

УДК 678.01:53

О ДОЛГОВЕЧНОСТИ И ПРОЧНОСТИ КАУЧУКОПОДОБНЫХ  
ПОЛИМЕРОВ

Ю. С. Зуев, Г. М. Бартенев, Н. И. Киршеништейн

В последнее время широко развиваются исследования долговечности материалов при постоянном напряжении, особенно полимеров [1—4]. Однако до сих пор по резинам имеется мало экспериментальных данных [5—7]. Между тем высокоэластические материалы отличаются от других полимеров по характеру зависимости долговечности  $\tau$  от напряжения  $\sigma$ , а также по закономерностям, связанным с энергией активации разрыва  $U$ . Так, в работе Бартенева и Брюхановой показано, что: 1) зависимость  $\tau = f(\sigma)$  имеет вид

$$\varepsilon = B\sigma^{-n} \quad (1)$$

( $n$  не меняется с температурой и густотой сетки), т. е. отличается от установленной для других материалов закономерности

$$\tau = Ae^{-\alpha\sigma} \quad (2)$$

или

$$\tau = \tau_0 e^{(U_0 - \gamma\sigma)/kT}; \quad (2a)$$

2) энергия активации  $U$  процесса разрыва резин не зависит от напряжения, в то время как для твердых тел она уменьшается с ростом напряжения; 3) порядок величины  $U$  для резин из СКС-30 свидетельствует о том, что процесс в основном определяется разрушением межмолекулярных связей, в то время как в твердых полимерах существенную роль при разрыве играет разрушение химических связей [2, 8]. Учитывая, что в одной из работ [1] показана применимость к резине из некристаллизующегося каучука зависимости (2) и что выводы в работе Бартенева и Брюхановой сделаны из опытов при постоянной нагрузке, а не при постоянном истинном напряжении, а также, что данные для испытаний при различных температурах имеются только для одного типа резины, мы считали необходимым провести более широкое исследование долговечности на большом количестве резин при испытаниях в условиях поддержания постоянного истинного напряжения.

Испытания проводили в интервале температур 25—150°. Исследовали сеточные полимеры, полученные при помощи радиационной (а частично при помощи тепловой) вулканизации на нитрильных каучуках СКН-18, 26 и 40 (ненаполненные) с равновесными модулями 3, 7, 12 и 24 кГ/см<sup>2</sup>, а также на силиконовом и фторсодержащем (наполненных) каучуках. Временную зависимость прочности определяли на приборе с фигурным рычагом «улитка» при постоянном напряжении [9].

Исследованный нами диапазон напряжений был ограничен временами до разрыва порядка нескольких секунд, с одной стороны, и порядка 10<sup>5</sup> секунд, максимально, чтобы избежать заметного влияния процессов старения при высоких темпера-

турах. Помимо долговечности, параллельно определяли прочность при постоянной скорости растяжения на приборе нашей конструкции [10], позволяющем определять усилия при помощи электротензодатчиков и расстояние между метками рабочего участка бесконтактным способом при помощи киносъемки, что необходимо для расчета истинной разрывной прочности.

При исследовании долговечности резин в большинстве случаев наблюдалась зависимость  $\tau$  от  $\sigma$  типа (1) (рис. 1). Однако ряд резин примерно одинаково описывается зависимостями (1) и (2). Это относится к наполненным резинам из СКФ ( $E_\infty = 19 \text{ кГ/см}^2$ ) (рис. 2) и СКТ ( $E_\infty = 7 \text{ и } 14 \text{ кГ/см}^2$ ), а также к наполненным вулканизатам из СНК-26, полученным с вулканизующей группой сера + ДФГ ( $E_\infty = 14 \text{ кГ/см}^2$ ) и тиурам + сера ( $E_\infty = 7 \text{ кГ/см}^2$ ).

Наполненная резина из СНК-26 ( $E_\infty = 22 \text{ кГ/см}^2$ ) явно лучше описывается зависимостью (2) (рис. 3), т. е. подтверждаются данные работы [6]. Неподчиняемость резин зависимости (2) связана с тем, что при разных напряжениях (деформациях) материал имеет различную структуру вследствие развития ориентации [6]. Последняя приводит к упрочнению, увеличению долговечности при больших деформациях (напряжениях) и искривлению прямой зависимости (2).

