

УДК 678.01:54

**ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ В ПОЛИМЕРАХ
ВЫЗВАННЫЕ УДАРНЫМИ ВОЛНАМИ**

***П. А. Ямпольский, И. М. Баркалов, В. И. Гольданский,
В. В. Густов, И. Н. Дулин, В. Н. Зубарев,
А. Г. Казакевич***

В работе [1] было показано, что при прохождении ударной волны (УВ) по эластомерам в них возникает быстрый процесс сшивания макромолекул с образованием пространственной сетки. Настоящая работа посвящена дальнейшему исследованию поведения различных макромолекулярных веществ в УВ.

С этой целью нами был исследован ряд полимеров различной структуры и существенно расширен диапазон давлений в ударных волнах.

Испытуемые образцы, представлявшие собой шайбы диаметром 16 мм и высотой 1 мм, были запрессованы в стальные стаканчики. Методика получения УВ и способ воздействия на образцы описаны в работе [2]. В соответствии с данными этой работы амплитуды УВ в килобарах ($\kappa\text{б}$), которые приводятся дальше, представляют собой предельные значения многократного сжатия.

В исследуемых полимерных системах производилось определение растворимости, вязкости, определялась степень набухания, исследовались ИК-спектры.

Для определения параметров сетки, образовавшейся при воздействии УВ на каучук, был использован метод Флори [3, 4].

Результаты измерений

Нами были исследованы, наряду с каучуками, обладающими двойными связями, полимеры без двойных связей с различной структурой цепи.

Было исследовано воздействие УВ на непредельные эластомеры: бутадиенни трильный (СКН-26), бутадиенстирольный (коропрен-1500), натуральный (НК), дивиниловый (СКД) и изопреновый (СКИ-3) каучуки. Во всех исследованных каучуках было обнаружено сшивание макромолекул.

В табл. 1 приведены молекулярный вес сетки* (M_c) и содержание гель-фракции ($\Gamma\Phi$) в эластомерах, подвергнутых воздействию ударных волн различной амплитуды. Как видно из табл. 1, во всех исследованных эластомерах после воздействия УВ с амплитудой 120 $\kappa\text{б}$ и больше образуется пространственная сетка, так что содержание гель-фракции составляет около 100 %.

Молекулярные веса сеток, образовавшихся при воздействии УВ одинаковой амплитуды на разные эластомеры, оказываются весьма различными.

* Вследствие неоднородности образца каучука, полученного после воздействия УВ, величина M_c меняется от центра к краю образца.

При повышении амплитуды УВ молекулярный вес сетки быстро уменьшается и при амплитудах 200—300 кб большинство исследованных каучуков делается хрупким.

Как известно, в каучуках используется ряд наполнителей с целью изменения физико-механических свойств вулканизатов.

Для проверки влияния добавок на процесс вулканизации каучуков в УВ был приготовлен образец каучука СКД с наполнителем (сажа).

Сажу в количестве 30 вес. ч. на 100 вес. ч. каучука в течение 15 мин. вводили в смесь на лабораторных вальцах при охлаждении. Указанный

Таблица 1

Вулканизация непредельных эластомеров ударными волнами

P, кб	СКН		СКД		СКИ		НК		Юропрен	
	M _c	ГФ, %	M _c	ГФ, %	M _c	ГФ, %	M _c	ГФ, %	M _c	ГФ, %
120 а	25 000	80	10 000	87	10 ⁵	85	3 700	93	3 500	90
б	60 000	88	12 000	94	1,25 · 10 ⁵	75	5 000	98	2 300	100
200 а	1 300	94	450	82	3 000	95	400—1000	100		
б	1 150	94	560	82	3 600	100				

Примечание. При сжатии бутадиен-нитрильного каучука до давления 350 кб получается ненабухающий в растворителе порошок. а — образец вырезан из участка шайбы 1/3 радиуса; б — образец вырезан из участка шайбы 0,9 радиуса.

