

**КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ДЕФОРМИРУЕМОСТИ
ЗАСТЕКЛОВАННЫХ ПОЛИМЕРОВ**

E. E. Глухов

В физико-химической механике, развивающейся Ребиндером [1], деформационным свойствам тел придается первостепенное значение. Синтезированию прочностных и деформационных свойств должны быть подчинены многие области науки и техники, а для этого необходимо в первую очередь иметь возможность количественно оценивать эти свойства.

Из работ Ребиндера [2, 3] вытекает, что для изучения деформационных свойств и их взаимосвязи со структурой, наиболее плодотворны испытания в условиях однородного чистого сдвига при постоянном напряжении. Для текущих тел такие испытания успешно проводятся деформированием в зазоре между двумя коаксиальными цилиндрами, а для высоковязких тел — между плоскими параллельными пластинами. В твердых телах однородный чистый сдвиг удобнее всего осуществлять кручением тонкостенной трубы.

Нами разработан прибор для испытания пластиков методом кручения тонкостенной трубы, названный сдвигометром.

Образец из испытываемого материала формуется в виде трубы 1 (рис. 1) между двумя стальными кольцами 2. Последние имеют с одной стороны мелкие зубцы, которыми они впрессовываются в испытываемый материал. С противоположных сторон кольца расположены пазы, при помощи которых образец закрепляется на приборе. Образцы изготавливают прессованием в специальной прессформе, снабженной нагревательным и охлаждающим устройствами. При испытании такого образца форма и размеры его не изменяются. Этим обеспечивается постоянство напряжения в материале образца, если крутящий момент, приложенный к нему, постоянен.

На рис. 1 представлена принципиальная схема сдвигометра. Образец устанавливается внутри термостата 3 так, что правое кольцо 2 сцепляется с оправкой 4, края которой входят в прорези корпуса термостата, предотвращая поворачивание ее при нагружении образца. Левое кольцо 2 сцепляется с валом 5, на котором создается крутящий момент при помощи груза 6 и системы колес, связанных гибкими звенями. При деформировании образца одновременно с грузом 6 опускается каретка с пером 7, прочерчивая линию на барабане 8, приводимом во вращение синхронным электродвигателем 9. В результате испытания записываются кривые деформации — время при постоянном напряжении сдвига и после снятия нагрузки (рис. 2).

На сдвигомете были исследованы фторопласт при температурах 22 и 125° и полистилен при температуре 22°.

Во всех случаях получались кривые, аналогичные полученным Ребиндером с сотрудниками [2, 3] для структурированных растворов и полимеров в высокоэластическом состоянии, описываемых соответствующими уравнениями. Разница заключалась в том, что в наших опытах, вслед-

ствие малой подвижности частей молекул, не удавалось даже за несколько суток достичь полного развития эластической деформации, а остаточные деформации были малы и недоступны измерению. Наблюдаемые квази-

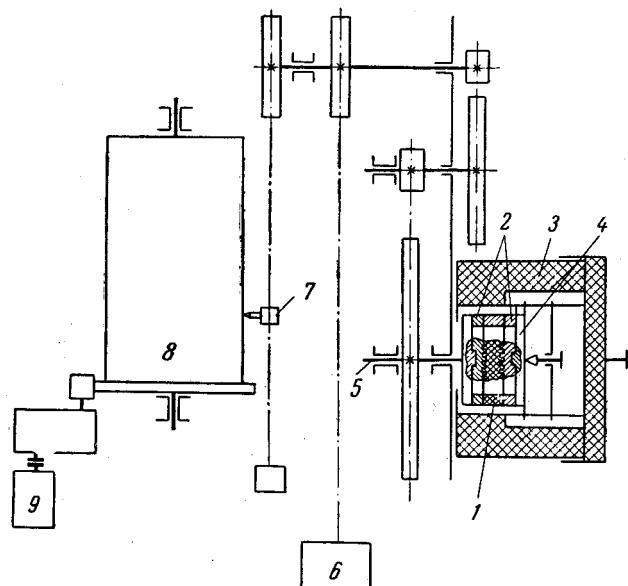


Рис. 1. Принципиальная схема сдвигомера

остаточные деформации представляли собой в действительности «замороженную» эластическую деформацию, о чем свидетельствовало полное восстановление формы образца при нагревании в разгруженном состоянии.

