

К ВОПРОСУ О СРАВНЕНИИ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРОВ,  
ОПРЕДЕЛЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ ПРИБОРАМИ

Г. Л. Слонимский, В. А. Ершова

При обычной оценке механических свойств полимеров часто получаются противоречащие друг другу данные. Возникновение противоречий обусловлено самой природой полимерных материалов, обладающих исключительно развитым комплексом релаксационных явлений [1—5]. Однако этот комплекс, в настоящее время уже всем известный, все еще плохо учитывается. До сих пор не обращается должного внимания на то, что динамометры различных конструкций не обеспечивают одинаковый режим деформации даже в тех случаях, когда скорости опускания их нижних зажимов строго одинаковы. Совершенно естественно, что различие режимов деформации при наличии релаксации приводит к расхождению результатов измерений. Поэтому в качестве примера мы сравнили режимы работы динамометров Поляни и Шоппера [6] (ФМ-3) в целях выяснения связи между результатами испытаний на этих приборах. В качестве объекта исследования был взят технический капрон.

1. Фактическая скорость деформации растяжения  $d\varepsilon/dt = (1/l_0)(dl/dt)$ , где  $l$  — длина образца в момент времени  $t$  ( $l_0$  — начальная длина образца), не определяется скоростью движения нижнего зажима динамометра, так как фактическое удлинение образца  $dl$  зависит не только от перемещения нижнего зажима, но и от перемещения верхнего зажима. Последнее определяется силой, возникающей в образце при растяжении, и жесткостью конструкции динамометра.

Действительно, прогиб пружины на динамометре Поляни, равный опусканию висящего на ней верхнего зажима, полностью определяется величиной действующей на нее силы и жесткостью пружины. Соответственно, наклон маятника, на котором висит верхний зажим в динамометре ФМ-3, зависит только от силы, действующей на маятник, веса маятника и расположения точки опоры маятника относительно его центра тяжести.

Ясно, что чем жестче конструкция динамометра, тем ближе будет значение скорости растяжения образца  $dl/dt$  к скорости движения нижнего зажима  $v = dx/dt$ . Однако при этом резко снижается чувствительность динамометра, что кладет предел повышению его жесткости.

Из изложенного следует, что при  $v = \text{const}$  скорости деформаций будут определяться при выбранных жесткостях конструкций динамометров зависимостью напряжения от деформации. Поскольку последняя имеет для полимеров весьма разнообразный характер, то ясно, что природа самого полимера оказывает прямое влияние на режим деформации.

2. Рассмотрим в качестве примера деформацию кристаллического полимера. Как известно, схематическая зависимость условного напряжения от деформации имеет в этом случае форму ломаной кривой (рис. 1), состоящей из трех прямых отрезков, из которых средний — горизонтальный [7]. На первом участке (I) условное напряжение <sup>1</sup> резко

<sup>1</sup> Условным напряжением называется отношение силы к площади поперечного сечения, которую оно имело до начала деформации.

возрастает с деформацией (практически пропорционально), на втором (2) — постоянно, а на третьем (3) вновь пропорционально деформации, но с меньшим коэффициентом пропорциональности.

В соответствии с этим на участке 1 кривой перемещение  $y$  верхнего зажима прямо пропорциональное действующей силе, т. е. условному напряжению  $\sigma$ , умноженному на площадь поперечного сечения образца  $S$ , будет также прямо пропорционально деформации, т. е.:

$$y = k \sigma S = k E S \epsilon,$$

где  $k$  — постоянная, зависящая от конструкции динамометра;  $E$  — модуль упругости образца на участке 1.

Поскольку удлинение образца равно разности перемещений нижнего и верхнего зажимов, т. е.  $x - y$ , то  $\epsilon = (x - y)/l_0$  и  $y = k E S (x - y)/l_0$ .