Наполненная резина из СНК-26 ( $E_\infty = 22 \text{ кГ/см}^2$ ) явно лучше описывается зависимостью (2) (рис. 3), т. е. подтверждаются данные работы [6]. Неподчиняемость резин зависимости (2) связана с тем, что при разных напряжениях (деформациях) материал имеет различную структуру вследствие развития ориентации [6]. Последняя приводит к упрочнению, увеличению долговечности при больших деформациях (напряжениях) и искривлению прямой зависимости (2).

Рис. 1. Зависимость долговечности от напряжения для радиационного вулканизата из СНК-40 при различных температурах,  $E_\infty = 24 \text{ кГ/см}^2$ .

Temperatura, °C: 1 — +25; 2 — +40; 3 — +60; 4 — +100; 5 — +150

в координатах  $\lg \tau — \sigma$ . В наполненных полимера в значительной степени происходит при введении наполнителя и в меньшей — при деформации. В связи с этим в последнем случае материал в большей степени подчиняется зависимости (2), чем (1).

Анализ полученных зависимостей показывает, что параллельность прямых  $\lg \tau — \lg \sigma$  наблюдается для резин из всех каучуков обычно при

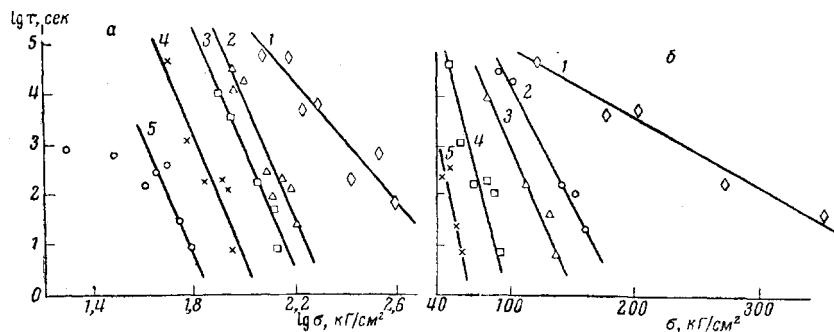


Рис. 2. Зависимость долговечности от напряжения для вулканизата из СКФ при различных температурах,  $E_\infty = 19 \text{ кГ/см}^2$ .

Temperatura, °C: 1 — +25; 2 — +60; 3 — +100; 4 — +150; 5 — +200  
(a —  $\lg \tau — \lg \sigma$ ; б —  $\lg \tau — \sigma$ )

100—150° (рис. 1). У резин из СНК-18 этот диапазон температур больше (от 40°); в отдельных случаях (СНК-18,  $E_\infty = 7 \text{ кГ/см}^2$ , СНК-26,  $E_\infty = 24 \text{ кГ/см}^2$  — радиационный вулканизат;  $E_\infty = 14 \text{ кГ/см}^2$  — вулканизат с тиурамом; СКТ  $E_\infty = 7 \text{ кГ/см}^2$ ) во всем диапазоне температур от 25 до 150° наблюдалась параллельность прямых  $\lg \tau — \lg \sigma$ .

При  $25-40^\circ$  угол наклона прямых  $\lg \tau - \lg \sigma$  (а в тех случаях, когда получаются прямые в координатах  $\lg \tau - \sigma$ , то этих прямых) обычно значительно меньше, чем при  $100-150^\circ$ , т. е. наблюдается изменение с температурой, противоположное тому, которое установлено для твердых полимеров. Многочисленные экспериментальные данные и теоретическая трактовка вопросов временной зависимости прочности относятся в основном к твердым телам, для которых выполняется зависимость (2).

Из временной зависимости прочности твердых тел следует, что тангенс угла наклона прямых в координатах  $\lg \tau - \sigma$  пропорционален  $\alpha$  или  $\gamma/kT$  (так как  $\alpha = \gamma/kT$ ). Более резкая временная зависимость с постепенным вырождением ее при критическом разрушении будет наблюдаться [13]: а) при понижении температуры из-за ослабления теплового движения. В этом случае  $\alpha$  возрастает за счет уменьшения  $T$ ; б) при увеличении коэффициента перенапряжения ( $\beta$ ) или увеличении элементарного объема разрушения [11] ( $\omega$ ), так как согласно теории  $\gamma = \omega\beta$ . Если принять, что долговечность резин, так же как и твердых тел, подчиняется зависимости (2), с тем отличием, однако, что для резин  $\gamma = f(\sigma)$ , то можно показать, что

$$n = \alpha \sigma \cdot \ln c / \sigma, \quad (3)$$

где  $c = \text{const}$  т. е.  $n$  пропорционально  $\alpha$ .

