

УДК 678.01:53

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТАНТ УПРУГОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ ДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ В ПОЛЕ ДЕЙСТВИЯ  
 $\gamma$ -ИЗЛУЧЕНИЯ И БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОНОВ**

***A. И. Куриленко, О. Ф. Татаренко, В. Л. Карпов***

Интерес к действию ядерных излучений на механические свойства полимерных материалов обусловлен практическим значением этой проблемы. Механические свойства полимеров чувствительны к необратимым химическим изменениям, происходящим в них под воздействием радиации (сшивание, деструкция). Эти процессы исследованы для широкого круга полимеров [1, 2] и установлено их влияние на механические свойства.

Изменения механических свойств полимерных материалов в поле действия ионизирующих излучений изучены мало. Основные экспериментальные результаты в этой области изложены в работах Мокульского, Лазуркина и др. [3—5]. Ими обнаружено обратимое ускорение релаксационных процессов в статически нагруженных полимерах в поле действия излучения ядерного реактора и дано объяснение этих эффектов [6].

Определенный интерес представляет измерение динамических констант упругости полимерных материалов в поле действия ионизирующих излучений. Помимо практической важности, изучение этого вопроса существенно и для понимания механизма процессов, происходящих в полимерах под действием радиации.

В данной работе описана методика, разработанная для измерения констант упругости полимерных материалов в процессе облучения, и результаты некоторых опытов, показывающие, что эффект обратимого влияния  $\gamma$ -излучения и ускоренных электронов на величину динамических констант упругости различных полимеров в исследованных нами условиях не обнаруживается.

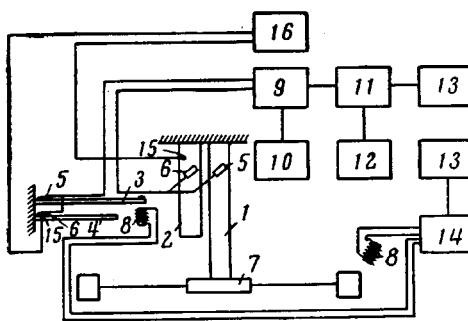
#### Методика измерений

Модуль упругости и модуль сдвига полимерных материалов определяли по собственной частоте свободных колебаний, регистрируемых при помощи проволочных датчиков сопротивления [7]. Применили константанные датчики с базой 10 мм и сопротивлением 150 ом, коэффициент тензочувствительности  $\sim 2$ . Принципиальная схема установки изображена на рис. 1. Для определения модуля сдвига использовали крутильный маятник. На образец полимера, выполненный в форме стержня диаметром 5 мм и длиной 50  $\pm$  60 мм, вблизи закрепленного конца наклеивали kleem БФ-4 датчик под углом 45° к оси образца. Для определения модуля упругости образец выполняли в форме пластинки 50  $\times$  5  $\times$  0,5 мм, которую закрепляли консольно. На свободный конец исследуемого образца прикрепляли стальную пластинку, а вблизи закрепленного конца наклеивали датчик (вдоль оси образца). Компенсационный датчик приклеивали к контрольному образцу таких же размеров, помещенному рядом с исследуемым. Температуру в центре контрольного образца регистрировали при помощи хромель-копелевой термопары.

Колебания в образцах возбуждали электромагнитом. Измерения проводили, возбуждая три раза подряд в образце колебания, регистрировавшиеся на фотобумаге осциллографом. Из этих данных рассчитывали средний период частоты свободных колебаний. Время измеряли с точностью  $0,5 \cdot 10^{-2}$  сек.; так как период колебаний

Рис. 1. Блок-схема установки для определения модуля упругости и модуля сдвига динамическим методом:

1 — образец полимера для определения модуля сдвига, 2 — контрольный образец для определения модуля упругости, 3 — образец полимера для определения модуля упругости, 4 — контрольный образец для определения модуля сдвига, 5 — рабочие датчики, 6 — компенсационные датчики, 7 — крутильный маятник, 8 — электромагниты, 9 — тензометрический усилитель 8АНЧ-7, 10 — блок питания тензометрического усилителя, 11 — осциллограф Н-700, 12 — звуковой генератор ГЗ-3, 13 — блоки питания ВСА-5, 14 — переключатель, 15 — термопары, 16 — регистратор температуры ЭПП-09М



