

## ДЕФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРОВ

*Е. Е. Глухов, А. А. Горина, А. В. Шелион*

Развитие деформаций во времени в застеклованных полимерах (пользучесть) при воздействии постоянного напряжения, если оно значительно меньше разрушающего для данной длительности опыта, хорошо описывается уравнением [1, 2]

$$\varepsilon = \varepsilon_e \cdot \ln \frac{\tau + \tau_0}{\tau_0}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  и  $\tau$  — деформация и время, соответственно;  $\varepsilon_e$  и  $\tau_0$  — постоянные величины.

Экспериментально установлено, что коэффициент  $\varepsilon_e$  связан с напряжением  $\sigma$  следующим соотношением [1]:

$$\sigma = \sigma_e \cdot \ln \frac{\varepsilon_e + \varepsilon_0}{\varepsilon_0}, \quad (2)$$

где  $\sigma_e$  и  $\varepsilon_0$  — постоянные величины.

Ввиду того, что  $\tau_0$  мало по сравнению с длительностью опыта, а  $\varepsilon_0$  мало по сравнению с опытными значениями  $\varepsilon_e$ , можно без ощутимой погрешности применять уравнения (1) и (2) в виде

$$\varepsilon = \varepsilon_e \ln \frac{\tau}{\tau_0} \quad (3)$$

и

$$\sigma = \sigma_e \ln \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon_0}. \quad (4)$$

**Значение постоянных  $\varepsilon_e$  и  $\tau_0$ .** Прирост деформации  $\Delta\varepsilon$  при увеличении времени действия нагрузки в  $n$  раз, согласно уравнению (3), равен

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_e \ln n. \quad (5)$$

В полученное выражение для  $\Delta\varepsilon$  не входит величина  $\tau_0$ . Это значит, что прирост деформации не зависит от постоянной  $\tau_0$ , а определяется только коэффициентом  $\varepsilon_e$ . Из выражения (5) следует, что при  $n = e$  прирост деформации  $\Delta\varepsilon$  равен коэффициенту  $\varepsilon_e$ . Отсюда можно определить коэффициент  $\varepsilon_e$  как прирост деформации при увеличении времени действия нагрузки в  $e$  раз. Полная деформация, развивающаяся в материале с момента приложения нагрузки, зависит и от значения постоянной  $\tau_0$ . Если за единицу времени принять  $\tau_1$ , то полная деформация может быть представлена в виде двух слагаемых

$$\varepsilon = \varepsilon_e \cdot \ln \frac{n \cdot \tau_1}{\tau_0} = \varepsilon_e \ln \frac{\tau_1}{\tau_0} + \varepsilon_e \cdot \ln n. \quad (6)$$

Первое слагаемое представляет собой деформацию за принятую единицу времени  $\tau_1$ , и может легко определяться опытным путем без нахождения  $\tau_0$ . Второе слагаемое является переменной величиной и легко вычисляется по величине  $\varepsilon_e$ .

Таким образом, для вычисления деформации при постоянном напряжении практически требуется знать только одну величину  $\varepsilon_e$ , соответствующую заданному напряжению и заданной температуре. Этот вывод интересен тем, что дает основание в дальнейших количественных исследованиях ограничиться установлением функции  $\varepsilon_e = f(\sigma, T)$ , а зависимость величины  $\tau_0$  от напряжения и температуры исследовать только с качественной стороны.

С изменением напряжения и температуры коэффициент  $\varepsilon_e$  сильно изменяется и может принимать как сколь угодно малые значения, так и очень большие значения. Для любого тела могут быть созданы такие условия, характеризуемые величинами  $\sigma$  и  $T$ , при которых  $\varepsilon_e$  будет иметь заданное значение.

Это значит, что для оценки деформационных свойств должна применяться совокупность величин  $\varepsilon_e$ ,  $\sigma$  и  $T$ .

