

УДК 678.742:678.01:53

ВЫСОКОЭЛАСТИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ В РАСТВОРАХ
ПОЛИМЕРОВ НА ПРИМЕРЕ РАСТВОРОВ
БУТИЛКАУЧУКА В ГЕКСАДЕКАНЕ

*Г. В. Виноградов, А. Я. Малкин, В. Ф. Шумский,
М. П. Забугина*

Способность к высокоэластическим деформациям, являющаяся наиболее характерным свойством полимерных систем, по-разному проявляется в зависимости от относительного влияния вязкостных и эластических эффектов при деформировании системы. Наиболее простым методом изменения относительного влияния вязкости и эластичности системы является введение в полимер низкомолекулярного растворителя, поскольку при этом чрезвычайно резко изменяются вязкостные свойства. В [1] при изменении концентрации раствора бутилкаучука в гексадекане, сопровождающемся уменьшением вязкости в $\sim 10^8$ раз, во всех исследованных растворах наблюдали нормальные напряжения в сдвиговом течении, что является проявлением высокоэластичности растворов.

Цель настоящей работы — прямое измерение высокоэластических деформаций, развивающихся при сдвиговых деформациях растворов бутилкаучука в гексадекане при изменении концентрации полимера от 100 до 9% по объему. Это позволило, резко изменения вязкость системы, проследить за изменением соответствия между тремя основными параметрами, определяющими условия течения системы при заданной постоянной скорости сдвига $\gamma = \text{const}$ — касательными напряжениями τ , первой разностью нормальных напряжений σ и высокоэластическими деформациями γ_e . Такая постановка задачи связана с тем, что в литературе выдвигались различные соотношения между этими параметрами. Так, известна формула Лоджа [2], согласно которой:

$$\gamma_e = \sigma / 2\tau \quad (1)$$

и формула Вейссенберга, независимо предложенная также Муни и Ривлиным:

$$\gamma_e = \sigma / \tau \quad (2)$$

Эти формулы часто использовались в литературе для расчета одного из входящих в нее параметров по измеренным двум другим, хотя возможность такого расчета отнюдь не очевидна. Проведенная в работах [3, 4] прямая проверка теоретических формул с независимым определением τ , σ и γ_e подтвердила возможность использования формулы (1) по отношению к установленвшимся режимам течения. В работах Филиппова с соавторами обычно утверждалось [5—7], что правильной является формула (2). В нашей работе [8] было показано, что ни одна из этих формул не применима по отношению к пластифицированному бутилкаучуку. В работах [4, 9] было найдено, что даже в том случае, когда какая-либо из приведенных формул выполняется для установленвшихся режимов течения, она тем не менее остается неприменимой для предстационарных режимов. Таким образом,

в настоящее время вопрос о соответствии напряжений и высокоэластических деформаций при течении полимерных систем остается спорным и требует дальнейшего экспериментального исследования. Такое исследование составило одну из основных задач настоящей работы.

Мы не будем здесь детально останавливаться на описании образцов и применением экспериментальной технике, так как эти вопросы изложены в работах [1, 8].

Экспериментальные данные и их обсуждение

Типичные зависимости высокоэластических деформаций γ_e от полной деформации γ , наблюдавшиеся в растворах бутилкаучука при задании постоянной скорости сдвига $\dot{\gamma} = \text{const}$, близки к аналогичным зависимостям, описанным в работе [8] для пластифицированного бутилкаучука. В обоих случаях при повышении заданной скорости сдвига зависимость $\gamma_e(\gamma)$ постепенно изменяется от монотонной к экстремальной. При этом максимум

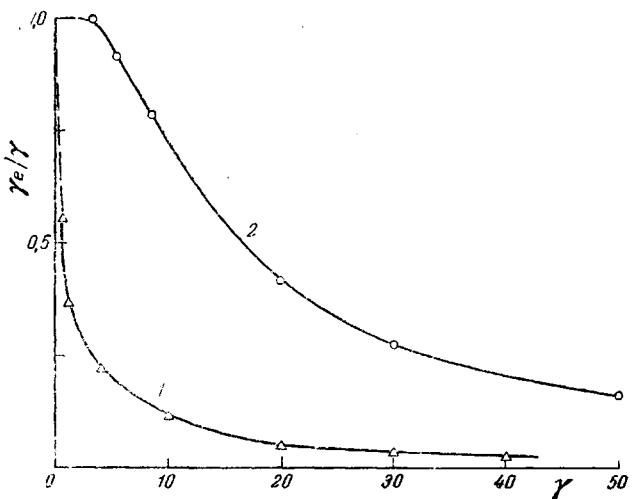


Рис. 1. Развитие высокоэластических деформаций при заданной постоянной скорости сдвига для растворов бутилкаучука в гексадекане. Содержание полимера, объемные доли: 0,51 (1); 0,85 (2)