Отсюда имеем:

$$y = \frac{k E S x}{(l_0 + k E S)} = \frac{k E S / l_0}{1 + k(E S / l_0)} x.$$

Следовательно:

$$\frac{d\epsilon}{dt} = \frac{1}{l_0} \frac{d(x - y)}{dt} = \frac{C}{l_0} \frac{dx}{dt} = C \frac{d\epsilon}{dt},$$

где

$$C = 1 - \frac{k E S}{l_0 + k E S} = 1 - \frac{k \cdot (E S / l_0)}{1 + k (E S / l_0)}$$

и

$$\epsilon = \frac{1}{l_0} \frac{dx}{dt}$$

Рис. 1. Схематический график зависимости «условное напряжение — относительное удлинение» для кристаллических полимеров

— относительная скорость перемещения нижнего зажима. Заметим, что  $k$  численно равно перемещению  $y$  верхнего зажима динамометра при действии силы  $F = \sigma S$ , равной единице. Поскольку жесткостью называется отношение силы к перемещению, то  $1/k = x$  есть жесткость динамометра.

С другой стороны, так как сила  $F$ , равная  $\sigma S$ , вызывает растяжение образца  $x - y$ , то жесткость образца  $\chi$  равна:

$$\chi = \frac{F}{x - y} = \frac{E S}{l_0}.$$

Следовательно, постоянная  $C$  может быть выражена через жесткость динамометра и образца:

$$C = 1 - \frac{\chi / x}{1 + \chi / x} = \frac{x}{x + \chi}.$$

Если  $x \gg \chi$  (динамометр намного жестче образца), то  $C \approx 1$  и  $d\epsilon/dt \approx d\epsilon/dt$ .

Если  $x \ll \chi$ , то  $C \ll 1$  и  $d\epsilon/dt \ll d\epsilon/dt$ . Таким образом, для очень жестких образцов скорость деформации  $d\epsilon/dt$  может значительно отличаться от величины  $d\epsilon/dt$ , в ряде случаев некритически принимаемой за скорость деформации.

На участке 2 кривой положение верхнего зажима неизменно и, следовательно,  $d\epsilon/dt = d\epsilon/dt$ .

На участке 3 кривой картина совершенно аналогична положению на участке 1 и можно производить расчет по вышеприведенным формулам с учетом, что модуль упругости образца имеет другое значение и смещение верхнего зажима следует отсчитывать от его положения на участке 2<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Кроме того, на участке 3, вследствие значительных величин сил, может нарушиться пропорциональность между смещением верхнего зажима и действующей на него силой. Последнее должно быть специальным проверено путем измерения смещений зажима при соответствующих нагрузках на него.

На основании изложенного, определив жесткость динамометра, можно при помощи кривой «условное напряжение — деформация» рассчитать в первом приближении режим растяжения образца заданного сечения. Поэтому ясно, что на динамометрах различных жесткостей скорости деформации будут разными, несмотря на одинаковые скорости опускания нижних зажимов.

3. В качестве иллюстрации приведем результаты измерений на двух различных динамометрах. Динамометр Поляни устроен так, что сила, растягивающая образец, действует на прогибающуюся пластинчатую пружину, прогиб которой является мерой величины силы. Выбор жесткости пружины определяется максимальным значением растягивающей образец силы, а также точностью измерения прогиба пружины. Практически в существующих конструкциях этот прогиб является заметной величиной по сравнению с величинами растяжений. Это обстоятельство приводит обычно к упомянутому выше различию между скоростью движения нижнего зажима и скоростью удлинения образца. Динамометр Шоппера (ФМ-3) измеряет величины силы при помощи поворота маятникового рычага, вследствие чего происходит значительное опускание верхнего зажима и, следовательно, также возникает расхождение скоростей движения нижнего зажима и удлинения образца.

Таким образом, можно ожидать, что различие конструкций должно приводить к расхождению режимов деформации при одинаковых скоростях движения нижних зажимов и равных зажимных длинах образцов. Для более яркой иллюстрации этого мы выбрали скорости движения нижних зажимов, различающиеся примерно в 10 раз (0,089 мм/сек для динамометра Поляни и 0,83 мм/сек для ФМ-3) при зажимных длинах, равных 10 м.м.

Результаты измерений растяжения пленок капрона на этих динамометрах представлены на рис. 2.

