

11. Марихин В. А., Мясникова Л. П. Надмолекулярная структура полимеров. Л.: Химия, 1977. 240 с.  
 12. Гуль В. Е. Структура и прочность полимеров. М.: Химия, 1978. 327 с.

Ленинградский филиал Научно-производственного объединения  
«Химволокно»

Физико-технический институт  
им. А. Ф. Иоффе АН СССР

Поступила в редакцию  
27.VIII.1984

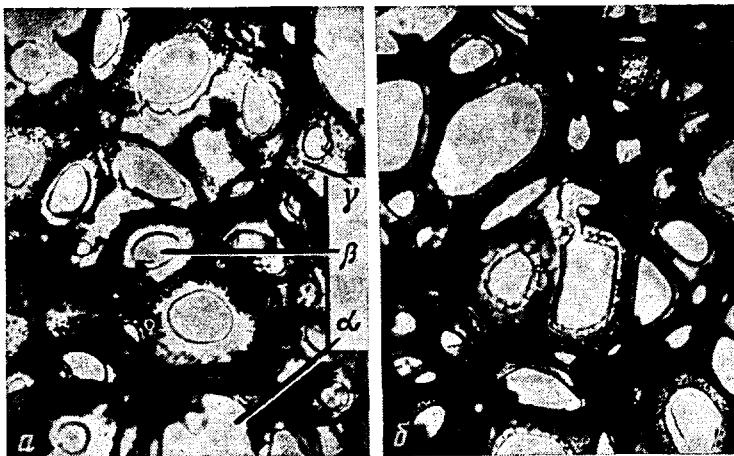
УДК 541.64:539.2

## СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛЕГКОГО ПЕНОПЛАСТА С ВЗАИМОПРОНИКАЮЩИМИ ЯЧЕИСТЫМИ СТРУКТУРАМИ ОВАЛЬНОГО ТИПА

*Тараканов О. Г., Дементьев А. Г., Демина А. И.*

Легкие пенопласти с объемным содержанием полимера (<5%) имеют преимущественно полиэдрическую форму ячеек [1, 2]. Образование в тяжах, узлах и стенах ячеек микропористой структуры практически не приводит к изменению полиэдрической формы газоструктурных элементов этих пенопластов [3, 4].

Нами обнаружено у легких пенопластов неизвестное ранее существование взаимопроникающих ячеистых структур различного уровня, приво-



Макроструктура ПВПС (a) и ПМФП (б) с  $\rho=32$  (a) и  $17 \text{ кг}/\text{м}^3$  (б).  $\times 160$  (a) и  $80$  (б)

дящее к потере ячейками полиэдрической формы. Образование наряду с микроячейками в одном образце взаимопроникающих  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -ячеистых структур (с размерами ячеек, различающимися на порядок) приводит к образованию ячеек овальной формы. Такая структура пенопластов определяется технологией их получения, прежде всего, пенным режимом работы пеногенератора. Для сопоставления были сделаны на автоматическом анализаторе микроскопических изображений «Morphoquant» («Карл Цейсс», Йена, ГДР) фотографии макроструктуры различных образцов.

На рисунке, *a* представлен типичный вид среза карбамидоформальдегидного пенопласта с взаимопроникающими ячеистыми структурами (ПВПС), а на рисунке, *b* — обычного карбамидоформальдегидного пенопласта (ПМФП). Видно, что макроячейки  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -структур имеют овальную форму, довольно равномерно распределены по сечению и существенно различаются между собой по размерам. Из рисунка, *b* видно, что у обычного легкого пенопласта четко выражена только полиэдрическая форма макроячеек, причем длина тяжей почти на порядок превышает их толщину. В качестве усредненной характеристики макроструктуры был выбран диаметр ячеек  $\Phi$  и соответствующее среднее расстояние  $D$  между стенками близлежащих ячеек этого же типа. Для ячеек полиэдрической формы в качестве параметра  $D$  принят средний диаметр тяжей. В таблице приведены данные структурного анализа легких пенопластов с различной кажущейся плотностью  $\rho$ .

Структурно-механические характеристики пенопластов

Пенопласт	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma$	$E$	Макро-структура	$\Phi$ , мм	$D/\Phi$
		МПа				
ПВПС	31	0,145	5,52	$\alpha$	0,19	1,1
	—	—	—	$\beta$	0,038	1,3
	—	—	—	$\gamma$	0,0024	2,4
ПМФП	47	0,098	3,06	$\alpha$	0,49	0,094
	32	0,046	1,44	$\alpha$	0,48	0,086
	17	0,017	0,48	$\alpha$	0,47	0,058

Видно, что у ПВПС средний диаметр ячеек  $\Phi$  для  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -макроструктур значительно отличается, причем расстояние между соответствующими ячейками превышает их диаметр. Так, параметр  $D/\Phi$ , характеризующий отношение среднего расстояния между ячейками к диаметру макроячеек, меняется в пределах 1,1–2,4.

Из таблицы видно, что у обычных пенопластов ПМФП с низкой кажущейся плотностью параметр  $D/\Phi$  оказался низким (в пределах 0,058–0,094). Обнаружены для легких пенопластов типа ПВПС неизвестные ранее высокие значения предела прочности  $\sigma$  и модуля упругости при сжатии  $E$ . Для сопоставления в таблице приведены результаты определения физико-механических характеристик ПМФП и образца ПВПС.