высокоэластических деформаций, как и максимум касательных напряжений, выражен в исследованных растворах бутилкаучука весьма слабо: во всех случаях отношение максимальных значений этих параметров к соответствующим величинам, определяемым для установившегося вязкого течения, не превышало 1,5. Это означает, что прочностные свойства структурной сетки, образуемой полимером в растворе, выражены довольно слабо, или точнее сказать, эта сетка образована набором связей, прочность которых распределена в широком диапазоне значений, поэтому при развитии вязкого течения не наблюдается резко выраженного максимума напряжений, соответствующего преимущественной прочности структурных связей (пределу сдвиговой прочности).

Как будет показано ниже, высокоэластические деформации, которые могут развиваться в бутилкаучуке и его растворах — величины одного порядка. Однако по мере введения растворителя в полимер соотношение между высокоэластической и пластической (необратимой) составляющей деформации при одной и той же величине полной деформации изменяется. Это хорошо видно из рис. 1, на котором представлена зависимость отношения γ_e / γ от полной деформации. Как было показано в случае бутил-

каучука [8], снижение вязкости вследствие повышения температуры ускоряет достижение установившихся режимов течения. Этого же эффекта можно ожидать и при снижении вязкости системы вследствие введения низкомолекулярного растворителя. Действительно, как видно из рис. 1, введение 50% гексадекана ускоряет развитие пластических деформаций. Но влияние растворителя на характер развития деформаций в предстационарном режиме течения оказывается слабее, чем на вязкость системы: при переходе от кривой 2 к кривой 1 на рис. 1 эффективная вязкость при выбранной скорости сдвига уменьшается почти в 100 раз, а соотношения между пластической и высокоэластической деформациями при одинаковых полных деформациях остаются того же порядка. Значительно более резкое влияние температуры и добавления растворителя на вязкостные свойства по сравнению с высокоэластическими вообще довольно типично для полимерных систем. Это было показано в работе [8] при изучении влияния температуры на вязкостные и эластические свойства бутилкаучука и будет показано ниже при рассмотрении влияния растворителя на величину высокоэластических деформаций и модулей высокоэластичности его растворов.

Тот факт, что в начальных стадиях предстационарных режимов деформации доминирующую роль играют высокоэластические деформации, которые намного превосходят пластическую составляющую полной деформации, свидетельствуют о том, что при задании в эксперименте режима $\dot{\gamma} = \text{const}$ режим постоянных скоростей необратимой деформации не реализуется. Необратимая составляющая деформации $\dot{\gamma}_f$, очевидно, равна $\dot{\gamma}_f = \dot{\gamma} - \dot{\gamma}_e$, а скорость развития необратимых деформаций

$$\dot{\gamma}_f = d(\dot{\gamma} - \dot{\gamma}_e)/dt = \dot{\gamma} \frac{d(\dot{\gamma} - \dot{\gamma}_e)}{d\dot{\gamma}} = \dot{\gamma}(1 - d\dot{\gamma}_e/d\dot{\gamma}). \quad \text{Результаты расчетов}$$

$\dot{\gamma}_f(\dot{\gamma})$ по полученным экспериментальным данным показаны на рис. 2. При малых деформациях основную долю полной деформации составляет $\dot{\gamma}_e$, поэтому $\dot{\gamma}_f$ мала, затем скорость нарастания необратимых деформаций возрастает и, проходя через слабо выраженный максимум, достигает установленногося значения, равного заданной скорости сдвига, так как при больших полных деформациях $\dot{\gamma}_e = \text{const}$ и $\dot{\gamma}_f = \dot{\gamma}$. Заданное значение $\dot{\gamma}$ отмечено на оси ординат (справа) рис. 2 стрелкой.

