

более плотную упаковку структуры. Кроме того, конгломераты оказываются вытянутыми вдоль фронта температур, а коэффициент анизотропии их формы  $\approx 1,2$  (при  $c^0 = 40\%$ ), что совпадает с данными экспериментов [3, 4].

На рис. 3 показана зависимость доли растресканных границ от скорости движения  $v$  образца ПК. Данный интервал изменения  $v$  использовался при градиентном спекании ПК состава ЦТС-83Г [3, 4]. Как следует из рис. 3, увеличение скорости не оказывает существенного влияния на долю границ, подвергшихся микрорастрескиванию. При данных параметрах материала происходит стабилизация этой величины возле значения  $\approx 10\%$ . Аналогичным образом ведет себя количество межкластерных границ, образующихся в процессе спекания в модельной области, и число микротрещин на этих границах. Однако при существенно больших  $v$  наблюдается значительно большее микрорастрескивание.

Таким образом, полученная ранее зависимость трещиностойкости материала  $K_{Ic}$  от начальной пористости  $c^0$  [12—14] — более важный фактор, определяющий прочность пьезокерамики, по сравнению со скоростью движения образца ПК в выбранном диапазоне значений  $v$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зацаринный В. П. Прочность пьезокерамики. — Ростов н/Д: Ростов. ун-т, 1978.
2. Писаренко Г. Г. Прочность пьезокерамики. — Киев: Наук. думка, 1987.
3. Беляев А. В., Крамаров С. О., Греков А. А. Эволюция микроструктуры сегнетокерамики при градиентном спекании // Тез. докл. III Всесоюз. конф. по проблемам получения и применения сегнето- и пьезоэлектрических материалов. — М.: Изд-во НИИ ТЭХИМ, 1987.
4. Беляев А. В., Крамаров С. О., Греков А. А. Межзерновые границы двух типов в сегнетокерамике // Стекло и керамика. — 1989. — № 8.
5. Беляев А. В., Карпинский Д. П., Крамаров С. О., Паринов И. А. Исследование процесса формирования микроструктуры пьезокерамики и ее трещиностойкости методом численного эксперимента // Изв. Сев.-Кавк. науч. центра высш. шк. Естеств. науки. — 1989. — № 4.
6. Самарский А. А. Теория разностных схем. — М.: Наука, 1983.
7. Дульнев Г. П., Заричняк Ю. П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов: Справочная книга. — Л.: Энергия, 1974.
8. Лыков А. В. Теплообмен: Справочник. — М.: Гостехиздат, 1978.
9. Соболев П. М. Численные методы Монте-Карло. — М.: Наука, 1973.
10. Anderson M. P., Srolovitz D. J., Grest G. S., Sahni P. S. Computer simulation of grain growth — I. Kinetics // Acta Metall. — 1984. — V. 32, N 5.
11. Мэнсон С. Температурные напряжения и малоцикловая усталость. — М.: Машиностроение, 1974.
12. Карпинский Д. П., Паринов И. А., Филиппов А. Е. Исследование докритического роста трещины и трещиностойкости в гетерогенных материалах // Физика прочности гетерогенных материалов. — Л.: ЛФТИ, 1988.
13. Паринов И. А. Численное моделирование процесса изготовления и разрушения неполяризованной пьезокерамики: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. — Ростов н/Д, 1990.
14. Karpinsky D. N., Parinov I. A. Computer simulation sintering and piezoceramic fracture toughness // Electronic ceramics-production and properties: Proc. Intern. Scient. Confer. — Riga, 1990. — Pt 1.

г. Ростов-на-Дону

Поступила 6/II 1990 г.,  
в окончательном варианте — 13/XI 1990 г.

УДК 678.4 : 531

К. Ф. Черных, Е. К. Лебедева

#### ИЗМЕНЕНИЕ ОБЪЕМА ПРИ ОДНООСНОМ РАСТЯЖЕНИИ РЕАЛЬНЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ

Для эластомеров, подвергаемых одноосному растяжению, введена характеристика поперечного сжатия  $\nu$ , обобщающая на случай умеренно больших растяжений коэффициент Пуассона. Для 40 типов используемых в обувной промышленности резин  $\nu$  постоянна вплоть до деформаций разрушения порядка 150%.