#### Сравнение результатов измерений

Тип динамометра	Относительная скорость движения нижнего зажима		Фактическая скорость деформации растяжения (%) на различных стадиях процесса растяжения		
	в 1/сек.	(%)/сек.	1	2	3
Поляни	0,0089	0,89	0,7	0,89	~0,89
ФМ-3	0,083	8,3	0,5	8,3	5,6

Учет прогиба пружины и перемещения маятникового рычага показали существенное различие между действительной скоростью удлинения и скоростью движения нижних зажимов (см. таблицу). Как видно из таблицы, динамометр Поляни обеспечил в рассматриваемом случае значительно меньшие колебания скорости деформации, чем прибор ФМ-3. Кро-

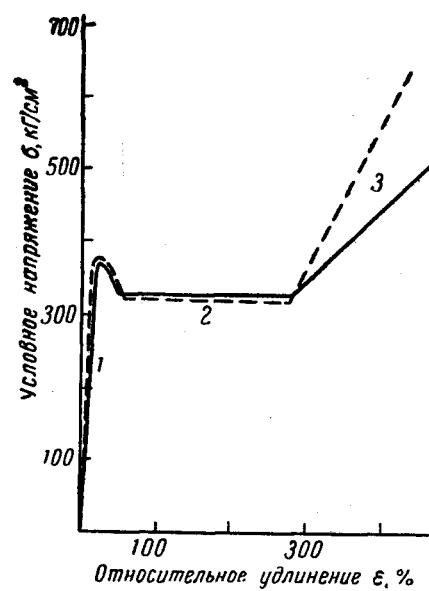


Рис. 2. Графики зависимости «условное напряжение — относительное удлинение» для пленок из капрона при 20°. Пунктирная кривая — динамометр Поляни, — сплошная — динамометр Шоппера

ме того, интересно, что на участке 1 растяжения более тихоходный прибор (Поляни) обеспечил большую скорость деформации, чем прибор ФМ-З, зажим которого опускался почти в 10 раз быстрее.

Данные таблицы ясно показывают значение жесткости динамометра для создания того или иного режима деформации. Однако весьма интересно и сравнение кривых на рис. 2. Оказалось, что в этом диапазоне режимов результаты растяжения на участках 1 и 2 не зависят от скоростей растяжения, но зато появляется четкое различие процессов растяжения на участке 3. Это, несомненно, связано с релаксационными процессами развития ориентации и, возможно, с дополнительной кристаллизацией при значительных напряжениях растяжения.

### Выводы

Проведенный анализ работы двух типов динамометров, имеющий иллюстративный характер, ясно показал влияние жесткости конструкции и свойств измеряемого образца на создание режима деформации при растяжении с постоянной скоростью перемещения зажима. Вызванное этими факторами изменение режима деформации может привести к изменению измеряемой зависимости условного напряжения от деформации вследствие влияния релаксационных явлений.

Правильная оценка режима деформации дает возможность избежать грубых ошибок и изучать релаксационные процессы в полимерах путем строго проведенного сравнения результатов измерений на разных приборах.

Институт элементоорганических  
соединений АН СССР

Поступила в редакцию  
11 II 1960

### ЛИТЕРАТУРА

1. П. П. Кобеко, Аморфные вещества, Изд. АН СССР, М.—Л., 1952.
2. П. П. Кобеко, Е. В. Кувшинский, Г. И. Гуревич, Изв. АН СССР, серия физич., 6, 329, 1937.
3. А. П. Александров, Ю. С. Лазуркин, Ж. техн. физики, 9, 1249, 1939.
4. Г. И. Гуревич, П. П. Кобеко, Ж. техн. физики, 9, 1267, 1939.
5. Г. Л. Слонимский, Ж. техн. физики, 9, 1791, 1939.
6. Г. Ш. Израэлит, Механические испытания резины и каучука, Госхимиздат, Л.—М., 1949, стр. 127 и 134.
7. В. А. Каргин, Т. И. Соголова, Докл. АН СССР, 88, 867, 1953.

### COMPARISON OF POLYMER CHARACTERISTICS MEASURED WITH THE AID OF DIFFERENT INSTRUMENTS

G. L. Slonimskii, V. A. Ershova

#### S u m m a r y

An illustrative analysis of the operation of two types of dynamometers clearly showed the influence of the rigidity of their construction and the influence of the properties of the specimen undergoing measurement on the establishment of strain conditions during stretching at constant rate of motion of the clamp. The different strain conditions caused by this factor may lead to differences in the dependence between the conditional stress and the strain, owing to relaxation phenomena.