Как хорошо известно, в предстационарном режиме происходят также сложные по характеру изменения напряжения. Величину отношения сдвигового напряжения к величине скорости необратимой деформации можно принять за эффективную вязкость системы η_f в переходном (предстационарном) режиме течения. Это позволяет проследить за изменением вязкости по мере развития деформации. Как видно из рис. 2, эффективная вязкость вначале резко возрастает и затем, переходя через весьма отчетливо выраженный максимум, снижается, достигая установленногося значения, очевидно, равного значению эффективной вязкости, которое используется при построении «кривой течения». На рис. 2 по оси ординат (слева) стрелками отмечены значения начальной ньютоновской вязкости (верхняя стрелка) и вязкости в установленномся течении (нижняя стрелка). Кривые на рис. 2 построены для типичного примера — пластифицированного бутилкаучука с содержанием полимера в системе порядка 85% при скорости сдвига 0.34 сек^{-1} и 100° . Такие же, хотя и не всегда явно выраженные, результаты были получены для всех изученных растворов. Ранее аналогичные по смыслу, хотя и не столь полные данные были получены при изучении изменений вязкости в предстационарном режиме деформирования раствора полизобутилена [10].

Наблюдаемый характер изменения вязкости в переходном режиме деформирования — от состояния покоя до выхода на режим установленногося течения — можно понять, если учесть одновременное протекание двух про-

цессов: разрушение структурной сетки, приводящее к снижению сопротивления деформированию, и ориентация элементов структуры, способствующая возрастанию их жесткости и, следовательно, сопротивления деформированию. В начальной стадии деформирования вязкость, измеренная в

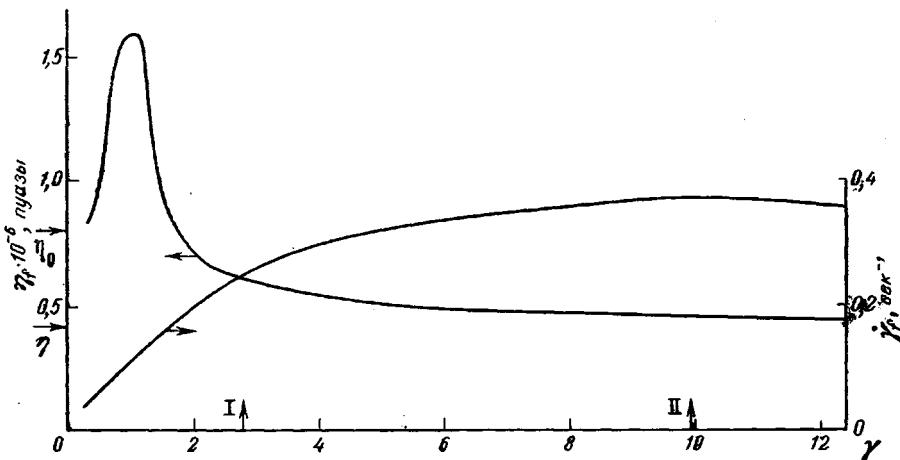


Рис. 2. Изменение скорости натекания необратимой деформации γ , и вязкости в переходном режиме деформирования η , при заданной постоянной скорости сдвига $\gamma = 0,34 \text{ сек}^{-1}$

I — положение максимума касательных напряжений; II — положение максимума высокомодульных деформаций; η_0 — значение начальной ньютоновской вязкости; η — вязкость в установившемся режиме течения