Значение  $\varepsilon_e$  может быть вычислено по двум опытным точкам  $(\tau_I; \varepsilon_I)$  и  $(\tau_{II}; \varepsilon_{II})$ ; формула для вычисления  $\varepsilon_e$  выводится путем подстановки значений  $(\tau_I; \varepsilon_I)$  и  $(\tau_{II}; \varepsilon_{II})$  в уравнение (3) и совместного решения полученных уравнений с двумя неизвестными  $\varepsilon_e$  и  $\tau_0$ , относительно  $\varepsilon_e$ .

Решение дает

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_{II} - \varepsilon_I}{\ln(\tau_{II}/\tau_I)}. \quad (7)$$

Постоянная  $\tau_0$  имеет размерность времени. Подставляя в уравнение (1) значение  $\tau = \tau_0$ , получим

$$\varepsilon \approx 0,69 \varepsilon_e.$$

Согласно вычисленному значению деформации, при  $\tau = \tau_0$ , постоянная  $\tau_0$  определяется как время с момента приложения нагрузки, за которое развивается деформация на величину, равную  $0,69 \varepsilon_e$ . Следовательно, постоянная  $\tau_0$  определяется с помощью коэффициента  $\varepsilon_e$ , тогда как последний может быть определен независимо от величины  $\tau_0$ . Решая уравнение (3) относительно  $\ln \tau_0$ , получим

$$\ln \tau_0 = \ln \tau - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_e}. \quad (8)$$

Найденная формула применима для вычисления  $\ln \tau_0$ , если  $\tau$  давать значения, значительно превышающие  $\tau_0$ . При  $\tau$ , близких к  $\tau_0$ , необходимо пользоваться уравнением (1). Практически можно пользоваться только формулой (8), так как на кривой «деформация — время» все точки вблизи  $\tau_0$  размещаются на начальном участке кривой, который идет круто вверх, и определение величины  $\varepsilon$  затруднено.

На начальном участке кривой ползучести деформирование протекает очень быстро, с плавным переходом от вертикального участка кривой к наклонному. Нами установлено, что понятие модуля упругости практически невозможно применить в случаях, когда коэффициент  $\varepsilon_e$  имеет значение в пределах от  $5 \cdot 10^{-3}$  до  $5 \cdot 10^{-2}$ . В этих случаях не удается фиксировать момент окончания развития упругой деформации, поэтому отсчитываемые на кривых условно-мгновенные деформации не связаны линейной зависимостью с напряжением, а вычисляемый модуль упругости различен при различных напряжениях, что противоречит закону Гука (табл. 1).

Таблица 1  
Изменение модуля сдвига фторопласта-4 и полиэтилена в зависимости от напряжения

Напряжение $\sigma, \text{кГ/см}^2$	Модуль сдвига, $\text{кГ/см}^2$	
	Фторопласт-4	Полиэтилен
12,5	—	790
25	7680	600
37,5	—	380
43,8	—	350
50	3580	240
56,3	1640	—
62,5	1350	—

Величина  $\tau_0$ , связанная с быстро развивающимися деформациями, дает объективное суждение о них, поскольку она вычисляется по точкам, удаленным от начального участка кривой ползучести, где координаты точек кривой берутся с достаточной точностью.

На рис. 1 изображены кривые ползучести, различные по высоте, но с равными коэффициентами  $\varepsilon_e$  (т. е.  $\varepsilon_{e1} = \varepsilon_{e2}$ ). По точкам  $(\tau_I, \varepsilon_{I1})$ ,  $(\tau_I, \varepsilon_{I2})$ ,  $(\tau_{II}, \varepsilon_{II1})$  и  $(\tau_{II}, \varepsilon_{II2})$  найдем:

$$\text{для кривой } 1 \quad \ln \tau_{01} = \ln \tau_{II} - \frac{\varepsilon_{II1}}{\varepsilon_{e1}};$$

$$\text{для кривой } 2 \quad \ln \tau_{02} = \ln \tau_{II} - \frac{\varepsilon_{II2}}{\varepsilon_{e2}}.$$

Очевидно,  $\ln \tau_{01}$  больше  $\ln \tau_{02}$ , поскольку  $\varepsilon_{II2} > \varepsilon_{II1}$  и  $\varepsilon_{e2} = \varepsilon_{e1}$ , а это значит, что значение  $\ln \tau_0$  (или  $\tau_0$ ) характеризует величину начальных деформаций, так как кривая 2 идет выше кривой 1 только за счет различия начальных деформаций.

