некоторые заключения относительно процессов, возникающих при распространении ударных волн в исследованных веществах.

Схема опытов по измерению проводимости изображена на рис. 1. Плоские ударные волны в металлических экранах из Al или Cu

(рис. 1, 1) создавались зарядами ВВ. Образцы 4, в которых измерялось сопротивление, отделялись от металла изолирующими прокладками 2 толщиной 3 мм из парафина. К боковым поверхностям образцов, высота которых составляла ~ 20 мм и толщина $\Delta \approx 2$ мм, также приставлялись блоки 3 из парафина. Электроды 5 изготовлены из медной фольги толщиной 0,1 мм и шириной $b=20$ мм.

Методика измерений сопротивления образцов при сжатии ударной волной по существу не отличалась от описанной в [8]. Включение в схему дополнительного омического сопротивления R_4 (см. рис. 1), меняющегося от опыта к опыту, позволило несколько расширить диапазон измеряемых сопротивлений. Другое видоизменение измерений состояло в том, что электроды 5, как это было предложено в [11], располагались в направлении распространения волны, что позволяет записать уменьшающееся со временем сопротивление образца и проследить, как меняется удельная проводимость образца.

В предположении, что проводимость σ за фронтом ударной волны является функцией лишь расстояния до фронта ударной волны (или от времени после прихода волны), т. е. $\sigma = f(x - Dt)$, нетрудно показать, что

$$\sigma(\tau) = \frac{\Delta R'_x(\tau)}{b(D-u)R_x^2(\tau)}, \quad (1)$$

$$R'_x(\tau) = \frac{dR_x(\tau)}{d\tau},$$

здесь D и u — волновая и массовая скорости; $R_x(\tau)$ — измеряемое в опытах сопротивление сжатого образца; τ — время, отсчитываемое с момента прихода ударной волны к образцу.

В опытах по схеме рис. 1 можно считать, что искажения плоского фронта ударной волны из-за различной динамической жесткости исследуемых образцов и парафина невелики. Как показывает сравнение, динамическая адиабата АА, приведенная в [12], и ударная адиабата парафина (при $p \leq 200$ кбар для парафина с $\rho_0 = 0,9$ г/см³ справедливо соотношение $D = 2,91 + 1,52 u$) в области исследуемых давлений практически совпадают. Адиабата ПАА, обладающего большей начальной плотностью ($\rho_{AA} = 1,1$ г/см³; $\rho_{ПАА} = 1,15$ г/см³), лежит несколько выше, но и в этом случае различия в динамической жесткости не очень велики. Давления в начальные моменты времени в ПАА будут на 20—30 кбар выше.

Типичные осциллограммы, обсчеты которых позволяют определить проводимость сжатого вещества и ее изменение со временем, показаны на рис. 2 (масштаб 5 Мгц).

Первый сброс на осциллограммах отвечает включению сопротивления (см. рис. 1) R_3 незадолго до прихода ударной волны к образцу ($R_3 \approx 10 R_2$, или $10 R_1$ при $R_2 = \infty$).

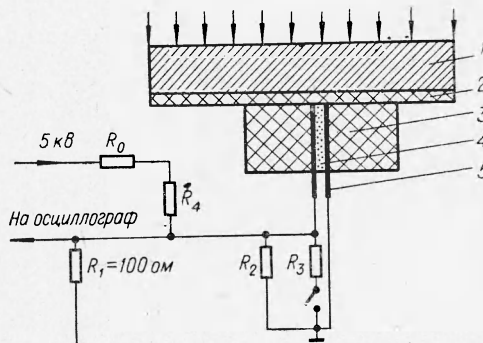


Рис. 1.

Результаты обработки осциллограмм даны в таблице и приведены на рис. 3 и 4.

Следует заметить, что как величина проводимости, так и характер ее изменения за фронтом сильно различаются при давлениях 80 и 160 кбар. При давлении 160 кбар удельная проводимость возрастает в

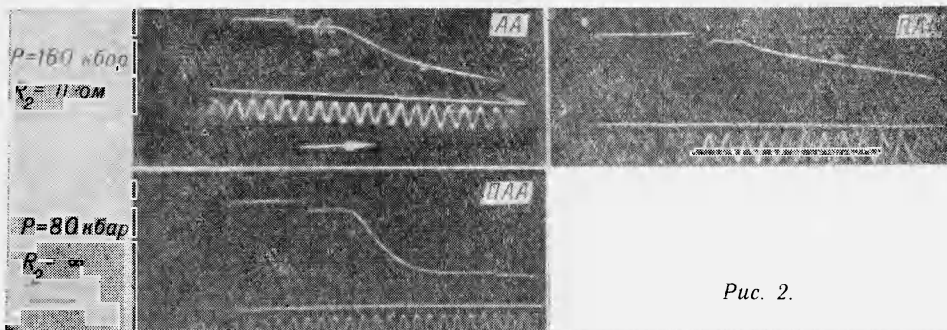


Рис. 2.