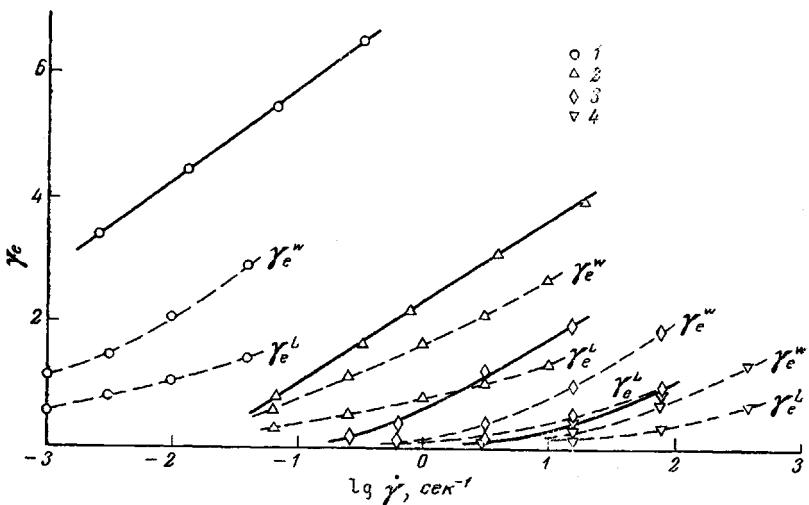


Рис. 3. Высокоэластические деформации, развивающиеся при устанавлившемся течении растворов бутилкаучука в гексадекане. Содержание полимера, объемные доли: 1 — 1; 2 — 0,51; 3 — 0,2 и 4 — 0,09, η_e^W — величины σ / τ ; η_e^L — величины $\sigma / 2\tau$

предстационарном режиме, близка к начальной ньютоновской вязкости η_0 и затем возрастает. Это свидетельствует о том, что первичным процессом, протекающим при заданной постоянной скорости сдвига, является ориентация структурных элементов, ибо их разрушение, сопровождающееся изменением всех свойств системы, начинается при достаточно больших деформациях. Максимум вязкости достигается при деформациях, много меньших, чем максимум касательных напряжений (рис. 2, стрелка I).

Максимальные высокоэластические деформации наблюдаются при деформациях (рис. 2, стрелка II), соответствующих уже весьма значительному разрушению исходной структурной сетки и возрастанию подвижности элементов структуры.

Более детально влияние скорости деформации и состава системы на эластичность растворов бутилкаучука представлено на рис. 3 (сплошные линии). Из рис. 3 видно, что для всех изученных систем при изменении их вязкости в 10^8 раз высокоэластические деформации, которые могут развиваться в растворах, составляют величины одного и того же порядка — до нескольких единиц (нескольких сотен процентов деформации). Для данного раствора при увеличении скорости сдвига высокоэластические деформации возрастают, причем не удалось наблюдать каких-либо предельных значений γ_e ; экспериментально значений γ_e в установившихся режимах течения, больших ~ 7 единиц, наблюдать не удавалось.

На этом же рисунке для трех растворов с содержанием полимера 0,09; 0,2 и 0,51 пунктиром показаны экспериментально определенные значения $\gamma_e^W = \sigma / \tau$ и $\gamma_e^L = \sigma / 2\tau$. Экспериментальные данные показывают, что в данном случае, как и в ранее рассмотренном случае пластифицированного бутилкаучука, ни одна из этих формул не согласуется с полученными экспериментальными данными: почти во всех случаях теоретические формулы дают существенно заниженные значения высокоэластической деформации. Этот вывод относится не только к предстационарным режимам деформирования, но и к режимам установившегося течения; поэтому следует избегать некритического использования соотношений между напряжениями и высокоэластическими деформациями для расчетов какой-либо из трех величин по измеренным двум другим, если заранее нет уверенности в справедливости теоретических формул.

С теоретической точки зрения особый интерес представляет сопоставление напряжений и высокоэластических деформаций в линейной области механического поведения системы. Характеристикой эластичности в этой области является величина наименьшего модуля высокоэластичности G_0 , который определяется как $G_0 = \lim_{\tau \rightarrow 0} G_e = \lim_{\tau \rightarrow 0} (\tau / \gamma_e)$, где τ — касательные

напряжения в условиях установившегося течения, происходящего со скоростью сдвига γ . Значения G_0 были получены нами экстраполяцией экспериментальных данных к $\tau \rightarrow 0$. Аналогом модуля высокоэластичности G_0 является величина параметра $\Pi = \tau^2 / \sigma$ (так как $G_0 = \tau / \gamma_e$, а с γ_e сопоставляется величина безразмерного отношения σ / τ , то с отношением τ / γ_e следует сопоставлять параметр τ^2 / σ). Начальные значения параметра $\Pi_0 = \lim_{\tau \rightarrow 0} \Pi$ были определены для исследуемых растворов в [1]. Сопоставление величин G_0 и Π_0 (рис. 4), показывает, что в линейной области выполняется простейшее соотношение $G_0 = 2\Pi_0$, вытекающее из формулы (1) и общих теоретических соображений [11].