Действительно, из (2)

$$-\alpha = \frac{d \lg \tau}{d \sigma} = -\frac{1}{2,3} \left( \frac{d \alpha}{d \sigma} \sigma + \alpha \right),$$

из (1)

$$-n = \frac{d \lg \tau}{d \lg \sigma} = 2,3 \frac{d \lg \tau}{d \lg \sigma} = 2,3 \frac{d \lg \tau \cdot \sigma}{d \sigma} = -2,3 \alpha \sigma,$$

отсюда

$$n = \sigma \left( \frac{d \alpha}{d \sigma} \sigma + \alpha \right).$$

Обозначив  $a\sigma = y$ , получим

$$\frac{dy}{d\sigma} = \sigma \frac{d\alpha}{d\sigma} + \alpha,$$

т. е.  $n = \sigma dy/d\sigma$  или  $dy = n d\sigma/\sigma$ .

После интегрирования получим  $y = n \ln (\sigma/c)$  или окончательно формулу (3)  $n = a\sigma \cdot \ln c / \sigma$ .

Если с этой позиции рассмотреть изменение  $n$ , учитывая, что механизм разрыва резин иной, чем твердых тел, то анализ показывает следующее: а) можно было ожидать [8, 12], что величина  $n$  зависит от степени удлинения вулканизата при разрыве. Однако оказалось, что

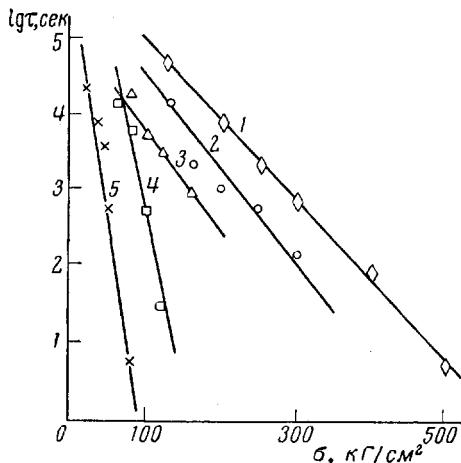


Рис. 3. Зависимость долговечности от напряжения для радиационного вулканизата из СКН-26 с 60 вес. ч. газовой сажи,  $E_\infty = 22 \text{ кГ/см}^2$ , при различных температурах,  $^\circ\text{C}$ :

1 -  $+25$ ; 2 -  $+40$ ; 3 -  $+60$ ; 4 -  $+100$ ; 5 -  $+150$

величины разрывных деформаций при повышении температуры в зависимости от густоты сетки и полярности каучука или не изменяются, или увеличиваются, или уменьшаются, в то время как угол наклона прямых  $\lg \tau - \lg \sigma$  с ростом температуры (до определенного предела) всегда увеличивается; б) при повышении температуры следует принять во внимание несколько факторов, которые могут влиять на  $n$  в противоположных направлениях. Уменьшению  $n$  с ростом температуры должно способствовать более равномерное распределение напряжений

(из-за ускорения релаксационных процессов и разрушения надмолекулярных структур), т. е. уменьшение  $\beta$ . Увеличение  $n$  с ростом температуры должно происходить из-за увеличения  $\omega$  как вследствие термического расширения резин, большего, чем у пластмасс, так и из-за разрушения надмолекулярных структур.

Таким образом, принимая, что  $n \sim \alpha$ , возможным объяснением возрастания  $n$  при повышении температуры может быть увеличение элементарного объема разрыва из-за термического расширения и распада

надмолекулярной структуры полимера. Это объяснение увязывается с тем, что прочность с ростом температуры уменьшается и кажущаяся энергия активации разрыва в области средних температур возрастает с ростом напряжения, а также с тем, что  $n$  изменяется значительно сильнее в резинах из СКН-40, чем из СКН-18 (таблица), так как из-за большей полярности СКН-40 следует ожидать большего развития надмолекулярных структур у резин из этого каучука, чем у СКН-18.