Относительное изменение объема резин подсчитывается по формуле [1]

$$\theta = (dV - dV^0)/dV^0 = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 - 1$$

( $\lambda_i$  — главные кратности удлинений).  
При одноосном растяжении

$$\lambda_1 = \lambda > 1, \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda^{-1/2} \sqrt{1 + \theta}.$$

Обозначим через  $S^0$  и  $S$  площади поперечного сечения образца до и после деформации, связанные соотношением

$$(1) \quad S^0/S = 1/\lambda_2 \lambda_3 = \lambda/(1 + \theta).$$

Характеристику  $\nu$  введем следующим образом:

$$(2) \quad S^0/S = 1 + (\lambda - 1)2\nu.$$

Из (1) и (2) имеем

$$(3) \quad \theta = (1 - 2\nu)(\lambda - 1)/[1 + (\lambda - 1)2\nu].$$

При малых деформациях

$$\lambda - 1 = e_1, e_2 = e_3 = -\bar{\nu}e_1,$$

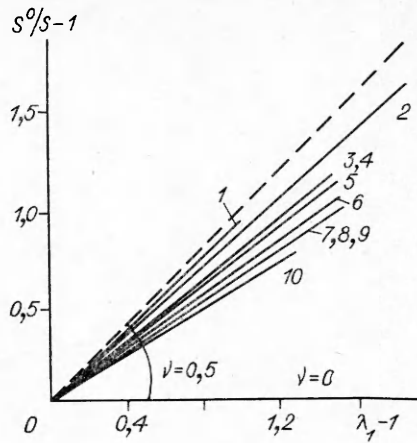
где  $e_i$  — главные относительные удлинения;  $\bar{\nu}$  — коэффициент Пуассона. В силу малости относительных удлинений ( $e_1, e_2 \ll 1$ )

$$\frac{S^0}{S} = \frac{1}{(1 + e_2)(1 + e_3)} - \frac{1}{(1 - \bar{\nu}e_1)^2} \approx 1 + 2\bar{\nu}e_1.$$

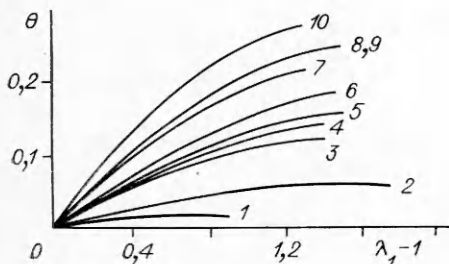
Сопоставление полученного выражения с (2) дает  $\nu = \bar{\nu}$ , т. е. при малых деформациях  $\nu$  переходит в коэффициент Пуассона. При больших же деформациях, вообще говоря,  $\nu = \nu(\lambda)$ .

Из 10 типов используемых в обувной промышленности резин (см. таблицу) были изготовлены образцы в виде двухсторонней лопатки, растягиваемые без образования шейки на машине РТ 250-2М. Эксперименты показали (рис. 1), что для всех рассмотренных типов резин  $\nu$  постоянна. Штриховая линия отвечает несжимаемому материалу ( $\nu = 0,5$ ). На рис. 2 приведена зависимость  $\theta = \theta(\lambda_1)$ , а на рис. 3 — зависимость условного напряжения от кратности удлинения  $\sigma^0 = \sigma^0(\lambda_1)$ . Условное напряжение вычислялось как отношение силы к первоначальной (до деформации) площади поперечного сечения образца.