Характер зависимости начального модуля высокоэластичности от концентрации виден из рис. 4. Очень близкие как по характеру, так и даже по численным значениям величины модуля G_0 наблюдались в работе [12] для растворов полизобутилена. Зависимость $G_0(\tau)$ во всем исследованном диапазоне концентраций не описывается какими-либо простейшими зависимостями — степенной или экспоненциальной. Но при содержании полимера от 0,2 до 1,0 достаточно хорошо выполняется степенная зависимость $G_0 \sim c^a$, где величина a близка к 3. Таким образом, зависимость модуля высокоэластичности от концентрации весьма сильная, во всяком случае сильнее, чем обычно получавшиеся зависимости $G_0(\tau)$ для области относительно низких концентраций, согласно которым a составляет величину, равную единице или несколько большую 1,0 [5, 12]. Лишь в работе Ферри [13] приведены более высокие значения a , порядка 3, но следует заметить, что в работе [13] модули высокоэластичности непосредственно не

определяли, а рассчитывали по модели, которую Ферри предложил для описания зависимости скорости сдвига от напряжения для растворов полистирола в ксилоле.

Влияние концентрации раствора на его эластические свойства в нелинейной области наиболее наглядно проявляется при рассмотрении зависимости высокоэластических деформаций от напряжения сдвига (рис. 5). Видно, что основной эффект разбавления связан с уменьшением модуля высокоэластичности и, в частности, наименьшего модуля высокоэластичности G_0 , который служит мерой высокоэластических свойств системы в линейной области ее механического поведения. Изменение модулей высокоэластичности в нелинейной области, определяемых в общем случае как отношение $G_e = \tau / \gamma_e$, при любых парах значений τ и γ_e связано с двумя эффектами: влиянием концентраций и напряжения сдвига. Поскольку влияние концентрации оказывается через величину наименьшего модуля

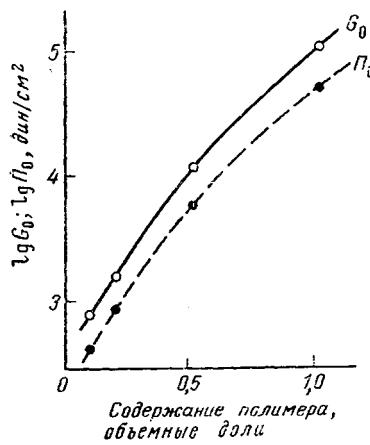


Рис. 4. Сопоставление наименьшего модуля высокоэластичности G_0 и параметра Π_0 , определяемого по нормальному и касательному напряжениям в линейной области как $\Pi_0 = \tau^2 / \sigma$ при $\tau \rightarrow 0$ для растворов разной концентрации

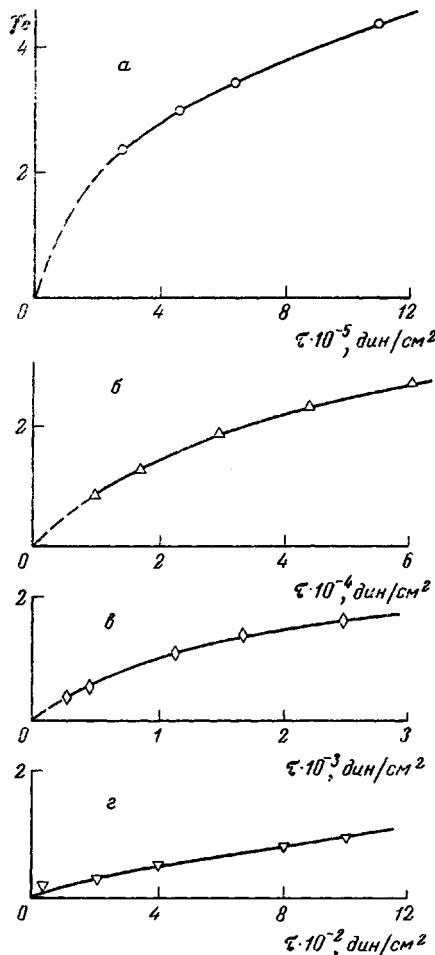


Рис. 5. Зависимости высокоэластических деформаций от касательных напряжений для растворов бутилкаучука различной концентрации.