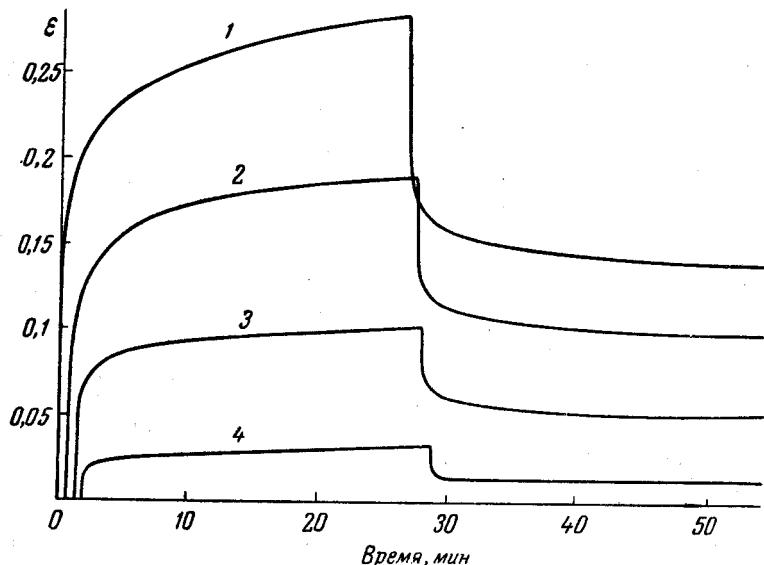


Рис. 2. Кривые, записанные на сдвигомере для фторопласта

1 — $\sigma = 62,5$; 2 — $\sigma = 57,5$; 3 — $\sigma = 50,0$; 4 — $\sigma = 25,0 \text{ кг см}^2$

Малая подвижность молекул влияет на всей длине записываемых кривых и заставляет ввести другое, более точное для этих условий, уравнение кривой деформация (ϵ) — время (τ).

Кобеко, Кувшинский и Гуревич [4, 5] строили графики зависимости ε от $\ln \tau$ для резины, эбонита, фенолфталеина и канифоли при температурах, близких к температурам стеклования — T_c . Для всех исследованных ими материалов при температурах ниже T_c получены прямые линии, угол наклона которых уменьшается с понижением температуры. Начальный участок кривой ползучести металлов тоже изображается прямой в координатах $\varepsilon - \ln \tau$ [6].

Полученные нами кривые для фторопласта и полиэтилена тоже хорошо укладываются на прямые в координатах $\varepsilon - \ln \tau$. Таким образом, кривые деформация — время для застеклованных тел следует описывать логарифмическим уравнением, которое должно иметь следующий вид, если учитывать начальные условия ($\varepsilon = 0$ при $\tau = 0$)

$$\varepsilon = \varepsilon_e \cdot \ln \frac{\tau + \tau_0}{\tau_0}, \quad (1)$$

где ε_e и τ_0 — постоянные величины, легко рассчитываемые по двум точкам кривой и характеризующие деформационные свойства испытанного

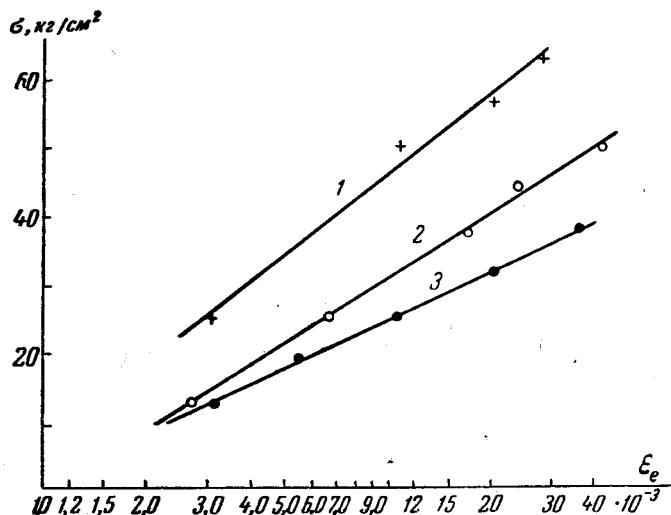


Рис. 3. Зависимость коэффициента деформации от напряжения:
1 — фторопласт, $t = 22^\circ$; 2 — полиэтилен, $t = 22^\circ$; 3 — фторопласт, $t = 125^\circ$