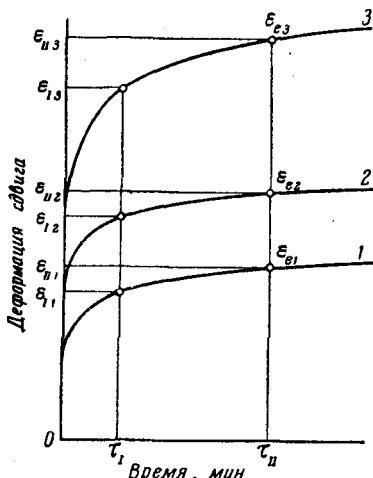


Рис. 1. Кривые «деформация — время» при различных соотношениях начальной деформации (быстро развивающейся) и медленно развивающейся деформации

1 — начальная деформация минимальная, 2 — начальная деформация большая, чем у кривой 1 при равных значениях  $\varepsilon_e$  ( $\varepsilon_{e2} = \varepsilon_{e1}$ ), 3 — увеличенное значение коэффициента  $\varepsilon_e$  ( $\varepsilon_{e3} = 2\varepsilon_{e2}$ )

Рассмотрим кривые 2 и 3, которые построены так, что  $2\varepsilon_{e2} \approx \varepsilon_{e3}$ , а  $\varepsilon_{II3} \approx 1,5\varepsilon_{II2}$ . С помощью формулы 8 получим

$$\ln \tau_{03} - \ln \tau_{02} = \frac{\varepsilon_{II2}}{\varepsilon_{e2}} \left( 1 - \frac{1,5}{2} \right)$$

или

$$\ln \tau_{03} - \ln \tau_{02} > 0; \quad \ln \tau_{03} > \ln \tau_{02}.$$

В данном случае кривая 3 проходит выше кривой 2, но  $\ln \tau_{03} > \ln \tau_{02}$  за счет того, что коэффициент  $\varepsilon_e$  для кривой 3 больше, чем для кривой 2 в два раза, тогда как деформации по кривой 3 превышают деформации по кривой 2 только в полтора раза. Следовательно, величина  $\ln \tau_0$  (или  $\tau_0$ ) зависит не от абсолютного значения начальной деформации, а от соотношения между начальными и замедленными деформациями. На кривой 3 начальная деформация больше, чем на кривой 2, но замедленные деформации растут значительно быстрее. Вычисление величины  $\ln \tau_0$  дает  $\ln \tau_{02} < \ln \tau_{03}$ , т. е. соотношение между начальными и замедленными деформациями больше для кривой 2. Легко убедиться, что графически величина  $\ln \tau_0$  характеризует резкость изгиба кривой. Чем больше  $\ln \tau_0$ , тем плавнее переход от начальных деформаций к замедленным. Наименьшее значение  $\ln \tau_0$  будет для очень твердых тел, когда  $\varepsilon_e \rightarrow 0$ , а кривая стремится к своей предельной форме, т. е. к горизон-

тальной прямой с резким прямоугольным переходом к ней от упругих деформаций.

Изложенное выше дает возможность по величине  $\tau_0$  (или  $\ln \tau_0$ ) судить о характере сил взаимодействия между элементарными частицами вещества. Если  $\tau_0$  велико, то начальные деформации малы по сравнению с замедленными. Материал является жестким при кратковременных воздействиях нагрузок. Между частицами вещества имеет место взаимодействие, препятствующее быстрому взаимному смещению их. Требуется длительное воздействие нагрузок, чтобы частицы могли переместиться вследствие флуктуаций теплового движения. Повышенное значение  $\tau_0$  соответствует повышенному значению модуля упругости. Если  $\tau_0$  мало, то начальные деформации велики по сравнению с замедленными. Материал мягок при кратковременных воздействиях нагрузок, что соответствует малому значению модуля упругости.