каучук с наполнителем подвергали воздействию УВ, а затем измеряли молекулярный вес сетки спищих каучуков.

Из табл. 2 видно, что введение в каучук в качестве наполнителя сажи облегчило образование сетки. При 120 кб концентрация поперечных связей увеличилась в каучуке, наполненном сажей, в 30 раз по сравнению

Таблица 3

Таблица 2
Вулканизация каучука с наполнителем

P, кб	M _c	
	СКД	СКД + сажа
0	Растворим	25 000
56	Растворим	25 000
120	10 000	300
200	500	Хрупкий порошок

Примечание. При введении сажи образовалась сетка, которая не изменилась и после воздействия УВ с P ≈ 56 кб.

Воздействие УВ на полидиметилсиликсан

P, кб	[η], д.л./г	Содержание гель-фракции, %	Набухание гель-фракции, % *
0	0	1,10	—
120	120	1,15	—
200	200	0,44	10
350	—	50	3300

* Измерение вязкости производили при растворении в бензоле, набухание — в *n*-гексане.

с ненаполненным. УВ с P = 56 кб не вызывает спшивания как в чистом, так и наполненном каучуках. Возможно, что наполнитель только облегчает образование поперечных связей, но не уменьшает величину пороговой амплитуды УВ. Однако для подтверждения этого необходимо несколько опытов с промежуточными значениями амплитуды УВ.

Вопрос о природе связей, образующихся при полимеризации в ударной волне, до сих пор не обсуждался. Есть все основания предполагать, что аналогично тому, как это происходит при полимеризации в УВ [5], в этом случае происходит раскрытие двойных связей C=C, приводящее к образованию мостиков типа C — C между молекулами.

К сожалению, мы не смогли проверить физико-механических свойств наших вулканизатов в силу неоднородности исследуемых образцов.

Кроме эластомеров с непредельными молекулами, о которых говорилось выше, были исследованы также и эластомеры с насыщенными связями.

В табл. 3 приведены некоторые характеристики полидиметилсилоксана (ПДМС), подвергнутого воздействию УВ.

Поведение ПДМС в УВ существенно отличается от поведения предельных каучуков, рассмотренных ранее.

В работе [1] исследовался полизобутилен — эластомер без двойных связей. При амплитудах УВ до 100 кб не было обнаружено образований поперечных связей, а воздействие УВ выразилось в деструкции полимерной молекулы. Для молекулы ПДМС воздействие УВ приводит к образованию межмолекулярных связей. Пространственная сетка начинает образовываться при амплитудах около 200 кб. При 350 кб свыше 50% вещества превращается в нерастворимую гель-фракцию.

Каков механизм спивки молекул при отсутствии двойных связей? Можно предполагать, что аналогично тому, как это бывает при радиационном спивании, происходит отрыв водорода, ведущий к появлению поперечной связи между молекулами.

Известно, что ПДМС радиационно легко структурируется [6]. Наблюдаемое при радиационном спивании газовыделение свидетельствует о том, что одним из наиболее частых процессов является удаление двух водородных атомов с образованием мостика. Было бы крайне интересно установить, какие связи рвутся при структурировании ПДМС в УВ.

Наряду с ПДМС был исследован такой эластомер, как бутилкаучук.

Ниже показано, как изменяется характеристическая вязкость бутилкаучука, подвергнутого воздействию УВ разной амплитуды.

$P, \text{ кб}$	0	120	200	350	500
$[\eta], \text{ дл/г}$	0,81	0,70	0,72	0,58	0,52

Из этих данных видно, что в диапазоне амплитуд УВ до 500 кб бутилкаучук испытывает деструкцию. Исследование ИК-спектров бутилкаучука, подвергнутого воздействию УВ, не показало наличия мономера в полимере. Так как бутилкаучук состоит в основном из звеньев изобутилена, то это находится в согласии с обнаруженными ранее характеристиками полизобутилена [1].*

Определялось изменение молекулярного веса полимера в УВ при амплитудах, много меньших тех, при которых происходит образование гель-фракции. С этой целью был исследован натуральный каучук (НК), подвергнутый сжатию УВ с амплитудой $P \leqslant 100$ кб. В табл. 4 приведено изменение вязкости этого каучука.