составлял  $\sim 2 \cdot 10^{-1}$  сек., то ошибка не превышала 2,5%. Модуль сдвига  $G$  и модуль упругости  $E$  рассчитывали по следующим формулам [8]:

$$G = \frac{I}{128\pi \frac{\tau^2 d^4}{l^4}}.$$

Здесь  $l$  — длина образца, см;  $I$  — момент инерции,  $\text{kГ} \cdot \text{см} \cdot \text{сек}^2$ ;  $\tau$  — период колебаний, сек.;  $d$  — диаметр образца, см.

$$E = \frac{4\pi^2}{3,515^2} \frac{\omega \cdot l^4}{\tau^2 \cdot I \cdot g}.$$

Здесь  $\omega$  — вес образца на 1 см длины, кг;  $I$  — момент инерции образца,  $\text{см}^4$ ;  $g = 980 \text{ см/сек}^2$ .

Облучение  $\gamma$ -лучами проводили на установке К-120000 во внешней части облучателя при  $25^\circ$ , ускоренными электронами — на линейном электронном ускорителе. Мощность дозы определяли методами химической дозиметрии (ферросульфатным и бумажным).

Таблица 1

Определение модуля сдвига алюминия в поле  $\gamma$ -излучения  $\text{Co}^{60}$  при  $25^\circ$

Опыт, №	Мощность дозы, рад/сек	Доза, Мрад	Модуль сдвига, $\text{kГ}/\text{см}^2$
1	0	0	$2,68 \cdot 10^5$ *
	200	1	$2,68 \cdot 10^5$
2	0	1	$2,68 \cdot 10^5$
	200	2	$2,70 \cdot 10^5$
3	0	2	$2,70 \cdot 10^5$
	200	5	$2,71 \cdot 10^5$
4	0	5	$2,70 \cdot 10^5$
	200	10	$2,69 \cdot 10^5$

\* По данным работы [9], модуль сдвига алюминия  $G = 2,70 \cdot 10^5 \text{ кГ}/\text{см}^2$ .

Таблица 2

Определение модуля сдвига полиэфира ПН-1 в поле  $\gamma$ -излучения  $\text{Co}^{60}$  при  $25^\circ$

Опыт, №	Мощность дозы, рад/сек	Доза, Мрад	Модуль сдвига, $\text{kГ}/\text{см}^2$
1	0	2	$1,7 \cdot 10^3$ *
	100	2	$1,7 \cdot 10^3$
2	0	6	$3,8 \cdot 10^3$
	100	6	$3,8 \cdot 10^3$
3	0	12	$3,8 \cdot 10^3$
	100	12	$3,8 \cdot 10^3$
4	0	15	$3,8 \cdot 10^3$
	800	15	$3,8 \cdot 10^3$
5	0	15	$3,8 \cdot 10^3$
	800	15	$3,8 \cdot 10^3$

\* Не обратимое увеличение значений модуля, приведенных в таблице, обусловлено дополнительным отверждением образцов в результате последовательного увеличения дозы.

Для контроля правильности измерений констант упругости на описанной установке были проведены опыты с алюминиевым образцом (табл. 1). Полученные нами значения модуля совпадают с литературными [9].

Действие  $\gamma$ -излучения  $\text{Co}^{60}$  дозой 200 рад/сек на образец из алюминия не оказалось влияния на измеряемую величину.

## Результаты экспериментов и обсуждение

В литературе не приводится данных о непосредственном определении влияния излучения на величину динамических констант упругости полимерных материалов. Однако высказывались предположения [6] о возможности обратимого уменьшения величины этих механических показателей при помещении образцов полимеров в поле действия  $\gamma$ -излучения, аналогично изменениям статических показателей (скорости крипа, времен релаксации при облучении в реакторе). Для проверки этих предположений

Таблица 8

**Влияние потока ускоренных электронов на величину модуля упругости полимерных материалов**  
(Мощность дозы  $2,8 \cdot 10^5$  рад/сек, продолжительность облучения  
~ 3 сек. при  $25^\circ$ )