Механические испытания пенопластов выполняли при 293 К на испытательной машине «INSTRON» (Англия). Во всех случаях ошибка среднего измерения физико-механических характеристик, представленных в таблице, не превышала 10% при доверительной вероятности 0,95. Видно, что прочность  $\sigma$  и  $E$  исследованного ПВПС в 3,5 раза выше, чем у ПМФП с такой же плотностью.

Физический смысл установленного эффекта упрочнения пенопласта объясняется из анализа механизма деформации и разрушения легких пенопластов [5]. Именно у пенопластов с полиэдрической формой ячеек низкие значения  $\sigma$  и  $E$  обусловлены повышенной деформативностью тонких тяжей при продольно-поперечном изгибе, в то время как у пенопласта с взаимопроникающими ячеистыми структурами овального типа  $\sigma$  и  $E$  существенно выше, так как у таких образцов отсутствуют гибкие элементы макроструктуры. С уменьшением объемной массы пенопласта эффект упрочнения повышается. Так, при  $\rho=15$  кг/м<sup>3</sup> разница в  $\sigma$  между ПВПС и ПМФП должна достигнуть порядка, а при  $\rho=200$  кг/м<sup>3</sup> их значения  $\sigma$  приблизительно одинаковы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дементьев А. Г., Тараканов О. Г. Структура и свойства пенопластов. М.: Химия, 1983. 176 с.
2. Hilyard N. C. Mechanics of Cellular Plastics. L.: Appl. Sci. Publ. LTD, 1982. 402 p.
3. Gill A. Cellular Polymers, 1983, v. 2, № 4, p. 297.
4. Shutov F. A. Cellular Polymers, 1983, v. 2, № 4, p. 295.
5. Дементьев А. Г., Тараканов О. Г., Селиверстов П. И. Механика полимеров, 1972, № 6, с. 976.

Всесоюзный научно-исследовательский  
институт синтетических смол

Поступила в редакцию  
27.VIII.1984

УДК 541.64:539.2:547.313.1

## СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СОПОЛИМЕРЕ ТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА С ЭТИЛЕНОМ ПРИ НАГРЕВАНИИ

*Костромина С. В., Зубов Ю. А., Ширяна Н. Г.,  
Бакеев Н. Ф.*

Сополимер тетрафторэтилена с этиленом (СТФЭЭ) эквимольного состава фактически является гомополимером с повторяющимся звеном  $-CF_2-CF_2-CH_2-CH_2-$  [1–3]. Он имеет такой же химический состав, что и поливинилиденфторид (ПВДФ) и отличается от него только способом присоединения звеньев  $-CH_2-CF_2-$ : в ПВДФ присоединение идет по типу «голова» к «хвосту», а в СТФЭЭ — «голова» к «голове» и «хвост» к «хвосту». Это влечет за собой существенное различие в свойствах полимеров. СТФЭЭ обладает уникальным комплексом свойств. Он, как и ПЭ, устойчив к радиации, имеет хорошие механические свойства, аналогичные ПВДФ, а также стоек, как и ПТФЭ, к тепловым и химическим воздействиям. СТФЭЭ является хорошим диэлектриком. Он легко перерабатывается методами экструзии и литья под давлением. Благодаря своим свойствам, изделия из сополимера часто эксплуатируются в условиях радиационных и тепловых воздействий.

Макроскопические свойства полимеров обусловлены строением его молекулярной цепи и надмолекулярной структурой. Поэтому представляло большой интерес изучить поведение некоторых структурных параметров СТФЭЭ в процессе нагревания.

Использовали образцы, вырезанные из неориентированных прессованных пластин сополимера эквимольного состава промышленных марок (Ф40Ш) с различными ПТР и ММ, а также с различными скоростями охлаждения после прессования. Кроме того, был исследован образец сополимера с добавкой гексафтормонилена (ГФП). Такая модификация облегчает переработку и упрочняет исходный материал. Образцы помещали в температурную приставку, которую укрепляли на рентгеновском дифрактометре. Исследования проводили в диапазоне температур от 293 К до температуры плавления (543 К для сополимера эквимольного состава и 523 К для сополимера с добавкой ГФП). Ошибка измерения температуры составляла  $\pm 1^\circ$ . Перед измерением образец выдерживали при данной температуре в течение 0,5 ч. Межплоскостное расстояние  $d_{110}$ , среднее межцепочное расстояние в аморфных областях  $\bar{R}$ , степень кристалличности  $X$  и попечерчный размер кристаллитов  $l$  определяли по рентгеновским дифрактограммам, которые получали на дифрактометре ДРОН-1 с асимметричным монохроматором на излучении  $Cu K\alpha$  [4]. Применили схему съемки «на просвет». При температурных съемках дифрактограммы записывали дважды в диапазоне углов  $10-26^\circ$ , при расчетах брали среднее из двух измерений. При комнатной температуре для устранения эксцентриситета образца запись проводили при двух его положениях, отличающихся на  $180^\circ$ . Для устранения инерционности интегрирующего устройства съемку выполняли в прямом и обратном направлениях движения счетчика. Нулю гониометра контролировали, регистрируя дифракционную картину по обе стороны от первичного пучка. Полу-