Как видно из табл. 4, НК испытывает в УВ деструкцию, и его средневязкостный молекулярный вес уменьшается в несколько раз. С другой стороны, как это видно из табл. 1 и 4, НК при воздействии УВ с амплитудой 100 кб и больше образует практически сплошную пространственную сетку. Таким образом, показано, что один и тот же эластомер может в УВ структурироваться и претерпевать деструкцию.

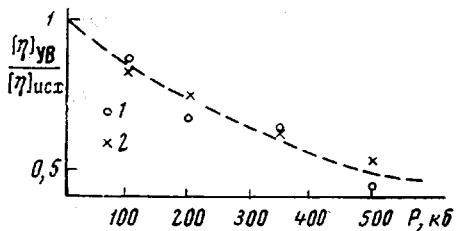
* Кроме бутилкаучука был исследован также фторсодержащий каучук (СКФ-32), не показавший спивания в УВ.

Таблица 4
Воздействие УВ на каучук

$P, \text{ кб}$	$[\eta], \text{ дл/г}$	$M = 8,9 \cdot 10^4$ $[\eta]^{1,5}$
0	8,25	$2,1 \cdot 10^6$
30	1,39	$1,48 \cdot 10^5$
70	1,27	$1,27 \cdot 10^5$
90	1,23	$1,2 \cdot 10^5$
100	90% гель-фракции	$M_c = 10^4$

* Обжатие образцов каучука в УВ производили в Филиале ИХФ в лаборатории А. Н. Дремина, которому авторы приносят благодарность.

Соотношение скоростей обоих процессов может быть различным. Если сшивание преобладает, то в таком полимере возникает гель-фракция, причем ее доля будет определяться отношением скоростей обоих процессов. В отличие от радиационных химических процессов, где деструкция и сшивание происходят одновременно, в УВ образование деструктированного и спицового каучуков происходит раздельно в различных диапазонах давлений. Если амплитуда УВ меньше некоторой пороговой, то наблюдается только деструкция полимера. Если же амплитуда УВ достаточно велика, то происходит структурирование. Из того факта, что для НК при $P = 200$ кб гель-фракция составляет $\sim 100\%$, следует, что деструкция при больших амплитудах УВ совсем не происходит, а имеется лишь образование поперечных связей. Таким образом, воздействие УВ заданной амплитуды на молекулу носит избирательный характер, причем пороговая амплитуда УВ, необходимая для сшивания НК, превосходит область амплитуд УВ, при которых происходит деструкция каучука.



Зависимость характеристической вязкости от давления для блочного (1) и порошкового (2) ПММА

лось, что, как и в случае бутилкаучука, уменьшение его вязкости не может быть следствием деполимеризации и является результатом деструкции макромолекул. Полиэтилен и полипропилен показали весьма небольшую деструкцию. В полистироле же, в отличие от других исследованных полимеров, образуются поперечные связи, так что он переходит в нерастворимое состояние.

Механизм химических реакций в конденсированных средах, инициированных УВ, в настоящее время еще мало понятен. Оценочные значения

Таблица 5

Воздействие УВ на полимеры с насыщенными связями

P, кб	Полимер			
	полипропилен, $[\eta]$	полиэтилен, $[\eta]$	полиметилметакрилат, $[\eta]$	Полистирол
Исходный	1,75	1,44	10,2	
120	1,36	1,29	9	Набухание
200	1,50	1,15	7	
350	1,45		6,7	Набухание до 1000%
500	1,08	1,08	4,7	Набухание до 400%

температур при сжатии были приведены в работе [2]. Однако для более точного их определения необходимы уточненные данные об уравнениях состояния сжимаемых веществ. Можно ли применять величины, определенные из уравнения состояния вещества в ударной волне? Может быть, благодаря тому, что ударному сжатию подвергались негомогенные вещества из прессованного порошка [1], в них при прохождении УВ возникают микрообъемы с очень высокой температурой, «горячие точки», в ко-

торых инициируется начало химического процесса. Подобного рода процессы имеют место при ультразвуковом инициировании химических процессов в жидкости.