Оценка порядка величины кажущихся энергий активации разрыва ( $U$ ) ( $\tau$  удовлетворяет экспоненциальной зависимости от температуры) в той области температур, где прямые, выражающие зависимость долговечности от напряжения, параллельны (т. е. где  $U$  не зависит от  $\sigma$ ), приведена ниже:

$U$ ккал/моль	$U$ ккал/моль
СКН-18	10
СКН-26	17
СКН-40	22
СКН-26 (S)*	36
СКН-26 (T)*	42
СКТ	61
СКФ	25

\* СКН-26 (S) — тепловой вулканизат с вулканизующей группой: сера + дифенилгуанидин; СКН-26 (T) — то же, тиурам + сера; остальные вулканизаты — радиационные.

Процесс разрыва резин на медленной стадии связан с образованием волокнистой структуры, т. е. с процессом перемещения цепей, сопровождающимся преодолением главным образом межмолекулярных связей и частично слабых химических поперечных связей. У радиационных вулканизатов, содержащих прочные поперечные С—С-связи, последние не участвуют в этом процессе и поэтому энергия активации определяется только межмолекулярными связями. В тепловых вулканизатах с более слабыми поперечными связями (—S—S—связи), как это имеет место в вулканизатах СКН-26 (S) и СКН-26 (T), энергия активации должна иметь более высокое значение. При меньших темпера-

турах  $U$  зависит от  $\sigma$ , причем, в отличие от зависимости, найденной для твердых тел,  $U$  растет с увеличением  $\sigma$ . Это необычное явление можно объяснить как увеличением доли разрываемых химических связей (за счет уменьшения доли разрываемых межмолекулярных связей), так и разрушением под действием напряжения надмолекулярных структур. Последнее вызывает уменьшение размера кинетических единиц, что может привести к уменьшению  $U$  при постоянном их количестве в единице объема. Однако одновременное увеличение их количества приводит к фиктивному росту  $U$  с увеличением  $\sigma$ . При таких высоких температурах, как  $80-150^\circ$  надмолекулярные структуры, видимо, полностью распадаются и значения  $U$  не зависят от напряжения. Ранее одним из авторов при исследовании долговечности резин из полихлоропрена также наблюдалась большие значения  $U$  (порядка 100 ккал/моль), которые интерпретировались таким же образом [7]. Более детально оценить значение  $U$  можно, если исходить из условия подчинимости резин формулам (2а) и (3).

В этом случае  $\tau = \tau_0 \exp((U_0 - kT\sigma)/kT)$  переходит в  $\tau = \tau_0 \sigma^{-n} e^{(U_0 + nkT \ln c)/kT}$  и  $U = U_0 + nkT \ln c$ . Изменение  $U$  и  $U_0$  с температурой и напряжением качественно одинаковы;  $U_0$  имеет, однако, численно меньшие значения, чем  $U$ . Так, например, при  $100^\circ$  у вулканизата СКН-40 с  $E_\infty = 24 \text{ кГ/см}^2$ ,  $U = 19 \text{ ккал/моль}$ ,  $U_0 = 5,5 \text{ ккал/моль}$ . Порядок значений  $U_0$  еще в большей степени, чем в случае  $U$  подтверждает существенную роль разрушения межмолекулярных связей при разрыве резин.

Известно, что в ряду тепловых вулканизатов на нитрильных каучуках СКН-18, СКН-26 и СКН-40 с одинаковой густотой пространственной сетки при нормальной температуре прочность растет с ростом полярности, т. е. вулканизат на СКН-40 прочнее, чем на СКН-26; последний прочней, чем на СКН-18. Аналогичные данные были получены и для долговечности при постоянной нагрузке [6]. Определения разрывной прочности тепловых вулканизатов из нитрильных каучуков с одинаковой густотой сетки в диапазоне температур  $26-75^\circ$  показали, что с ростом температуры разница в значениях прочностей резин уменьшается [14], однако порядок их расположения не изменяется.

Наши исследования в диапазоне температур  $25-150^\circ$  показали, что порядок расположения радиационных вулканизатов по долговечности и разрывной прочности не сохраняется при повышении температуры.

Цифровые данные о влиянии температуры на истинную прочность ( $P$ ,  $\text{кГ/см}^2$ ) и относительное удлинение при разрыве ( $L$ , %) вулканизатов в ряду нитрильных каучуков ( $E_\infty = 13 \text{ кГ/см}^2$ ) приведены ниже:

	20°		70°		100°		150°	
Температура	P	L	P	L	P	L	P	L
Вулканизат								
СКН-18	96	318	43	181	31	128	34	152
СКН-26	257	501	50	209	41	176	39	159
СКН-40	627	760	57	286	36	216	23	150

При температуре  $150^\circ$  резины из СКН-40 ( $E_\infty = 7,13$  и  $24 \text{ кГ/см}^2$ ) имеют самую низкую прочность. Для резин с  $E_\infty = 3 \text{ кГ/см}^2$  сохраняется нормальный порядок при всех температурах.