Из опытов следует, что величина  $\tau_0$  может как возрастать, так и уменьшаться с увеличением напряжения. Если с увеличением напряжения  $\tau_0$  возрастает, то это свидетельствует о возрастании взаимодействия между молекулами. В случае уменьшения  $\tau_0$  при увеличении напряжения имеет место обратное.

**Значения постоянных  $\sigma_e$  и  $\epsilon_0$ .** Вычислим прирост напряжения  $\Delta\sigma$ , необходимый для увеличения коэффициента  $\epsilon_e$  в  $n$  раз при помощи формулы (4)

$$\Delta\sigma = \sigma_e \ln \frac{n \cdot \epsilon_e}{\epsilon_0} - \sigma_e \ln \frac{\epsilon_e}{\epsilon_0} = \sigma_e \ln n. \quad (9)$$

В полученное выражение для  $\Delta\sigma$  не входит величина  $\epsilon_0$ . Это значит, что прирост напряжения, необходимый для создания заданного увеличения коэффициента  $\epsilon_e$ , не зависит от величины  $\epsilon_0$ . Таким образом, жесткость полимера определяется только коэффициентом  $\sigma_e$  и не зависит от  $\epsilon_0$ . Если  $n = e$ , то  $\Delta\sigma = \sigma_e$ , т. е. коэффициент  $\sigma_e$  можно определить как прирост напряжения, вызывающий увеличение коэффициента  $\epsilon_e$  в  $e$  раз.

С повышением температуры коэффициент  $\sigma_e$  уменьшается, с понижением — возрастает. Изменяя температуру  $T$ , можно для любого полимера получить заданное значение  $\sigma_e$ , поэтому деформационные свойства могут характеризоваться совокупностью двух величин —  $\sigma_e$  и  $T$ . Если одну из величин задать, то вторая величина будет различной для разных полимеров и послужит соответствующей характеристикой. Можно условиться, например, оценивать теплостойкость полимеров путем определения температуры, при которой коэффициент  $\sigma_e$  имеет заданное значение. Такая температура будет различной для разных материалов. Величина обусловленного значения  $\sigma_e$  определится целевым назначением такой оценки. Для конструкторов это может служить оценкой применимости полимера для изготовления из него деталей, устойчивых к воздействиям нагрузок. Такое определение теплостойкости не связано с изменениями структуры полимера, которые обычно связывают с понятием температуры стеклования. Постоянные  $\sigma_e$  и  $\epsilon_0$  вычисляются по результатам испытания при двух различных напряжениях  $\sigma_I$  и  $\sigma_{II}$ . По опытным кривым «деформация — время» вычисляют коэффициенты  $\epsilon_{eI}$  и  $\epsilon_{eII}$ , соответствующие напряжениям  $\sigma_I$  и  $\sigma_{II}$  при помощи формулы (7). Подставляя найденные значения  $\epsilon_e$  в уравнение (4) и решая полученные два уравнения относительно  $\sigma_e$ , получим:

$$\sigma_e = \frac{\sigma_{II} - \sigma_I}{\ln(\epsilon_{eII}/\epsilon_{eI})}. \quad (10)$$