течение $0,1 \div 0,3$ мксек (см. рис. 3) и в последующие $1 \div 1,5$ мксек остается практически постоянной как в акриламиде, так и его полимере. Относительно небольшое различие в проводимости сжатых полимера и мономера (всего в 2,5 раза) позволяет сделать вывод, что после приложения давлений вещества находятся в близких состояниях. Несколько большую проводимость акриламида можно объяснить, например, тем, что при его полимеризации в сжатом состоянии или каком-то другом превращении выделяется тепло и он оказывается при более высокой температуре, чем сжатый полимер.

В 50%-ной смеси АА с ПАА проводимость получается близкой к средней величине.

Таким образом, измерение проводимости при давлениях 160 кбар приводит к наиболее вероятному заключению, что вещество, независимо от того, находится ли оно первоначально в виде полимера или мономера,

Вещество	p, кбар	
	80	150
Акриламид	$< 10^{-2}$	80
Полиакриламид	8*	30
Смесь акриламида и полиакриламида 50/50 (по весу)	$< 10^{-2}$	50

* Приведено максимальное значение (см. рис. 4).

переводится ударной волной в состояния, мало различающиеся по структуре, плотности, температуре. По данным [12] при давлениях, превышающих ~ 100 кбар, как акриламид, так и его полимер испытывают превращение, сопровождающееся уменьшением удельного объема. Из измерений проводимости при $p \approx 160$ кбар следует, что это превращение происходит за время

$\sim 0,1 - 0,3$ мксек. Кроме того, учитывая данные анализов, сохранившихся после обжатия образцов [2—3], можно утверждать, что это превращение является обратным, поскольку после разгрузки не наблюдается плотных модификаций АА или ПАА. Последний оказывается лишь частично деструктурированным [12]. Постоянство проводимости в последующие моменты времени ~ 2 мксек позволяет приписать ее собственной проводимости нагретого вещества, не связанного непосредственно с быстротекающими физико-химическими превращениями, которые при этих давлениях имеют место вблизи фронта ударной волны за время $\sim 0,1$ мксек.

Совсем иные выводы можно сделать, сравнивая проводимость сжатых образцов акриламида и полиакриламида при давлениях ~ 80 кбар. При этих давлениях в образцах, изготовленных из ПА и его смеси с ПАА, удалось определить лишь верхний предел проводимости, поскольку установка, на которой проводились измерения, позволяет регистрировать проводимость не менее $10^{-5} \sim 1 / \text{ом} \cdot \text{см}$.

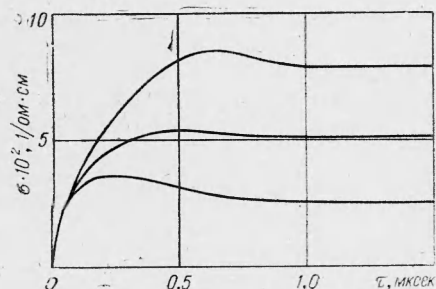


Рис. 3.

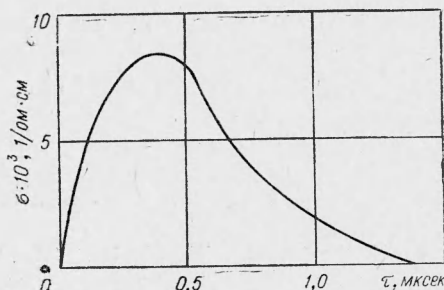


Рис. 4.