материала в застеклованном состоянии при данных напряжении и температуре, так как по ним можно вычислить деформацию за любой промежуток времени. Если уравнение (1) написать в виде

$$\varepsilon = \varepsilon_e \cdot \ln (\tau + \tau_0) - \varepsilon_e \ln \tau_0, \quad (2)$$

то при $\tau = (1 - \tau_0)$ сек. (τ_0 обычно значительно меньше единицы, поэтому $\tau = 1 - \tau_0$ близко к единице, а второй член правой части уравнения положителен), первое слагаемое правой части обращается в нуль, а второе слагаемое, являющееся постоянной величиной, представит собой условно-мгновенную деформацию Ребиндера [2], состоящую из упругой (гуковской) и быстро развивающейся эластической деформации.

Если условно-мгновенную деформацию определять при $\tau = \tau_0$, то она из уравнения (2) будет равна $\varepsilon_e \cdot \ln 2$, что является большим удобством при вычислении этой величины, так как по кривой очень трудно отсчитать деформацию при $\tau = 1$ сек., а коэффициент деформации ε_e и величина τ_0 рассчитываются по любым двум точкам кривой. Таким обра-

зом, коэффициент деформации ϵ_e пропорционален условно-мгновенной деформации, а τ_0 — начало отсчета эластической деформации.

В результате испытаний фторопласта и полиэтилена при различных напряжениях выявлена зависимость коэффициента деформации ϵ_e от напряжения σ . Функция $\sigma = f(\ln \epsilon_e)$ является линейной (рис. 3) в области напряжений, представляющих практический интерес; это дает основание, учитывая начальные условия ($\epsilon_e = 0$ при $\sigma = 0$), написать

$$\sigma = \sigma_e \ln \frac{\epsilon_e + \epsilon_0}{\epsilon_0}, \quad (3)$$

где σ_0 — постоянная величина (коэффициент жесткости), численно равная приросту напряжения, обеспечивающему увеличение коэффициента деформации в e раз, зависящая уже только от температуры, а ϵ_0 — начальный коэффициент деформации, соответствующий напряжению $\sigma = \sigma_e \cdot \ln 2$.

Величины σ_e и ϵ_0 постоянны для заданной температуры и вычисляются по результатам испытаний при двух различных напряжениях. Эти

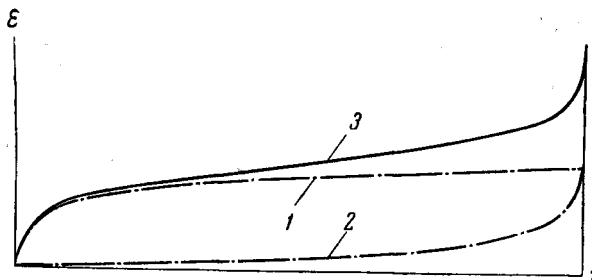


Рис. 4. Суммарная кривая деформаций:
1 — упрочнения, 2 — разрушения, 3 — кривая, полученная сложением ординат первых двух кривых

величины характеризуют деформационные свойства материала при различных напряжениях: зная их, можно найти коэффициент деформации для любого напряжения.

Исследования оказались недостаточными для установления зависимости постоянной уравнения деформаций τ от напряжения. Усиление напряжения может дать как увеличение, так и уменьшение τ, что указывает на наличие других, не выявленных факторов, сильно влияющих на τ. Это подтверждается и чрезвычайной чувствительностью τ к предыстории образца и к температуре испытания. Испытания на сдвигомере в широком интервале температур дают возможность определить температурную зависимость σ_e , ϵ_0 и τ. Решение этого вопроса имеет большое практическое значение. В этом случае за короткое время при повышенных температурах можно будет количественно оценивать деформацию материала под нагрузкой в условиях эксплуатации без длительных испытаний на ползучесть. Большой интерес представляет рассмотрение приведенных выше уравнений, описывающих деформации упрочнения, совместно с развитием деформаций разрушения при постоянном напряжении. Кривые роста длины трещины во времени при постоянном напряжении, построенные Журковым [7], представляются в виде кривых деформаций упрочнения, повернутых в плоскости чертежа на 180°. В испытуемом образце протекают одновременно процессы упрочнения и разрушения, из чего складывается деформация образца. Деформация разрушения мала вначале опыта, а упрочнения — мала по сравнению с первой в конце опыта (если образец доводится до разрушения). Это дает возможность наблюдать оба вида деформаций.