Поскольку опытные значения  $\epsilon_e$  значительно превышают величину

$\varepsilon_0$ , последняя вычисляется, согласно уравнению (4), по формуле

$$\ln \varepsilon_0 = \ln \varepsilon_e - \frac{\sigma}{\sigma_e}. \quad (11)$$

Для выяснения смысла  $\varepsilon_0$  воспользуемся приведенными выше рассуждениями относительно  $\tau_0$ . Основанием для этого является полное сходство функций  $\sigma = f(\tau)$  и  $\sigma = f(\varepsilon_e)$ . Кривые  $\sigma = f(\varepsilon_e)$  будут совершенно одинаковы с кривыми  $\sigma = f(\tau)$ , если подобрать соответствующие масштабы (рис. 1). Крутой подъем начала кривой указывает на слабую зависимость коэффициента  $\varepsilon_e$  от напряжения, что соответствует общеизвестному факту, вследствие которого вводится понятие о пределе текучести, аналогичное понятию условно-мгновенной деформации. Если в уравнении (1) величина  $\tau_0$  равна времени, за которое развивается деформация на величину  $0,69 \varepsilon_e$ , то в уравнении (2) величина  $\varepsilon_0$  численно равна тому значению коэффициента  $\varepsilon_e$ , которое имеет место при напряжении  $\sigma = 0,69 \sigma_e$ . Подобно  $\tau_0$ , величина  $\varepsilon_0$  характеризует резкость изгиба кривой  $\sigma = f(\varepsilon_e)$  при переходе от малых напряжений (близких к  $0,69 \sigma_e$ ) к большим напряжениям. Чем меньше  $\varepsilon_0$ , тем резче проявляется предел текучести и, наоборот, при больших значениях  $\varepsilon_0$  предел текучести становится расплывчатым.

С точки зрения взаимодействия элементарных частиц малое значение  $\varepsilon_0$  означает наличие равномерного распределения связей между ними, т. е. каждая элементарная частица удерживается в своем положении одним и тем же числом равноценных связей; поэтому при малых напряжениях они надежно удерживаются в своем положении. Как только напряжение превзойдет определенное значение (предел текучести), наступает одновременное перемещение всех частиц в другое положение, поскольку они находятся в одинаковых условиях. Это значит, что по достижении предела текучести наступает быстрое развитие деформаций при малом возрастании напряжения. Такое состояние вероятнее всего ожидать при наибольшей плотности упаковки частиц, когда между ними мало пустот, нарушающих равномерность распределения связей, так как у частиц, расположенных по периферии пустоты, отсутствуют связи с одной стороны и они будут удерживаться слабее других частиц. Равномерность упаковки может обеспечиваться введением между длинными цепями малых молекул, обладающих меньшими силами взаимодействия; поэтому большая равномерность упаковки не всегда приводит к большей жесткости полимера. Введение пластификатора, например, повышает равномерность упаковки, но снижает жесткость полимера, облегчая перемещение отдельных участков молекул, приводящее к развертыванию длинных цепей.

Таким образом, коэффициент  $\varepsilon_0$  дает возможность судить о пределе текучести полимера с точки зрения резкости его проявления, что связано с равномерностью упаковки молекул.

### Экспериментальные данные

Экспериментальные исследования проводились на разработанном нами приборе — сдвигомере [1], позволяющем записывать кривые «деформация — время» при постоянных напряжениях и температуре в условиях чистого сдвига. По опытным кривым, полученным для двух различных напряжений, вычислялись значения  $\varepsilon_e$ ,  $\ln \tau_0$ ,  $\sigma_e$  и  $\varepsilon_0$ . Кроме того, для наглядности сопоставления опытных данных вычислены следующие условные величины: 1) предел текучести  $\sigma_m$  по уравнению (2) при  $\varepsilon_e = 0,1 \cdot 10^{-3}$ ; 2) приведенное значение величины  $\ln \tau_0$  по формуле:

$$\ln \tau_0' = \ln \tau_{0I} - \frac{(\ln \tau_{0II} - \ln \tau_{0I})(\sigma_I - \sigma_e)}{\sigma_{II} - \sigma_I}, \quad (12)$$

где индекс  $I$  указывает меньшее напряжение а  $II$  — большее; 3) из-

менение величины  $\ln \tau_0$  с напряжением, приведенное к величине  $\sigma_e$ , по формуле

$$\Delta \ln \tau_0 = \frac{(\ln \tau_{0II} - \ln \tau_{0I}) \cdot \sigma_e}{\sigma_{II} - \sigma_I}. \quad (13)$$

Таким образом, деформационные свойства исследованных нами полимеров оценивались указанными выше величинами.

В табл. 2 приведены результаты испытаний некоторых полимеров при различных температурах.