Для уяснения этого вопроса были подвергнуты воздействию УВ два образца ПММА — блочный (плотность $\rho_0 = 1,18 \text{ г/см}^3$) и прессованный порошковый ($\rho_0 = 0,6 \text{ г/см}^3$). На рисунке отложены характеристические вязкости в относительных единицах для обоих образцов. Как видно из рисунка, в пределах точности измерения деструкция обоих образцов носит одинаковый характер.

В чем различие в состоянии обоих образцов за фронтом УВ? В порошковом образце температура за фронтом УВ была больше, чем в сплошном, так как большая часть энергии УВ должна быть затрачена на не обратимые процессы [7]. Кроме того, различие заключается в том, что блочный образец представляет собой гомогенную непористую среду, в которой нет никаких условий для образования особых горячих точек. В пористом образце при захлопывании пор за фронтом УВ должны возникать микрообъемы с очень высокой температурой. Воспроизводимость характера воздействия УВ на вещество в обоих случаях свидетельствует о том, что механизм химических реакций за УВ не связан с какими-либо особыми микронагревами, так как и при их отсутствии процесс за УВ не меняется. Из сопоставления результатов обжатия сплошных и пористых образцов следует сделать и другой вывод: несмотря на то, что температуры в сжатом состоянии и остаточные температуры пористых образцов существенно выше, чем сплошных, заметной разницы в результатах воздействия ударной волны на оба образца не наблюдается. Отсюда следует, что термическое воздействие не является определяющим в процессе деструкции ПММА УВ.

Рассмотрим вопрос об энергии, которая расходуется УВ и идет на те или иные химические процессы.

Имеем систему с начальной температурой T_0 и удельным объемом $V_0, \text{ г/см}^3$. При помощи ударного сжатия система скачком переходит в состояние с объемом V_1 и давлением P_1 . Изменение внутренней энергии при этом будет

$$\Delta E_{\text{вн}} = \frac{1}{2} P_1 (V_0 - V_1) \quad (1)$$

Мы предполагаем, что, как это имеет место при детонации [8], химическая реакция происходит после того, как исходное вещество на диаграмме PV было переведено УВ из точки ($P = 0, V_0$) в точку ($P_1 V_1$). По окончании химической реакции с выделением энергии Q вещество испытывает дополнительное нагревание, и его объем равняется V_1 . Так как в результате этого процесса получается иное вещество с другим уравнением состояния и, следовательно, другой температурой, то состояние вещества описывается другой адиабатой. После этого система адиабатически расширяется до объема V' . Полное изменение энергии в системе после прохождения УВ будет:

$$\Delta E_{\text{oct}} = \frac{1}{2} P_1 (V_0 - V_1) + Q - \int_{V_2}^{V'} (P dV)_S \quad (2)$$

После прохождения УВ по веществу без химической реакции изменение внутренней энергии было бы:

$$\Delta E'_{\text{oct}} = \frac{1}{2} P_1 (V_0 - V_1) - \int_{V_1}^{V'} (P dV)_S \quad (3)$$

При этом разность энергии ударного сжатия и адиабатического охлаждения шла бы целиком на повышение температуры системы

$$\Delta E_{\text{oct}} = C_p (T - T_0). \quad (4)$$

При наличии химических изменений только часть энергии, поглощенной системой, идет на изменение остаточной температуры, а часть энергии должна быть затрачена на химические реакции. Эта часть энергии в общем случае может быть как положительной, так и отрицательной. В работе [9] было показано, что при ударном сжатии полиакриламида происходит выделение тепла, которое может привести к смещению вправо ударной адиабаты конечного продукта (в координатах $P - V$). Следовательно, полимеризация в УВ может иметь детонационный характер.