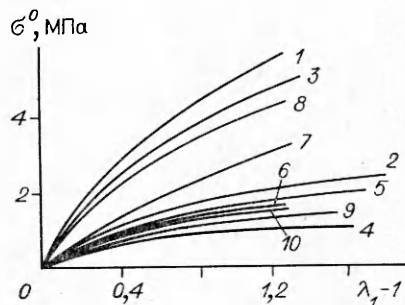
Из рис. 1 следует основной результат: по крайней мере для рассмотренных наполненных резин вплоть до деформаций разрыва порядка 150 %  $\nu$  является обобщением коэффициента Пуассона на умеренно большие деформации. Заметное отклонение обобщенного коэффициента Пуассона от  $\nu = 0,5$  свидетельствует о значительной пористости данных материалов.



Р и с. 1



Р и с. 2



Р и с. 3

№ п/п	Резина	Состав резины (массовая доля компонентов, %)	$\nu$	Начальный модуль $E_{II}$ , МПа
1	Вида В (черная)	СКМС-30 РП (25) Регенерат (20) Углерод ПМ-75 (36) Сера (1,5)	0,49	10,0
2	Марки ВШ-6 (белая)	БС-45 АКН (30) СКМС-30 РП (5) СКД (10) Наполнитель (20,9) Сера (1,7)	0,46	3,581
3	Марки Б-2	СКМС-30 РП (18,1) Регенерат (33,3) Углерод ПМ-75 (32,0) Сера (1,3)	0,39	7,136
4	Порокреп	СКМС-30 АРКПН (20) БС-45 АКН (30) Сажа БС-100 (14,8) Сера (2,0)	0,39	1,509
5	Марки ВШ-2 (коричневая)	СКМС-30 РП (23,8) Регенерат (14,3) Наполнитель (42,6) Сера (1,5)	0,38	2,716
6	Марки ВШ-5 (красная)	БС-45 АКН (30) СКД (10) Регенерат (15) Наполнитель (20,9) Сера (1,7)	0,36	2,470
7	«Малыш» (синяя)	БС-45 АКН (35) СКИ-3 (15) Наполнитель (32,1) Сера (1,6)	0,34	4,693
8	Вида АШ (черная)	СКМС-30 РП (25) Регенерат (20) Наполнитель (36) Сера (1,5)	0,33	7,107
9	Марки В-1 (черная)	БС-45 АКН (35) СКМС-30 РП (7) СКД (8) Регенерат (15) Наполнитель (15) Сера (1,75)	0,33	2,033
10	«Под пробку» (белая)	БС-45 АКН (45) Наполнитель (32) Сера (1,5)	0,30	1,509

Выражению для относительного изменения объема (3) можно придать вид

$$\theta = \theta^\infty - (1 - 2\nu) / \{2\nu[1 + 2\nu(\lambda - 1)]\},$$

где  $\theta^\infty = (1 - 2\nu)/2\nu$  — предельное (при  $(\lambda - 1) \rightarrow \infty$ ) значение относительного изменения объема.

В заключение отметим следующее. 1. Для рассмотренных 10 типов используемых в обувной промышленности резин мерой поперечного сужения (при растяжении до 150 %) может служить коэффициент  $\nu$ . 2. Основное изменение объема происходит при умеренных деформациях. С этим,

по-видимому, связаны неоднократно отмечаемые в литературе погрешности модели несжимаемого материала при описании умеренных деформаций растяжения эластомеров [2].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лебедева Е. К. О сжимаемости и упругости резины для низа обуви // Изв. вузов. Технология лег. пром-сти. — 1987. — № 4.
2. Черных К. Ф., Шубина И. М. Об учете сжимаемости резины // Механика эластомеров: Науч. тр. Кубанского гос. ун-та. — 1978. — Т. 2, вып. 268.

г. Новосибирск

Поступила 15/VI 1990 г.,  
в окончательном варианте — 27/IX 1990 г.

*9—12 июня 1992 года*

ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ  
ОРДЕНА ЛЕНИНА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН

*проводит II Всесоюзный семинар*

**«РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ В ДВС  
С ОГРАНИЧЕННЫМ ОТВОДОМ ТЕПЛА»**

За справками обращаться:

630090, Новосибирск-90, ул. Институтская, 4/1, ИТПМ  
т е л. 35-69-05, 35-42-68