По значению долговечности вулканизаты разных нитрильных каучуков с равными  $E_\infty$  при  $25^\circ$  располагаются в нормальном порядке. При  $150^\circ$  независимо от величины модуля наблюдается инверсия ряда вулканизатов по долговечности, причем полная инверсия (т. е. долговечность в ряду СКН-18 > СКН-26 > СКН-40) имеет место при больших напряжениях для  $E_\infty = 24 \text{ кГ/см}^2$  (рис. 4). При наименьшей температуре ( $40^\circ$ ) частичная инверсия наступает для резин с  $E_\infty = 7 \text{ кГ/см}^2$ .

Одним из возможных объяснений инверсии может быть следующее. При комнатной температуре прочность (и долговечность) определяется

в основном величиной межмолекулярных взаимодействий. С повышением температуры прочность уменьшается как вследствие уменьшения межмолекулярных взаимодействий, так и из-за распада надмолекулярных структур. Эти процессы в большей степени идут в СКН-40, чем в СКН-18. Отражением этого является более тесное расположение кривых  $\lg \tau - \lg \sigma$  вулканизатов СКН-18, СКН-26 и СКН-40 при высоких температурах, чем при низких.

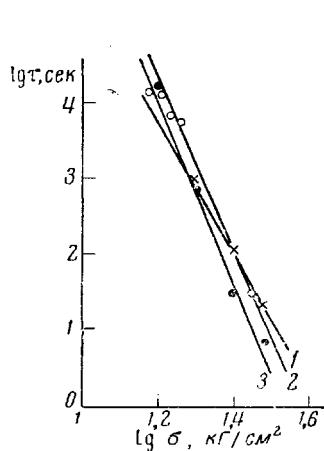


Рис. 4. Зависимости долговечности от напряжения для радиационных вулканизатов при 150°, с  $E_\infty = 24 \text{ кГ/см}^2$ :  
1 — СКН-40; 2 — СКН-26;  
3 — СКН-18

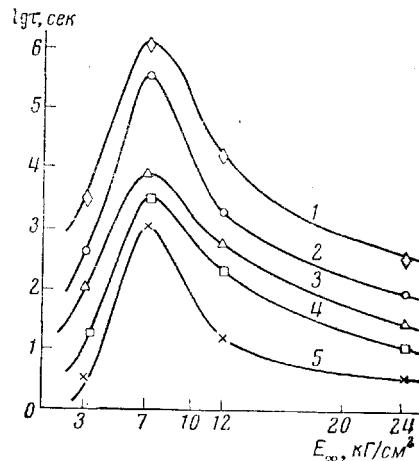


Рис. 5. Влияние густоты пространственной сетки на долговечность радиационного вулканизата из СКН-18 при различных температурах при  $\sigma = 40 \text{ кГ/см}^2$ .

Температура, °С: 1 — +25; 2 — +40; 3 — +60; 4 — +100; 5 — +150

При наличии надмолекулярных структур при низких температурах дефекты в структуре самих молекул не должны существенно влиять на прочностные свойства. При повышенных температурах, когда надмолекулярные структуры разрушены, эти дефекты приобретают существенное значение. Так как разветвленность молекул наиболее сильно выражена у СКН-40 за счет большого содержания нитрильных групп (1—2 структуры содержатся в СКН-26 и СКН-40 примерно в одинаковой степени [15]), то вследствие этого прочность и долговечность радиационных резин из СКН-40 при 150° наименьшая. Это предположение коррелируется с тем, что у резин, набухших на 40% в дибутилсебацинате, частичная инверсия наблюдается уже при 20°, а у резин ( $E_\infty = 24 \text{ кГ/см}^2$ ), содержащих канальную сажу, способствующую ориентации и затрудняющую распад надмолекулярных структур, нормальное расположение резин по прочности сохраняется при всех исследованных нами температурах.

**Влияние густоты сетки.** Известно много работ [3], в которых показано, что прочность по мере роста густоты сетки меняется по кривым с максимумом. Аналогичная зависимость была получена также нами по разрывной прочности для вулканизатов на нитрильных каучуках при температурах от 25 до 150°.