Таким образом, для точного определения энергетического баланса химических реакций в УВ необходимо знать уравнение состояния исходного вещества и продукта реакции, а также начальные и конечные параметры системы. Энергия, поглощенная в системе, где идет химическая реакция, представляет собой необратимые энергетические затраты, возникающие в системе. Для инициирования химической реакции в системе необходимо перевести в состояние высокого сжатия. Для этого необходимо повысить внутреннюю энергию на величину, определяемую из уравнения (1), при этом энергия не теряется полностью на необратимые процессы, а в определенной степени идет на работу из энтропического расширения.

Можно сделать полуколичественные оценки интересующих нас величин, исходя из того, что УВ в образцах слабые, и динамические адиабаты исходного вещества и продуктов реакции различаются мало.

Для инициирования химического процесса требуется перевести вещество в то состояние, в котором оно находится за фронтом УВ. Однако эта энергия не поглощается внутри объема вещества, а значительная часть ее уходит при изэнтропическом расширении. Следовательно, ушедшая часть энергии может вновь инициировать химические процессы при распространении УВ по веществу.

Энергия же УВ, поглощенная в заданном объеме ($\Delta E_{ост}$), будет определять величину энергетических затрат, необходимых для проведения данного химического процесса.

Можно по аналогии с определениями, принятыми в радиационной химии, где эффективность воздействия излучения на вещество определяется величиной, называемой радиационным выходом, ввести соответствующую величину, которая в дальнейшем будет называться химическим выходом и означать число химических актов, отнесенных к необратимым затратам внутренней энергии ($\Delta E_{ост}$) при ударном сжатии.

Оценим энергию, необходимую для спшивания полистирола УВ (табл. 5). При этом будем считать, что ударные адиабаты полистирола и полиметилакрилата близки друг к другу, и воспользуемся данными, приведенными в работе [2]. В этом случае остаточное изменение внутренней энергии при ударном сжатии конечным давлением 120 кб будет равным $2,9 \cdot 10^8$ эрг/г. В этих условиях (табл. 5) происходит спшивание полистирола на 95 %.

Согласно данным [6], для радиационного спшивания полистирола требуется доза около 180 Мрад *, что соответствует поглощению примерно $2 \cdot 10^{10}$ эрг/г. Из сопоставления этих двух величин можно заключить, что при спшивании полистирола импульсным сжатием с амплитудой 120 кб химический выход в УВ примерно на два порядка больше, чем в случае использования проникающего излучения.

Приведенные оценки являются весьма грубыми, но тем не менее они полезны, так как ориентировочно определяют величину энергии, затрачиваемой на химические реакции в УВ.

Представляет интерес определить, например для каучука, как изме-

* При радиационном спшивании полистирола требуется 2000 эв на одну спивку. Эта величина во много раз больше, чем для большинства линейных полимеров. Радиационная стойкость полистирола обусловлена защитным действием бензольных колец.

няется химический выход реакции сшивания $\left(\frac{1}{2}N_c/\Delta E_{\text{ост}}, \text{ где } N_c/2 - \right.$ концентрация сшивок на 1 г исходного эластомера) в зависимости от амплитуды ударной волны. С этой целью можно использовать данные работы [1] о вулканизации каучука СКБ.

Для определения величины химического выхода необходимо знать в интересующем нас диапазоне давлений величину $\Delta E_{\text{ост}}$. Эта величина равна TdS . При малых амплитудах ударных волн $\Delta S \sim P_1^3$ [10] *. Принимая, что изменение энтропии при сжатии ударной волной с амплитудой 10^4 atm относительно невелико, и считая, что по ударной сжимаемости СКБ и ПММА различаются незначительно, можно, воспользовавшись данными работы [2], приближенно рассчитать $\Delta E_{\text{ост}}$.