Содержание полимера, объемные доли:
а — 1; б — 0,5; в — 0,2; г — 0,09

высокоэластичности G_0 , то зависимость высокоэластических деформаций от концентрации и напряжений сдвига можно представить в виде произведения двух независимых функций, одна из которых (наименьший модуль) зависит только от концентрации $G_0(c)$, а другая описывает влияние напряжений сдвига на повышение модуля. Тогда зависимость $\gamma_e(c, \tau)$ можно представить в виде:

$$\gamma_e = f(\tau) / G_0(c) \quad (3)$$

Из формулы (3) следует, что зависимость $\gamma_e G_0$ от τ должна быть инвариантной относительно концентрации, что видно из рис. 6, на котором для

исследованных растворов построены зависимости $\gamma_e G_0$ от τ . Как видно, через экспериментальные «точки» можно провести усредненную концентрационно-инвариантную характеристику эластичности $\gamma_e G_0$ в функции от τ .

Из формулы (3) и рис. 6 становится ясным характер влияния добавления к полимеру низкомолекулярного растворителя на высокоэластичность системы. Способность к высокоэластическим деформациям определяется величиной наименьшего модуля G_0 и приложенными напряжениями τ , причем влияние растворителя полностью описывается функцией $G_0(c)$.

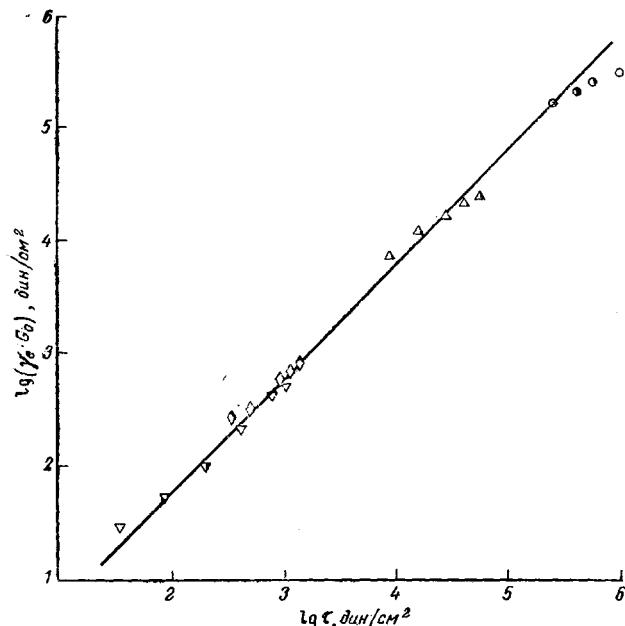


Рис. 6. Обобщенная зависимость высокоэластических деформаций, нормированных по наименьшему модулю высокоэластичности, от касательных напряжений. Обозначения те же, что и на рис. 3

Для исследованной системы наименьший модуль высокоэластичности монотонно убывает с возрастанием содержания низкомолекулярного растворителя, поэтому при одном и том же уровне действующих напряжений высокоэластические деформации больше в разбавленном растворе по сравнению с более концентрированным. Однако, если за условие сравнения эластичности растворов различной концентрации принимать не $\tau = \text{const}$, а $\gamma = \text{const}$, то большие высокоэластические деформации при одной и той же скорости сдвига наблюдаются у более концентрированных растворов. Это определяется более резкой зависимостью вязкости от концентрации по сравнению с модулем эластичности. Поэтому результаты сравнения блочных полимеров и их растворов по эластичности могут оказаться прямо противоположными в зависимости от того, какое принимается условие сопоставления этих систем.

Эластичность растворов полимеров можно также сравнивать по величине нормальных напряжений, развивающихся при одних и тех же касательных напряжениях, если при этом учесть относительное содержание полимера в системе, т. е. ввести нормировку по концентрации. Теоретическая формула, являющаяся основной для такого сопоставления, была получена

Петерлином [14] и детально рассмотрена в работе [15]. Эта формула имеет вид:

$$\frac{\sigma}{2} \frac{M_w}{cRT} = a \left(\frac{M_z M_{z+1}}{M_w^2} \right) \left(\tau \frac{M_w}{cRT} \right)^2, \quad (4)$$

где c — концентрация раствора (в $\text{г}/100 \text{ см}^3$ растворителя), M_w , M_z и M_{z+1} — различные степени усреднения молекулярновесового распределения, начиная со средневесового и выше. Величина константы a представляет собой численную оценку эластичности раствора, поскольку показывает, какие нормальные напряжения при прочих равных условиях развиваются в растворах различной концентрации. Согласно теоретической модели для разбавленных растворов и экспериментальным данным, полученным для растворов и расплавов монодисперсных полимеров $a = 0,4$ [15], а для наиболее эластичных растворов величина a может достигать 6 [15], т. е. при одних и тех же касательных напряжениях для наиболее эластичных систем нормальные напряжения в 15 раз превышают минимальные теоретически ожидаемые значения, достигая максимума для концентрированных растворов по сравнению с расплавом и более разбавленными растворами.