Для долговечности ненаполненного вулканизата СКС-30 при 20° показано, что она также изменяется по кривой с максимумом [6]. Наши данные для резин из нитрильных каучуков при разных температурах подтверждают, что долговечность в общем изменяется по кривым с максимумом. Наиболее ясно это видно на вулканизатах из каучука СКН-18 (рис. 5), причем оптимальное значение густоты сетки одно и то же при разных температурах.

По мере повышения температуры влияние густоты пространственной сетки на долговечность уменьшается. Это выражается в том, что прямые  $\lg \tau - \lg \sigma$  для резин из одного каучука с сетками разной густоты располагаются при  $100-150^\circ$  ближе одна к другой, чем при более низких температурах (рис. 6).

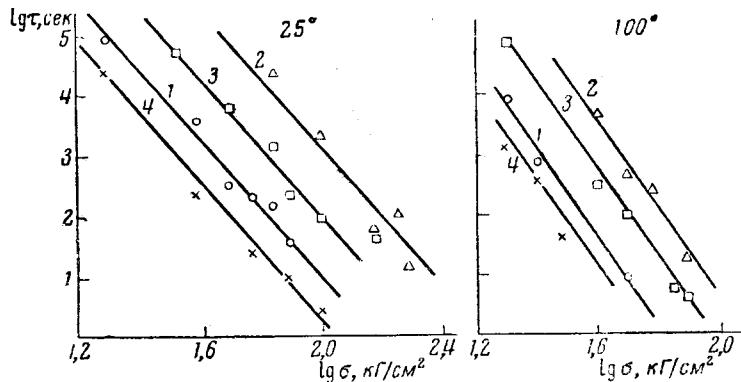


Рис. 6. Влияние густоты пространственной сетки на зависимость долговечности от напряжения для радиационного вулканизата СКН-18 при температурах 25 и  $100^\circ$ :

$E_\infty, \text{ кГ/см}^2$ : 1 - 3; 2 - 7; 3 - 12; 4 - 24

**Влияние типа поперечных связей.** Исследовались вулканизаты СКН-26 с  $E_\infty = 7 \text{ кГ/см}^2$ , приготовленные с тиуром + сера, серой + ДФГ, радиационный вулканизат и вулканизат из карбоксилсодержащего каучука СКН-26 с MgO.

По аналогии с подробно исследованными вулканизатами таких типов других каучуков [16, 17] можно было в соответствующих вулканизатах СКН-26 предполагать наличие преимущественно следующих поперечных связей: C—S—C (1); S—S—S (2); C—C (3) и C—OMg—O—C (4). По долговечности в области температур  $25-80^\circ$  исследованные вулканизаты располагаются в следующем порядке  $4 > 2 > 3 > 1$  (рис. 7), который в общем согласуется с представлениями о подвижности соответствующих связей и с данными о прочности этих вулканизатов.

Большая подвижность поперечных связей способствует выравниванию и более равномерному распределению напряжений, а следовательно, и большей долговечности. Очевидно, для увеличения долговечности при повышенных температурах следует при наличии поперечных связей, менее прочных, чем связи в основной цепи, максимально увеличивать прочность как тех, так и других.

### Выходы

При исследовании долговечности и прочности радиационных ненаполненных вулканизатов нитрильных каучуков и наполненных из СКТ и СКФ показано, что: 1) зависимость  $\tau = f(\sigma)$  при действии постоянного

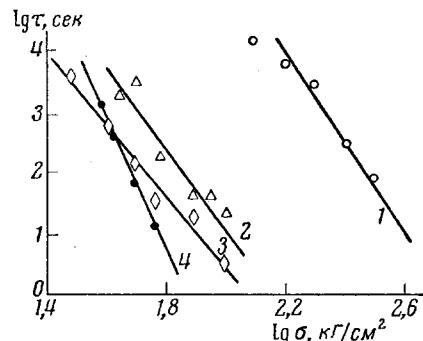


Рис. 7. Влияние типа поперечных связей на зависимость долговечности от напряжения вулканизатов из СКН-26 с  $E_\infty = 7 \text{ кГ/см}^2$  при  $80^\circ$ :

1 — вулканизат карбоксилатного каучука с MgO; 2 — вулканизат с серой + ДФГ; 3 — радиационный вулканизат; 4 — вулканизат с тиуром + сера