В табл. 6 в первой графе приведена амплитуда конечного сжатия во второй графе — величина $\frac{1}{2}N_c$ в каучуке СКБ.

В графах 3 и 4 приводятся значения $\Delta E_{\text{вн}}$ [1] и $\Delta E_{\text{ост}}$ [5]. В пятой графе приведен химический выход сшивания каучука СКБ в УВ. Нако-

Таблица 6
Химический выход сшивания СКБ

$P, \text{ кб}$	$\frac{1}{2}N_c \cdot 10^{-11}$	$\Delta E_{\text{вн}} \cdot 10^{-9}, \text{ эрг/г}$	$\Delta E_{\text{ост}} \cdot 10^{-9}, \text{ эрг/г}$	$\frac{\frac{1}{2}N_c}{\Delta E_{\text{ост}}} \cdot 10^{-11}, \text{ сшивок/эрг}$	$G, \text{ сшивок/100 эв}$
40	0,43		1,3	3,4	54
60	4,3	8,25	4,4	9,8	154
80	13,0	12,2	10,5	12,4	200
100	30,0	16,5	20,8	14,4	230

нец, в последней графе для сравнения с величиной, принятой в радиационной химии, приведена концентрация сшивок на 100 эв поглощенной энергии G .

Из сопоставления данных граф 3 и 4 видно, что в интересующем нас диапазоне давлений остаточная энергия составляет $\sim 1\%$ от изменения внутренней энергии.

Химический выход сшивания СКБ возрастает с ростом давления. При давлении около 100 кб кривая выхода имеет максимум. С увеличением давления выход должен уменьшаться, так как концентрация сшивок стремится к предельному значению [1], а остаточная энергия растет. Максимальное значение химического выхода равно $\sim 250 \text{ сшивок}/100 \text{ эв}$. По данным работы [6], радиационный выход для сшивания каучуков составляет $\sim 2 \text{ сшивки}/100 \text{ эв}$.

Таким образом, как и для полистирола, химический выход сшивания каучука СКБ УВ превосходит радиационный выход примерно на два порядка.

Авторы считают своим долгом выразить глубокую благодарность Л. В. Альтшулеру за постоянный интерес к работе. Авторы благодарят также И. А. Долгова, Н. М. Филиппчука и А. Н. Шуйкина за большую помощь в подготовке и проведении взрывных экспериментов.

* P_1 — давление в первой ударной волне. Считается, что атмосферное давление мало в сравнении с P_1 .

Выводы

1. Установлено, что все исследованные эластомеры с двойными связями в главной цепи макромолекулы при воздействии ударной волны (УВ) с амплитудой 120 кб и больше образуют пространственную сетку.

2. На примере дивинилового каучука (СКД) показано, что в каучуке с наполнителем (сажей) облегчается (в 30 раз при $P = 120$ кб) образование пространственной сетки при заданной амплитуде УВ, но пороговая амплитуда сшивания макромолекулы, по-видимому, не изменяется.

3. Показано на примере диметилсилоанового каучука (ПДМС), что в УВ могут возникать поперечные связи не только в макромолекулах с двойной связью в главной цепи, но и в молекулах, не содержащих двойных связей. При 350 кб в ПДМС образуется свыше 50% гель-фракции.

4. На примере натурального каучука (НК) показано, что в одной и той же макромолекуле под воздействием УВ может происходить процесс деструкции и сшивания. В НК эти процессы проходят раздельно, и при малых амплитудах УВ ($P \leq 90$ кб) идет процесс деструкции, а при больших (100 кб и больше) — только процесс сшивания.