Согласно теории, формула (4) применима для линейной области механического поведения полимерных систем, однако для исследованного в настоящей работе случая зависимость $\sigma \sim \tau^2$ продолжает выполняться и в нелинейной области [1].

Экспериментальные данные, полученные в работе [1], были пересчитаны согласно формуле (4) и представлены на рис. 7 в координатах $(\sigma / 2)(M_w / cRT) - \tau(M_w / cRT)$. При этом принимали, что $M_w = 10^5$, а различиями в плотностях полимера и растворителя пренебрегали. Усредненные полученные результаты, можно полагать, что они располагаются двумя группами — одна для концентраций растворов с содержанием полимера 0,85 и 1,0 и другая для растворов с $c = 0,9-0,51$. Полученные экспериментальные данные описываются формулой:

$$\frac{\sigma}{2} \left(\frac{M_w}{cRT} \right) = K \left(\tau \frac{M_w}{cRT} \right)^2, \quad (5)$$

где коэффициент K согласно формуле (4) выражается как $K = a(M_z \cdot M_{z+1} / M_w^2)$. Молекулярновесовое распределение исследованного образца не определялось, однако для полимера без растворителя было получено значение $a = 0,4$ (пунктирная линия на рис. 7), т. е. минимальное теоретически возможное значение a . Это указывает на то, что комплекс $M_z \cdot M_{z+1} / M_w^2$ близок к единице и, следовательно, изученный образец отличается узким молекулярновесовым распределением. Интересно заметить, что экспериментальные данные, полученные для очень концентрированных растворов, отвечают результатам теоретического расчета. Остальные экспериментальные данные «в среднем» описываются зависимостью (5) с $K = 4$.

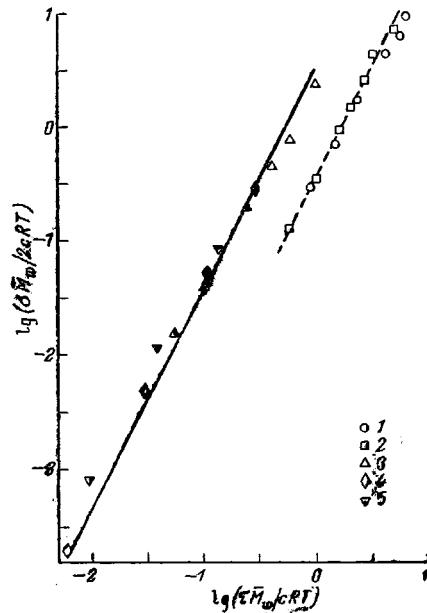


Рис. 7. Соотношение между нормальными и касательными напряжениями, построенное с учетом содержания полимера в системе

Содержание полимера, объемные доли:
1 — 1; 2 — 0,81; 3 — 0,51; 4 — 0,20 и 5 — 0,09

(сплошная линия). Другими словами, при тех же касательных напряжениях нормальные напряжения, возникающие при течении относительно разбавленных ($c = 0,9 - 0,51$) растворов бутилкаучука в гексадекане, оказываются приблизительно на десятичный порядок выше, чем нормальные напряжения, возникающие при течении самого полимера или пластифицированного образца. Этот вывод справедлив, конечно, только в рамках применимости формулы (4) и того, как при построении рис. 7 учитывалась концентрация растворов. Таким образом, с точки зрения оценки эластичности растворов по нормальным напряжениям, возникающим при их сдвиговом течении, оказывается, что растворы средней концентрации более упруги, чем очень концентрированные, но в пределах концентрации 9—51% их эластичность одинакова. Очевидно, что вывод о независимости эластичности растворов с $c = 0,9 - 0,51$ от концентрации, сделанный на основе измерений нормальных напряжений, не согласуется с выводами, сделанными на основе измерений высокоэластических деформаций. Это еще раз показывает зависимость такого рода оценок от принятого способа сопоставления эластичности растворов.