Таблица 2

## Влияние температуры на деформационные свойства некоторых полимеров

Испытываемый материал	Температура испытания, °С	$\sigma_e, \text{kG/cm}^2$	$\varepsilon_0 \cdot 10^3$	$\sigma_m, \text{kG/cm}^2$	$\ln \tau_0^1$	$\Delta \ln \tau_0^1$
Фторопласт-4	23	31,5	2,35	1,25	1,9	-0,7
	125	10,0	0,86	1,10	-10,4	1,6
	160	6,5	0,40	1,45	-14,5	1,2
	200	5,4	0,37	1,30	-22,8	5,3
Фенопласт К-18-2	136	34,7	0,74	4,3	-4,9	4,5
	166	15,5	1,13	1,3	1,7	-0,3
Поливинилхлорид	75	29,7	0,64	4,4	-3,5	2,5
То же с пластификатором	19	11,7	0,05	13	-71	28

<sup>1</sup>  $\tau_0$  в секундах.

На рис. 2 данные таблицы для фторопласта-4 изображены в координатах  $1/T$ ,  $\ln \sigma_e$ . Опытные точки располагаются вблизи прямой, что дает основание написать следующее уравнение

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} \ln \frac{\sigma_e}{\sigma_0}, \quad (14)$$

где  $T_0$  и  $\sigma_0$  — постоянные величины с размерностью температуры и напряжения. Эти величины не зависят от условий опыта, они являются константами, характеризующими природу полимера. Зная эти величины, а также  $\tau_0$  и  $\varepsilon_0$ , можно подсчитать величину деформаций за любое время при любых напряжениях и температурах.

В табл. 3 представлены результаты испытаний различных партий фторопласта-4, образцы которых подвергались различным режимам охлаждения после их выпечки.

По данным табл. 3 видно, что при различных режимах охлаждения сильно меняются величины  $\varepsilon_0$  и  $\tau_0$  и, практически, не меняется величина  $\sigma_e$ . Известно, что различные условия охлаждения приводят к различной степени кристаллизации фторопласта-4, т. е. медленное охлаждение способствует кристаллизации [3, 4].

Таким образом, данные табл. 3 дают возможность судить о взаимосвязи процесса кристаллизации с величинами  $\varepsilon_0$  и  $\tau_0$ .

Результаты испытаний различных партий полиэтилена и полипропилена при комнатной температуре сведены в табл. 4.

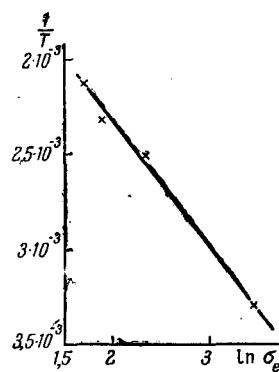


Рис. 2. Температурная зависимость коэффициента  $\sigma_e$  для фторопласта-4

Таблица 3

## Влияние режима охлаждения на деформационные свойства фторопласта-4

№ партии	Режим охлаждения	$\sigma_e, \text{кГ/см}^2$	$\varepsilon_e \cdot 10^3$	$\sigma_m, \text{кГ/см}^2$	$\ln \tau_0'$	$\Delta \ln \tau_0'$
1337 <sup>a</sup>	с печью	14,6	0,40	3,20	-2,81	1,05
	в воде	14,4	1,18	1,15	-0,30	-0,71
827	с печью	15,1	0,31	4,30	-4,40	1,83
	в воде	15,3	1,00	1,40	-4,10	0,65
1826	с печью	15,6	0,47	3,00	-2,46	0,95
	в воде	14,7	1,07	1,40	-0,45	-0,09

Таблица 4

## Деформационные свойства полиэтилена и полипропилена

Испытываемый материал	$\sigma_e, \text{кГ/см}^2$	$\varepsilon_e \cdot 10^3$	$\sigma_m, \text{кГ/см}^2$	$\ln \tau_0'$	$\Delta \ln \tau_0'$
<b>Полиэтилен, полученный при высоком давлении</b>					
Марка ПЭ-150, партия 86/58	16,8	1,37	1,1	-4,4	1,16
То же, партия 67/58, стабилизированный	13,7	0,37	3,3	-5,9	1,57
Марка ПЭ-500, партия 173/58	14,8	1,16	1,2	-2,5	0,87
То же, партия 176/58, стабилизированный	11,4	0,85	1,3	-8,2	2,22
Английский, завода ЭМА	9,9	0,45	2,0	-15,4	3,64
<b>Полиэтилен, полученный при низком давлении</b>					
Партия 151	21,5	0,91	2,2	-3,6	2,02
» » 107	26,6	1,35	1,9	-3,1	2,12
» » 128 О. Х. К.	26	2,04	1,3	-1,6	-0,90
<b>Полипропилен</b>					
Партия 13/120	28	0,79	2,4	-4,4	1,77
» » 9/120	38,4	1,83	1,9	-1,6	0,73