Измерение, №	Полимер	Мощность дозы, рад/сек	Доза, полученная образцом, Мрад	Модуль упругости, $\kappa\Gamma/\text{см}^2$
1	ПН-1	0	40,0	$1,20 \cdot 10^4$
		$2,8 \cdot 10^5$	40,0	$1,20 \cdot 10^4$
		0	40,8	$1,21 \cdot 10^4$
		$2,8 \cdot 10^5$	40,8	$1,21 \cdot 10^4$
		0	41,5	$1,21 \cdot 10^4$
		$2,8 \cdot 10^5$	0	$1,40 \cdot 10^4$
2	Полиметилметакрилат	$2,8 \cdot 10^5$	0	$1,40 \cdot 10^4$
		0	0,8	$1,40 \cdot 10^4$
		$2,8 \cdot 10^5$	0,8	$1,40 \cdot 10^4$
		0	1,5	$1,40 \cdot 10^4$
		$2,8 \cdot 10^5$	0	$0,20 \cdot 10^3$
		0	0,8	$0,20 \cdot 10^3$
3	Поливинилхлорид	$2,8 \cdot 10^5$	0,8	$0,19 \cdot 10^3$
		$2,8 \cdot 10^5$	0,8	$0,19 \cdot 10^3$
		0	1,5	$0,19 \cdot 10^3$
		$2,8 \cdot 10^5$	0	$0,19 \cdot 10^3$
		0	0	$0,19 \cdot 10^3$
		$2,8 \cdot 10^5$	0	$0,19 \cdot 10^3$

мы провели опыты по изучению обратимого действия  $\gamma$ -излучения  $\text{Co}^{60}$  и ускоренных электронов с энергиями 0,3 и 1,37 Мэв на модули сдвига и упругости отверженных конденсационных полимеров: полиэфира ПН-1 и полиэфирокрилатов МГФ-9 и ТМГФ-11, а также полиметилметакрилата и поливинилхлорида.

Результаты типичных опытов, проведенных с ПН-1, приведены в табл. 2. Полимер был предварительно отвержен радиационным методом (доза 2 Мрад). Мощность дозы  $\gamma$ -излучения в наших опытах достигала 800 рад/сек; и во всех случаях, независимо от дозы предварительного облучения (до 100 Мрад), не было обнаружено обратимого изменения модуля сдвига под действием  $\gamma$ -излучения при указанной мощности дозы. Величины модулей, измеренные в течение небольшого промежутка времени (порядка 1, 10 мин.), сохранялись постоянными при введении и выведении источника  $\gamma$ -излучения (время достижения заданной мощности дозы — порядка 1 мин.).

Для исследования при значительно больших мощностях дозы проводили опыты с потоком ускоренных электронов с энергией 0,3 Мэв при мощности дозы  $2,8 \cdot 10^5$  рад/сек. Образцы в форме пластинок толщиной  $0,2 \div 0,3$  мм располагали на расстоянии 65 мм от окна ускорителя в плоскости, перпендикулярной направлению пучка ускоренных электронов. Заданная мощность достигалась через 10 сек, после включения ускорителя, после чего проводили измерения. За это время образец нагревался приблизительно на  $4^\circ$ . Как видно из результатов, представленных в табл. 3, для отверженного полиэфира ПН-1, полиметилметакрилата и поливинилхлорида обратимые изменения модуля упругости под действием потока электронов не наблюдались.

Модуль сдвига полиэфира ПН-1 измеряли при значительно более интенсивном потоке ускоренных электронов с энергией 1,37 Мэв. Мощность дозы  $1,2 \div 1,5$  Мрад/сек. Результат типичного опыта представлен в табл. 4 и на рис. 2. Процесс непрерывного облучения длился 120 сек. Доза, полученная образцом в течение этого времени (150 Мрад), необратимо изменила величину модуля на незначительную величину.

Таблица 4

Влияние потока ускоренных электронов на величину модуля сдвига отверженного полиэфира ПН-1  
(Мощность дозы  $1,2 \div 1,5$  Мрад/сек)

Измерение, №	Время от начала облучения, сек.	Мощность дозы, Мрад/сек	Доза полученная образцом, Мрад	Температура образца, °C	Модуль сдвига, кГ/см <sup>2</sup>
1		0	342	25	$3,86 \cdot 10^3$
2	2	$1,2 \div 1,5$	342	25	$3,86 \cdot 10^3$
3	60	$1,2 \div 1,5$	420	87	$1,32 \cdot 10^3$
4	120	$1,2 \div 1,5$	498	110	$0,84 \cdot 10^3$
5	125	0	498	110	$0,84 \cdot 10^3$
6	665	0	498	25	$3,96 \cdot 10^3$

Температура образца непрерывно возрастала при облучении и к концу опыта достигала  $110^\circ$  (рис. 2). Это приводило к соответствующему уменьшению модуля сдвига во время проведения эксперимента.