напряжения описывается формулой  $\tau = B\sigma^{-n}$  (1). В ряде случаев, однако, в том же экспериментальном диапазоне долговечностей в пределах разброса данных выполняется и зависимость  $\tau = Ae^{-\alpha\sigma}$  (2). Саженаполненный вулканизат СКН-26 подчиняется зависимости (2); 2) прямые  $\lg \tau - \lg \sigma$  параллельны обычно при высоких температурах (100—150°). С понижением температуры до 40, 25° угол наклона прямых уменьшается; 3) кажущаяся энергия активации разрушения при высоких температурах не зависит от напряжения и порядок  $U$  у радиационных вулканизатов соответствует энергии межмолекулярного взаимодействия сегментов течения. При наличии сравнительно слабых поперечных связей они принимают существенное участие в процессе разрыва и энергия активации увеличивается. В области температур 25—40° кажущаяся энергия активации увеличивается с ростом напряжения. Последнее можно объяснить тем, что с ростом напряжения либо усиливается разрушение надмолекулярных структур, либо увеличивается доля разрываемых химических связей; 4) при повышении температуры в ряду вулканизатов СКН-40, СКН-26 и СКН-18 наблюдается инверсия по долговечности и прочности. Это можно связать с тем, что при повышенных температурах прочностные свойства определяются дефектностью молекул, которая больше у СКН-40, чем у СКН-18, в то время как при нормальных температурах отрицательное влияние дефектности молекул перекрывается положительным влиянием межмолекулярного взаимодействия и надмолекулярных образований; 5) при увеличении густоты пространственной сетки долговечность (так же, как и прочность) изменяется по кривой с максимумом. С ростом температуры положение максимума не изменяется; 6) при повышении температуры уменьшается как влияние густоты сетки, так и влияние величины межмолекулярного взаимодействия на долговечность; 7) долговечность вулканизатов, отличающихся характером поперечных связей, значительно больше в тех случаях, когда поперечные связи обладают большой подвижностью.

Научно-исследовательский институт  
резиновой промышленности

Поступила в редакцию  
26 X 1963

#### ЛИТЕРАТУРА

1. С. Н. Журков, Б. Н. Нарзулайев, Ж. техн. физ., 23, 1677, 1953.
2. С. Н. Журков, Т. П. Санфирова, Ж. техн. физ., 28, 1719, 1958.
3. Г. М. Бартенев, Успехи химии, 24, 7, 1955.
4. Г. М. Бартенев, В. Е. Гуль, ЖВХО им. Менделеева, 1961, № 4, 394.
5. Г. М. Бартенев, С. В. Буров, Ж. техн. физ., 26, 2259, 1956.
6. Г. М. Бартенев, Л. С. Брюханова, Ж. техн. физ., 28, 287, 1958.
7. Ю. С. Зуев, С. И. Праведникова, Л. С. Жеребкова, В. Д. Зайцева, Высокомолек. соед., 5, 1201, 1963.
8. С. Н. Журков, С. А. Абасов, Высокомолек. соед., 3, 441, 450, 1961; 4, 1703, 1962.
9. Ю. С. Зуев, Н. Н. Буханова, Т. И. Дорфман, Каучук и резина, 1960, № 10, 44.
10. Ю. С. Зуев, Н. И. Киршнштейн, А. А. Матвеев, Каучук и резина, 1962, № 4, 44.
11. Г. М. Бартенев, Изв. АН СССР, Отд. техн. н., 1955, № 9, 53.
12. М. И. Бессонов, М. П. Кузнецова, Высокомолек. соед., 1, 761, 1959.
13. Г. М. Бартенев, Пласт. массы, 1960, № 9, 48.
14. В. Е. Гуль, И. И. Фарберова, Коллоидн. ж., 18, 660, 1956.
15. А. И. Якубчик, А. И. Спасскова, Ж. общ. химии, 30, 2172, 1960.
16. Б. А. Догадкин, З. Н. Тарасова, Коллоидн. ж., 15, 347, 1953.
17. M. C. Studebaker, Z. G. Nabors, Rubber Chem. and Technol., 32, 941, 1959.

#### LONGEVITY AND STRENGTH OF RUBBERLIKE POLYMERS

*Yu. S. Zuev, G. M. Bartenev, N. I. Kirshenshtein*

#### Summary

The effect of the basic factors determining the structure of rubber namely, density and nature of the three dimensional network, polarity of the rubber and of the filler, on the strength and longevity of the vulcanizates and on the nature of the stress dependence of longevity has been investigated over a broad temperature range.