5. Ряд макромолекул (бутилкаучук, полиэтилен, полиметилметакрилат и др.) показал наличие деструкции, обусловленной УВ.

6. Исследовалась деструкция блочного ($\rho_0 = 1,18$ г/см³) и пористого ($\rho_0 = 0,6$ г/см³) полиметилметакрилата в УВ. В пористом образце при захлопывании пор образуются макрообъемы с высокой температурой. Характер деструкции в обоих образцах был одинаков. Таким образом, отсутствие горячих точек в образце не влияло на химическое действие УВ.

7. Приближенные оценки показывают, что энергетические затраты на сшивание полистирола УВ с амплитудой 120 кб примерно на два порядка меньше, чем затраты на радиационное сшивание полистирола. Подсчитана энергия, затрачиваемая на сшивание бутадиенового каучука. Сшивание возникает при воздействии УВ с давлением больше 35 кб. При 100 кб химический выход достигает ~ 250 сшивок/100 эв. Эта величина тоже на два порядка превышает соответствующий радиационный выход.

Институт химической физики
АН СССР

Поступила в редакцию
12 V 1967

ЛИТЕРАТУРА

1. И. М. Баркалов, В. И. Гольданский, В. В. Густов, А. Н. Дремин, А. М. Михайлов, В. Л. Тальрозе, П. А. Ямпольский, Докл. АН СССР, 167, 1077, 1966.
2. Л. В. Альтшuler, И. М. Баркалов, И. Н. Дулин, В. В. Зубарев, Т. Н. Игнатович, П. А. Ямпольский, Химия высоких энергий, 2, 88, 1968.
3. F. J. Flory, Principles of Polymer Chemistry, Cornell Univ. Press, 1953, p. 507, XIII — 3.
4. А. И. Шварц, Каучук и резина, 1957, № 7, 31.
5. Г. И. Ададуров, И. Н. Баркалов, В. И. Гольданский, А. Н. Дремин, Т. Н. Игнатович, А. М. Михайлов, В. Л. Тальрозе, П. А. Ямпольский, Докл. АН СССР, 165, 851, 1965.
6. А. Чарлсби, Ядерные излучения и полимеры, Изд-во иностр. лит., 1962.
7. Я. Б. Зельдович, Ю. П. Райзер, Физика ударных волн, Физматиздат, 1965.
8. Я. Б. Зельдович, А. С. Компанеец, Теория детонации, ГТТИ, 1955.
9. И. М. Баркалов, В. И. Гольданский, В. Л. Тальрозе, П. А. Ямпольский, Ж. эксп. и теорет. физики, Письма, 8, 369, 1966.
10. Л. Д. Ландау, И. М. Лифшиц, Механика сплошных сред, изд. 2-е, ГТТИ, 1954.

CHEMICAL REACTIONS IN POLYMERS CAUSED BY SHOCK WAVES

*P. A. Yampol'skit, I. M. Barkalov, V. I. Gol'danskii, V. V. Gustov,
I. N. Dulin, V. N. Zubarev, A. G. Kazakevich*

Summary

Action of shock waves (SW) on polymeric systems has been investigated. Flat SW amplitudes from 20 to 500 kb obtained by means of explosion are used. SW's cause rising of crosslinks and gel-fraction in different polymers. In polymers with double bonds vulcanization has been observed. In saturated polymers either degradation or gel-fraction rising occurs. On the example of natural rubber it has been shown that at pressures in SW ≤ 90 kb degradation and at $P \geq 100$ kb vulcanization takes place. It proves selectivity of SW action on different chemical bonds in one molecule. On the example of polymethylmethacrylate it has been shown that the changes in the polymer do not depend on state of the sample (homogeneous or compressed powder). It proves that mechanism of chemical reaction in SW is not related to «hot points» in the substance. Estimation of energy yields of chemical processes in SW on the example of polystyrene and SKB rubber show that crosslinking yield per unit of absorbed energy by two orders higher than at radiation vulcanization.
