

зашеплениями (скользящими узлами) с учетом соотношений (2), (4) и

$$\int \varepsilon p_0 = \int \varepsilon p = 1.$$

В последнем случае интервал  $g_0$ , в котором должны наблюдаться экстремумы нагрузки, расширяется по крайней мере до  $g_0 \leq 0,20$ .

Интерпретация решением (6) обобщенных экспериментальных данных по различным видам деформирования типичных резин [3] дает разумные величины параметров эквивалентной простейшей сетки:  $g_0=0,19-0,25$ ,  $N=(2,5-3,7)10^{20}$  см<sup>-3</sup>, без привлечения аддитивной, собственной энтропии цепей как систем звеньев.

Этот результат выглядит естественным, если признать, что представление об аддитивности энтропии на уровне элементов статистической системы не становится корректным с переходом от атомов идеального газа к сегментам линейных макромолекул.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Присс Л. С. Теория высокомодульности. Состояние и тенденции ее дальнейшего развития. Пущино, 1981.
2. Трапезников А. А. // Высокомолек. соед. 1961. Т. 3. № 6. С. 841; Трапезников А. А., Пылаева А. Т. // Высокомолек. соед. А. 1975. Т. 17. № 9. С. 2043.
3. Черных К. Ф., Шубина И. М. // Актуальные проблемы нелинейной механики сплошных сред. Л., 1977. С. 14.

Ленинградское производственное  
объединение «Красный треугольник»

Поступила в редакцию:  
18.VIII.1987

УДК 541.64:539.3

## ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТИ НАПОЛНЕННЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ

Веттегрен В. И., Ковалев И. М., Лазарев С. О.

Для оценки прочностных свойств различных материалов широкое распространение получила эмпирическая закономерность, связывающая время до разрушения  $\tau$ , температуру  $T$  и величину разрывного напряжения  $\sigma$  [1]

$$\sigma = \frac{1}{\gamma} \left( U_0 - RT \ln \frac{\tau}{\tau_0} \right), \quad (1)$$

где  $\tau_0 = (10^{-12}-10^{-14})$  с;  $U_0$  — энергия активации разрушения;  $\gamma$  — активационный объем разрушения.

Исследования, проведенные на различных эластомерах [2-8], привели к выводу, что температурно-временная зависимость прочности наполненных эластомеров в широком диапазоне температур не подчиняется простой зависимости (1) с постоянными коэффициентами. Значительные отклонения от зависимости (1) наблюдаются в области развитых высокоэластических деформаций при  $T > T_c$ . Считается [4, 5, 7, 8], что эта зависимость удовлетворительно описывает прочностные свойства эластомеров при хрупком разрушении в стеклообразном состоянии ( $T < T_c$ ). Однако имеющиеся литературные данные по температурно-временной зависимости прочности в этой области температур противоречивы и недостаточно обоснованы [4].

В настоящей работе изложены результаты экспериментальной проверки зависимости (1) для различных наполненных смесей эластомеров в области температур  $T < T_c$ .

Исследовали две полярные резиновые смеси ИРП-3012 (на основе СКН-18 и СКН-26) и ИРП-2025 (СКН-18 и СКН-26), а также неполярную БК-100 (СКМС-30, АРКМ-15), применяемые для изготовления резинотехнических изделий. Экспериментальные данные получены при испытании на одноосное растяжение плоских образцов, имеющих форму двойной лопатки. Длина однородной части образца  $\sim 25$  мм, ширина на рабочем участке  $\sim 2$  мм, толщина  $\sim 0,5$  мм. Размеры каждого образца измеряли в трех местах рабочей части с помощью оптиметров ИЗВ-1 и ИЗА-2, за расчетное принимали среднее значение по каждому размеру. Опыты проводили на установке с приспособлением рычажного типа (описание дано в работе [1]), при помощи которого поддерживали постоянство напряжения в процессе

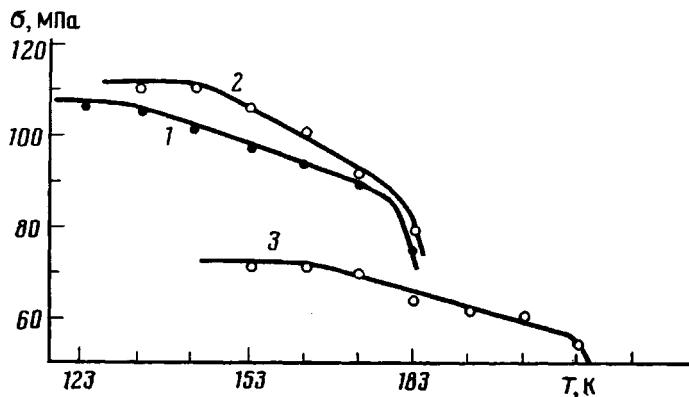


Рис. 1. Температурная зависимость прочности наполненных резиновых смесей ИРП-3012 (1), ИРП-2025 (2), БК-100 (3) при постоянном времени до разрушения  $\tau = 10-15$  с