Выводы

1. Изучено влияние низкомолекулярного растворителя, изменяющего вязкость раствора в 10^8 раз, на высокоэластичность бутилкаучука. Показано, что высокоэластические деформации, которые реально развиваются в исследованной системе, составляют величины одного и того же порядка. Максимальные высокоэластические деформации в растворах бутилкаучука не превосходят нескольких сотен процентов.

2. Изучен характер развития высокоэластических деформаций при постоянной скорости полной деформации. Показано, что при сдвиге происходит повышение вязкости по сравнению с начальной ньютоновской, а затем вязкость убывает до значения, соответствующего режиму установившегося течения.

3. Для исследованных растворов бутилкаучука ни при каких концентрациях и скоростях сдвига не оправдываются теоретические формулы, связывающие компоненты тензора напряжений с высокоэластическими деформациями. Однако в предельном случае в линейной области выполняется формула Лоджа.

4. Концентрационная зависимость модуля высокоэластичности при содержании полимера от 0,2 до 1,0 описывается степенным законом с показателем порядка 3.

5. Изменение высокоэластичности растворов при варьировании концентрации зависит от принятого способа сравнения систем: при одном и том же напряжении сдвига оказываются более эластичными разбавленные растворы, при одной и той же скорости сдвига — более концентрированные, а если сравнивать эластичность по нормальным напряжениям, то при содержании полимера от 0,9 до 0,51 эластичность не зависит от содержания полимера в растворе.

Институт нефтехимического синтеза
им. А. В. Топчиева
АН СССР

Поступила в редакцию
29 VIII 1968

ЛИТЕРАТУРА

- Г. В. Виноградов, А. Я. Малкин, В. Ф. Шумский, Высокомолек. соед., A10, 2672, 1968; A11, 663, 1969.
- А. Лодж, Эластичные жидкости, изд-во «Наука», 1969.
- J. J. Beelby, E. R. Howell, Polymer, 2, 429, 1961.
- А. С. Морозов, Диссертация, 1967.
- J. G. Brodnyan, F. H. Gaskins, W. Philippoff, Trans Soc. Rheol., 1, 109, 1957.
- J. G. Brodnyan, F. H. Gaskins, W. Philippoff, E. G. Lendrat, Trans. Soc. Rheol., 2, 285, 1958.
- F. D. Dexter, J. C. Miller, W. Philippoff, Trans. Soc. Rheol., 5, 193, 1961.

8. Г. В. Виноградов, А. Я. Малкин, М. П. Забугина, В. Ф. Шумский, Высокомолек. соед., А11, 1221, 1969.
 9. S. K. Khanna, W. F. O. Pollett, J. Appl. Polymer Sci., 9, 1767, 1965.
 10. Г. В. Виноградов, А. Я. Малкин, О. С. Хватова; А. С. Морозов, Высокомолек. соед., Б10, 825, 1968.
 11. А. Я. Малкин, Rheol. Acta, 7, 335, 1968.
 12. E. J. Padden, T. W. DeWitt, J. Appl. Phys., 25, 1086, 1954.
 13. J. D. Ferry, J. Amer. Chem. Soc., 64, 1330, 1942.
 14. A. Peterlin, J. Chem. Phys., 39, 224, 1963.
 15. J. L. S. Wales, H. Janeschitz-Kriegl, Rheol. Acta, 7, 19, 1968.
-

HIGH ELASTIC DEFORMATIONS IN POLYMER SOLUTIONS (EXAMPLIFIED BY BUTYL RUBBER)

*G. V. Vinogradov, A. Ya. Malkin, V. F. Shumskii,
M. P. Zabugina,*

Summary

Effect of low molecular solvent changing viscosity by 10^8 times on elasticity of butyl rubber has been studied. Elastic deformations in the systems studied are of the same order of magnitude. Maximum deformations in butyl rubber solutions do not exceed several units. Development of high elastic deformations at constant shear rate of total deformation has been studied. Shear is accompanied by increase of viscosity, then viscosity decreases to the value of stationary flow. Theoretical equations relating components of stress tensor with high elastic deformation are not valid for all concentrations and shear rates, in limiting case of linear region Lodge's formula is fulfilled. Concentration dependence of elasticity at concentrations from 20 to 100% is described with exponential law with power about 3.0. Variation of elasticity of the solutions depends on the way of comparison of the systems. At fixed shear stress diluted solutions are more elastic, at fixed shear rate the more concentrated ones and if to compare elasticity by means of normal stresses, it does not change with concentration from 9 to 51%.