На рис. 4 представлена суммарная кривая деформаций упрочнения и разрушения. Кривая упрочнения построена по уравнению (1), а для деформации разрушения принята повернутая кривая упрочнения. При сравнении кривой на рис. 4 с экспериментальными кривыми ползучести, доведенными до разрушения, отмечаем их полное сходство. Таким образом, представление о двойственности процесса ползучести, введенное Одингом [8, 9], может рассматриваться как результат процессов упрочнения и разрушения, что полностью согласуется с времененной зависимостью прочности Журкова [10, 11]. Такое представление о процессах деформирования исключает условное деление кривой ползучести на три участка (деформация с замедлением, деформация с постоянной скоростью и деформация с ускорением) и позволяет количественно связать деформационные свойства с прочностными.

Выводы

1. Разработан прибор, названный сдвигомером, для испытания пластиков в условиях чистого сдвига с автоматической записью кривых «деформация — время» при действии нагрузки и после снятия нагрузки.

2. В результате проведенных на приборе исследований установлено, что для фторопласта-4 и полиэтилена кривые «деформация — время» хорошо описываются логарифмическим уравнением (1), которое, согласно работам других авторов, справедливо для начальной стадии ползучести различных материалов как аморфных, так и поликристаллических.

3. Путем испытаний при различных напряжениях установлена зависимость коэффициента уравнения (1) от напряжения. Эта зависимость выражается также логарифмическим уравнением (3), аналогичным уравнению (1).

4. Постоянные величины, входящие в уравнения (1) и (3), могут быть применены для оценки деформационных свойств. Зная эти величины, можно вычислить деформацию за любой промежуток времени, для любого напряжения при данной температуре.

5. Показана целесообразность проведения исследований на сдвигомере в широком интервале температур с целью установления температурных закономерностей.

6. Рассмотрен двойственный характер процесса деформирования. Отмечена возможность установления количественной связи процесса деформирования материала с временной зависимостью прочности.

Научно-исследовательский и проектный
институт пластических масс

Поступила в редакцию
22 VI 1958

ЛИТЕРАТУРА

- П. А. Ребиндер, Вестн. АН СССР, 115, 1957.
- П. А. Ребиндер, Тр. Ин-та физ. химии, Изд. АН СССР, 1, 5, 1950.
- П. А. Ребиндер, Л. В. Иванова-Чумакова, Усп. химии и техн. полимеров, сб. 2, Госхимиздат, М., 1957, стр. 146.
- П. П. Кобеко, Аморфные вещества, Изд. АН СССР, М., 1952, стр. 135.
- П. П. Кобеко, Е. В. Кувшинский, Г. И. Гуревич, Изв. АН СССР, сер. физ., 1937, 329.
- S. H. Weaverg Transactions, ASME, 58, 1936.
- С. Н. Журков, Э. Е. Томашевский, Ж. техн. физ., 27, 2248, 1957.
- И. А. Одинг, Металлург, № 4, 7, 1934.
- И. А. Одинг, Изв. АН СССР, Отд. техн. н., 1948, 561.
- С. Н. Журков, Т. П. Санфирова, Докл. АН СССР, 101, 237, 1955.
- С. Н. Журков, Б. Н. Нарзулев, Ж. техн. физ., 23, 1677, 1953.

QUANTITATIVE EVALUATION OF THE DEFORMABILITY OF VITRIFIED HIGH POLYMERS***E. E. Glukhov*****S u m m a r y**

In the paper an apparatus has been described for testing plastics under pure shear conditions, with automatic recording of the strain-time curves under load and after removal of the latter. A mathematical treatment of the test results has been proposed enabling one to calculate from the experimental data the deformation for any time interval at any stress. The dual character of the deformation process, wherein under the influence of stress deformations take place leading simultaneously to a strengthening and to a break down of the material, has been examined.