испытания (значение  $\sigma$  рассчитывали на разрывное сечение, которое определяли в предположении, что объем тела не меняется). Для изучения зависимости прочности в низкотемпературном диапазоне образец помещали в теплоизолирующую камеру, связанную с сосудом Дьюара. Изменение температуры достигалось печью-подогревателем, помещенной в сосуд с азотом. Меняя ток через подогреватель, температуру в камере изменяли от комнатной до 100 К. Терmostатирование проводили с помощью двух термопар, установленных в разных точках камеры. Обработку опытных значений с учетом полученного статистического разброса по долговечности и получение коэффициентов  $\tau_0$ ,  $U_0$ ,  $\gamma$  проводили согласно [1].

На рис. 1 представлена температурная зависимость прочности исследуемых резиновых смесей в низкотемпературном диапазоне при постоянном времени до разрушения  $\tau = 10-15$  с. Видно, что зависимость  $\sigma(T)$  в общем случае нелинейна, существуют температурные интервалы, где экспериментальные точки укладываются на прямые, а также интервалы, где наблюдаются отклонения от линейности. В работах [4, 5, 9] показано, что температуры, при которых происходит изменение наклона зависимости  $\sigma(T)$ , совпадают с температурами  $\alpha$ ,  $\beta$ -релаксационных переходов. Поскольку между  $\alpha$  и  $\beta$ -релаксационными переходами связь  $\sigma - T$  линейна, можно предположить, что в этом температурном интервале будет выполняться температурно-временная зависимость прочности (1) с постоянными  $\tau_0$ ,  $U_0$ ,  $\gamma$ .

Исследовали временную зависимость прочности в температурных интервалах 130–180 К для ИРП-3012, 140–185 К для ИРП-2025 и 160–210 К для БК-100, для того чтобы убедиться в справедливости такого предположения. Полученные экспериментальные значения для ИРП-3012 при постоянной температуре уложились в координатах  $\lg \tau - \sigma$  на прямые линии (рис. 2, a). Видно, что прямые  $\lg \tau(\sigma)$  для различных температур (при понижении температуры наклон прямых увеличивался)

**Экспериментальные значения коэффициентов температурно-временной зависимости прочности**

Резиновая смесь	$U_0$ , кДж/моль	$\gamma \cdot 10^{-18}$ , мм <sup>3</sup>	$\tau_0$ , с
ИРП-3012	100±15	1,08±0,1	$10^{-12}-10^{-13}$
ИРП-2025	85±15	1,0±0,1	$10^{-13}-10^{-14}$
БК-100	100±15	1,37±0,1	$10^{-12}-10^{-13}$

сходятся в одну точку с координатой по оси ординат  $\lg \tau = -(12-13)$  с. Измерения долговечности при трех разных температурах позволяют определить температурную зависимость долговечности при фиксированных разрывных напряжениях. Перестроение экспериментальных данных в координатах  $\lg \tau$  от обратной температуры  $1/T$  показывает (рис. 2, б), что экспериментальные точки укладываются на прямые. При этом прямые, отвечающие различным значениям  $\sigma$ , образуют «веер» с полюсом

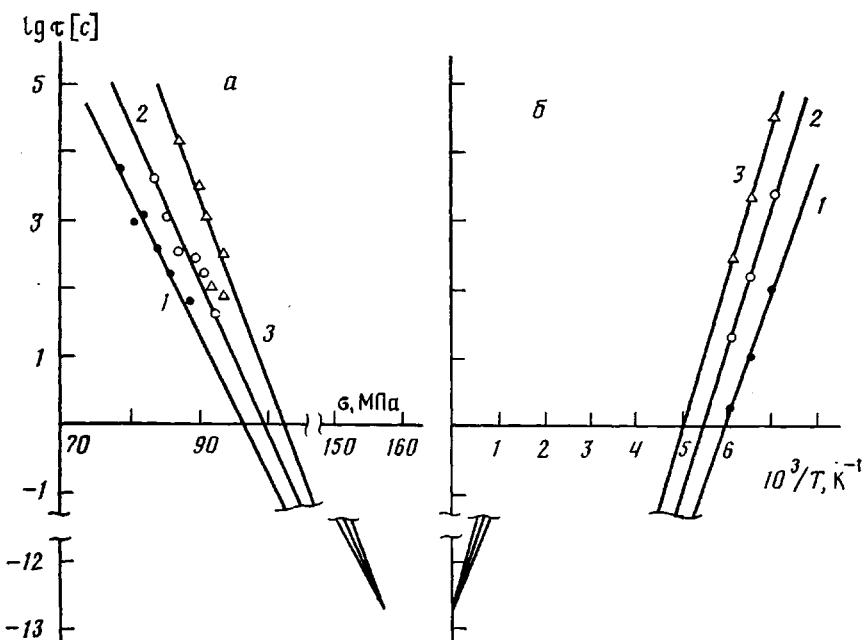


Рис. 2. Температурно-временная зависимость прочности резиновой смеси ИРП-3012: а –  $T=\text{const}$ ;  $T=163$  (1), 153 (2), 143 К (3); б –  $\sigma=\text{const}$ ;  $\sigma=95$  (1), 90 (2) и 85 МПа (3)