Проводимость сжатого ПАА оказалась, по крайней мере, в 10^3 раз больше. Характер ее изменения показан на рис. 4, где представлена зависимость $\sigma(\tau)$, полученная при сжатии ПАА. Скорее всего, характерный максимум $\sigma(\tau)$, который достигается через время $\sim 0,3 : 0,5$ мксек, характеризует не собственную проводимость ПАА, а связан с превращениями ПАА за фронтом ударной волны, поскольку собственная проводимость ПАА при таких относительно малых давлениях и температурах, по-видимому, невелика, о чем свидетельствует, в частности, тот факт, что по истечении некоторого времени измеряемая проводимость ПАА падает до малой величины (см. рис. 4). Так как после сжатия исходных образцов ПАА его превращение в мономер маловероятно, из сопоставления результатов измерения проводимости можно сделать вывод, что за фронтом ударной волны амплитудой 100 кбар происходит либо некоторая деструкция ПАА, либо какое-то другое превращение типа фазового перехода¹, которое и является причиной кратковременного повышения проводимости. Процесс происходит, по-видимому, за время ~ 1 мксек, так как по истечении этого времени проводимость сжатого ПАА падает в ~ 100 раз, приближаясь к порогу измерений.

Измерения проводимости смеси указывают на тот факт, что в этом случае регистрируется проводимость компоненты, обладающей большим удельным сопротивлением (эквивалентно последовательному включению образцов с большим и малым сопротивлением). Учитывая это, при рассмотрении вопроса о полноте превращения ПАА необходимы дополнительные предположения относительно природы проводимости, возникающей за фронтом ударной волны.

Как уже отмечалось, правдоподобно предположить, что полимер при таких относительно малых сжатиях плохо проводит и что измеренная проводимость вызвана его структурным или химическим превращением. При таком предположении из полученных данных должно следовать, что происходит практически полное превращение полимера.

Действительно, если бы превращение было частичным, то включения не испытывавшего превращения вещества, обладающего малой проводимостью, обусловили бы плохую проводимость сжатого образца в целом.

¹ По данным [12], такой переход может быть в области давлений 90–120 кбар, где наблюдается излом в $D-u$ - и $p-V$ -диаграммах.

В заключение необходимо отметить, что некоторые из сделанных выводов имеют предварительный характер и требуется проведение дополнительных экспериментов (возможно, с привлечением других методов) для однозначности заключений.

Однако уже представленные данные, по-видимому, могут явиться демонстрацией перспективности применения методики измерения проводимости при исследованиях физико-химических превращений за фронтом ударных волн.

Поступила в редакцию
14/III 1967

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Н. Рябинин. ЖЭТФ, 1956, 26, 12, 2661.
2. Г. А. Ададулов и др. Высокомолек соед., 1965, 7, 180.
3. Г. А. Ададулов и др. Докл. АН СССР, 1965, 165, 851.
4. Л. В. Альтшулер и др. ХВЭ, 1968, 2, 88.
5. С. С. Бацанов, А. А. Дерибас. Научно-технические проблемы горения и взрыва, 1965, 2, 52.
6. В. Н. Зубарев. ПМТФ, 1965, 2.
7. Л. В. Альтшулер, М. Н. Павловский, В. П. Дракин. ЖЭТФ, 1967, 52, 400.
8. Л. В. Альтшулер, Л. В. Кулешова, М. Н. Павловский. ЖЭТФ, 1960, 39, 16.
9. А. Т. Иванов и др. Первый Всесоюзный симпозиум по горению и взрыву. Тезисы докладов. М., «Наука», 1968.
10. М. Н. Павловский. ФТТ, 1967, 9, 3192.
11. Л. В. Кулешова, Н. Г. Калашников. Первый Всесоюзный симпозиум по горению и взрыву. Тезисы докладов. М., «Наука», 1968.
12. В. А. Веретенников, А. Н. Дремин, А. Н. Михайлов. ФГВ, 1966, 2, 3.

УДК 662.215.5+662.23

ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ ТРУДНОПОЛИМЕРИЗУЕМЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ УДАРНОМ СЖАТИИ

*Л. В. Барабэ,
А. Н. Дремин, С. В. Першин, В. В. Яковлев
(Москва)*

ПОВЕДЕНИЕ АРОМАТИЧЕСКИХ И АЛИФАТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В УСЛОВИЯХ УДАРНОГО СЖАТИЯ

Известно, что ароматические углеводороды в силу своего строения являются очень устойчивыми (по сравнению с алифатическими углеводородами) к термическим, химическим и радиационным воздействиям. Поэтому представляло интерес исследовать прочность связей в ароматических молекулах в специфических условиях ударного сжатия и сопоставить с поведением алифатических соединений в тех же условиях.