Результаты измерения модуля сдвига при различных температурах представлены на рис. 3. Величина модуля с ростом температуры умень-

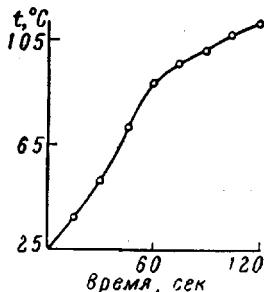


Рис. 2

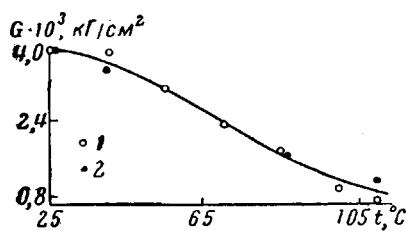


Рис. 3

Рис. 2. Разогрев образца ПН-1 под действием потока электронов. Мощность дозы  $1,2 \div 1,5$  Мрад/сек

Рис. 3. Влияние температуры на величину модуля сдвига ПН-1.

Полизифир отвержен радиационно, доза 30 Мрад. 1 — нагрев проводился в термостате, 2 — образец нагревался потоком ускоренных электронов (по данным табл. 3)

шается так же, как в случае разогрева, вызванного действием потока электронов (измерение в поле излучения), и как в случае нагрева в термостате без облучения.

Таким образом, и в случае действия потока ускоренных электронов при мощности дозы 1,5 Мрад/сек не обнаружено обратимого изменения модуля сдвига полиэфира ПН-1, превышающего ошибку измерения.

### Выводы

1. Разработана установка для дистанционного измерения констант упругости полимерных материалов в поле действия ионизирующих излучений. Динамические модули упругости и сдвига определяются по собственной частоте свободных колебаний, регистрируемых проволочными латчиками сопротивления.

2. Изучено влияние ионизирующего излучения на динамические константы упругости некоторых термореактивных и термопластичных полимерных материалов. Не обнаружено обратимого изменения динамических констант упругости под действием  $\gamma$ -излучения  $\text{Co}^{60}$  с мощностями доз до 800 рад/сек и ускоренных электронов с мощностями доз до 1,5 Mrad/сек.

Физико-химический институт  
им. Л. Я. Карпова

Поступила в редакцию  
25 IX 1964

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Чарльзби, Ядерные излучения и полимеры, Изд. ин. лит., 1962.
2. Ф. Бовей, Действие ионизирующих излучений на природные и синтетические полимеры. Изд. ин. лит., 1959.
3. М. А. Мокульский, Ю. С. Лазуркин, М. Б. Фивейский, В. И. Козин, Докл. АН СССР, 125, 1007, 1959.
4. М. А. Мокульский, Ю. С. Лазуркин, М. Б. Фивейский, В. И. Козин, Высокомолек. соед., 2, 103, 1960.
5. М. А. Мокульский, Ю. С. Лазуркин, М. Б. Фивейский, Высокомолек. соед., 2, 110, 1960.
6. М. А. Мокульский, Высокомолек. соед., 2, 119, 1960.
7. А. М. Турчин, Электрические измерения неэлектрических величин, Госэнергоиздат, М., 1959.
8. С. П. Тимошенко, Колебания в инженерном деле, М., 1959.
9. Энциклопедический справочник машиностроения, т. 4, М., 1947 г.

---

DYNAMIC DETERMINATION OF THE ELASTICITY CONSTANTS  
OF POLYMERIC MATERIALS IN THE FIELD OF ACTION OF  $\gamma$ -RAYS  
AND FAST ELECTRONS

*A. I. Kurilenko, O. F. Tatarenko, V. L. Karpov*

#### Summary

The effect of ionizing radiation on the dynamic elasticity constants of hardened polyesters, polymethylmethacrylate and polyvinylchloride at room temperature has been investigated. In a field of  $\text{Co}^{60}$   $\gamma$ -rays for a dose rate of up to 800 rad/sec and in a field of accelerated electrons at dose rates up to 1,5 Mrad/sec no reversible changes in the shear modulus and the elasticity of the polymeric materials have been revealed.