на оси ординат  $\lg \tau = -(12-13)$  с. Аналогичные результаты получили при исследовании температурно-временной зависимости прочности резиновых смесей ИРП-2025 и БК-100. Используя полученные зависимости  $\lg \tau(\sigma)$  и  $\lg \tau(1/T)$ , определили постоянные  $\tau_0$ ,  $U_0$ ,  $\gamma$  (таблица). Полученные значения  $U_0$  соответствуют диапазону величин энергии активации распада химических связей в полимерной цепи для эластомеров ( $U=100-140$  кДж/моль [4]), а значения  $\gamma$  совпадают с данными ( $\gamma=(1,0-1,1) \cdot 10^{-18}$  мм<sup>3</sup> [8]) для активационного объема разрушения эластомеров в низкотемпературном диапазоне. Анализ экспериментальных точек, их плотность группировки вдоль прямых при различных  $\tau$ ,  $\sigma$ ,  $T$ , положение полюсов, в которые сходятся «веера» прямых в координатах  $\lg \tau - \sigma$  и  $\lg \tau - 1/T$ , свидетельствуют о справедливости зависимости (1).

Ранее температурно-временная зависимость прочности бутадиен-нитрильных эластомеров в стеклообразном состоянии была получена Каир-

мовым, Сайдовым и др. [5, 8]. Таким образом, полученные данные позволяют утверждать, что между  $\alpha$ - и  $\beta$ -релаксационными переходами наполненных эластомеров выполняется зависимость (1) с постоянными коэффициентами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Регель В. Р., Слуцкер А. И., Томашевский Э. Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. М., 1974. 560 с.
2. Бартенев Г. М., Зуев Ю. С. Прочность и разрушение высокомолекулярных материалов. М., 1964. 387 с.
3. Нельсон К. В., Сайдов Д. // Высокомолек. соед. А. 1972. Т. 14. № 2. С. 268.
4. Бартенев Г. М. Прочность и механизм разрушения полимеров. М., 1984. 280 с.
5. Каримов С. Н., Нарзуллаев Б. Н., Бартенев Г. М., Сайдов Д., Султанов А. // Высокомолек. соед. Б. 1976. Т. 18. № 8. С. 639.
6. Гуль В. Е. Структура и прочность полимеров. М., 1978. 327 с.
7. Зуев Ю. С., Дегтева Т. Г. Стойкость эластомеров в эксплуатационных условиях. М., 1986. 264 с.
8. Сайдов Д., Султанов А. // Докл. АН ТаджССР. 1981. Т. 24. № 10. С. 603.
9. Степанов В. А., Песчанская Н. Н., Шнейzman В. В. Прочность и релаксационные явления в твердых телах. Л., 1984. 246 с.

Ленинградский политехнический  
институт им. М. И. Калинина

Поступила в редакцию  
31.VIII.1987

УДК 541.64:539.199

### НЕВОЗМУЩЕННЫЕ РАЗМЕРЫ ПОЛИПЕТИДНЫХ ЦЕПЕЙ В ОБЛАСТИ ПЕРЕХОДА СПИРАЛЬ – КЛУБОК. МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ РАССМОТРЕНИЕ

Асланян В. М., Мамасахлисов Е. Ш., Морозов В. Ф.

Ранее для описания перехода спираль – клубок в полипептидах была введена  $Q$ -компонентная спиновая модель, определенная на треугольной решетке [1–3]. Сформулируем кратко основные положения модели.

Поставим каждой паре углов внутреннего вращения вокруг связей, присоединенных к асимметрическому атому углерода ( $\varphi_i$ ,  $\psi_i$ ), в соответствие спиновую переменную  $\sigma_i$ , принимающую  $Q$  дискретных значений. В известном приближении можно принять, что все конформации равновероятны и только одна конформация приводит к образованию водородной связи. Реальная конформационная ситуация полипептидной цепи может быть сведена к модели с равными статистическими весами, если положить  $Q = \sum_k \frac{w_k}{w_1}$ , где  $w_k$  – статистический вес  $k$ -й конформации [1]. Таким образом, внутримолекулярная водородная связь образуется, если три подряд спиновые переменные принимают строго одно определенное значение, соответствующее конформации  $\alpha$ -спирали. Гамильтониан такой системы имел вид

$$H = -U \sum_i \delta_{\sigma_{i-2}1} \delta_{\sigma_{i-1}1} \delta_{\sigma_i1}, \quad (1)$$