Рассматривая табл. 4, можно заметить существенные различия в значениях  $\sigma_e$  для разных полимеров, согласующиеся с их теплостойкостью. Для полиэтилена высокого давления, обладающего наименьшей теплостойкостью, величина  $\sigma_e$  имеет наименьшее значение, а для полипропилена, обладающего наибольшей теплостойкостью, величина  $\sigma_e$  имеет наибольшее значение. Остальные приведенные в таблице величины, зависящие от значений  $\varepsilon_0$  и  $\tau_0$ , не дают возможности отличить эти полимеры друг от друга.

Представляют также интерес результаты испытаний различных партий фторопласта-40, отличающихся друг от друга в процессе переработки их в изделия. В табл. 5 эти результаты расположены так, что каждая вышестоящая партия перерабатывается лучше нижестоящей партии.

Величина  $\varepsilon_0$ , связанная с равномерностью упаковки частиц полимера, оценивает поведение его при изготовлении изделий. Если  $\varepsilon_0$  мало, то имеет место большая равномерность упаковки частиц и поэтому полимер легче формовать в изделия, т. е. он легко деформируется, принимая нужную форму без образования дефектов.

Таблица 5

## Деформационные свойства различных партий фторопласта-40

№ партии фторопла- ста-40	$\sigma_e, \text{кГ/см}^2$	$\varepsilon_0 \cdot 10^3$	$\sigma_m, \text{кГ/см}^2$	$\ln \tau_0'$	$\Delta \ln \tau_0'$
26	11	0,005	33	-34	4,3
45	15,9	0,05	17,5	-33	6,7
46	16,6	0,09	12,5	-19,4	4
44	19,5	0,14	10,5	-17	4,3
43	18,5	0,14	10	-24,8	6
38	20,5	0,21	7,7	-18,5	4,8

## Выводы

1. Путем теоретического анализа уравнения начальной ветви кривой ползучести и уравнения, описывающего зависимость ползучести от напряжения, показана связь постоянных этих уравнений со структурой полимера.
2. На основании экспериментальных данных установлено уравнение, описывающее зависимость ползучести от температуры для фторопласта-4. Две постоянные величины этого уравнения являются константами, не зависящими от условий опыта (напряжения и температуры).
3. Эксперименты подтвердили теоретические выводы и дают возможность использовать их для практических целей. Постоянные  $T_0$  и  $\sigma_0$  оценивают природу полимера, а  $\varepsilon_0$  и  $\tau_0$  — его структуру. Зная эти постоянные, можно рассчитать деформацию за данный промежуток времени при заданных напряжении и температуре, если процесс деформирования не сопровождается ощутимым разрушением.

Научно-исследовательский  
институт пластических масс

Поступила в редакцию  
16 VII 1959

## ЛИТЕРАТУРА

1. Е. Е. Глухов. Высокомолек. соед., 1, 819, 1959.
2. Rheology Theory and Applications, edited by Frederick R. Eirich, New York, 1, 231, 1958.
3. А. А. Горина, В. А. Каргин, Коллоидн., ж., 21, 276, 1959.
4. P. E. Thomas, J. E. Lontz, J. L. Pherson, C. A. Sperati, SPE Journal, 6, 89, 1956.

## DEFORMATION PROPERTIES OF POLYMERS

E. E. Glukhov, A. A. Gorina, A. V. Shelton

## Summary

A theoretical analysis has been presented of the constants contained in the equation describing the initial portion of the creep curve. A correlation has been established between these constants and the polymer structure. Experiments have been described, confirming the theoretical inferences. The latter have been shown to be of practical interest.