

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЧНОСТИ ПОЛИМЕРОВ
ПРИ БОЛЬШИХ СКОРОСТЯХ ДЕФОРМАЦИИ**

В. Е. Гуль, В. В. Коврига, Е. Г. Еремина

Если полимер не находится в хрупком состоянии, то в процессе деформации имеет место существенное изменение структуры, так что структура разрушающегося полимерного материала отличается от структуры исходного материала. При изменении условий физико-механических испытаний полимерных материалов в последних могут происходить определенные изменения структуры, образовавшейся к моменту разделения образца на части. Эти изменения вызывают отклонения от закономерностей прочности, установленных для твердых тел. Отклонения имеют место не потому, что такие материалы по существу не подчиняются этим закономерностям, а потому, что для проявления общих закономерностей прочности в этих материалах требуется соблюдение определенных условий, препятствующих изменению структуры материала в процессе деформации.

До сих пор исследования свойств полимерных материалов редко проводились при больших скоростях деформации, хотя показано, что при этом можно ожидать изменения свойств материалов, приводящих к аномальным закономерностям, аналогичным тем, которые наблюдаются при низких температурах [1]. Следует подчеркнуть, что во многих случаях эксплуатация изделий из полимерных материалов происходит при больших скоростях и в широком диапазоне температур.

В настоящей работе предпринята попытка исследовать физико-механические свойства полимерных материалов в тех условиях, где можно ожидать проявления аномальных зависимостей.

Исследование проводилось на сконструированном для этих целей скоростном динамометре с использованием уменьшенных образцов в форме двойной лопаточки. Динамометр позволяет производить испытания при скоростях деформации от 470 000 до 2 700 000 $\text{мм}/\text{мин}$. Для обеспечения работы в широком температурном интервале он был снабжен термостатом, который работает при низких температурах на жидким азоте, а при высоких температурах — на силиконовом масле. Тензометрическая система записи кривых «сила — время» позволила регистрировать импульсы с частотой до 1,0—1,2 кгц . Запись кривых производилась на шлейфовом осциллографе МПО-2. Полученные кривые «усиление — время» перестраивались затем в кривые «напряжение — деформация».

С помощью описанной методики были исследованы характеристики от -20° до $+100^\circ$ при трех скоростях деформации. Были исследованы прочности ненаполненных вулканизатов СКН-26 в интервале температур также полиэтилен с мол. в. 18 000—25 000, уд. в. 0.922, «пределом прочности» при разрыве 120÷150 $\text{kГ}/\text{см}^2$ и относительным удлинением при разрыве 400÷600% и полiamид, представлявший собой поликарбонат с содержанием 14÷20% низкомолекулярной фракции. Оба полимера исследовались при четырех скоростях деформации.

При проведении опытов усреднялись результаты 20÷25 испытаний. Из полученной кривой напряжение — деформация определялись следующие показатели: 1) разрушающее напряжение; 2) относительное удлинение

ние при разрыве; 3) время разрушения (отличающееся от долговечности тем, что напряжение в процессе разрушения не сохранялось постоянным) и 4) работа деформации всего образца до его разрушения (определялась по площади под кривой сила — удлинение).

Полученные при помощи этой методики данные представлены на рис. 1, 2, 3. Кроме того, следует отметить, что полученные для вулканизатов

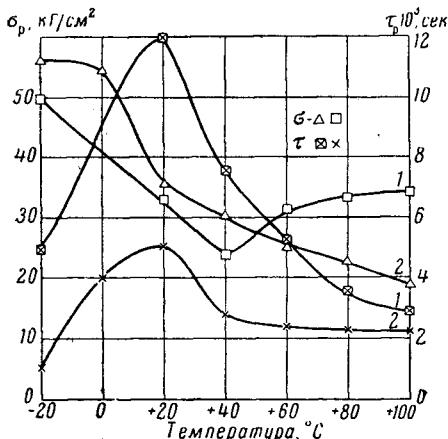


Рис. 1. Зависимость разрушающего напряжения σ_p при разрыве и времени разрушения вулканизата СКН-26 от температуры.

Скорости деформации, мм/мин: 1 — 470 000; 2 — 1 700 000

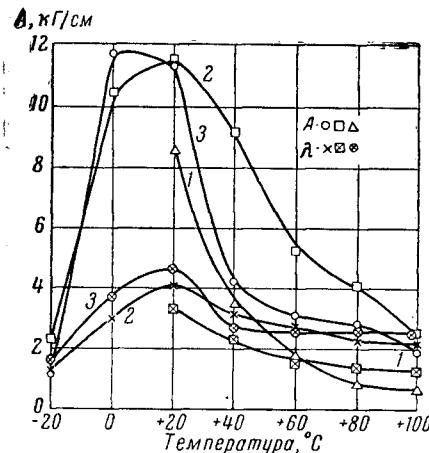


Рис. 2. Зависимость степени удлинения ($\lambda = l/l_0$) и работы деформации до разрыва (A) от температуры для вулканизата СКН-26.

Скорости деформации, мм/мин: 1 — 470 000; 2 — 854 000; 3 — 1 700 000

СКН-26 кривые зависимости усилие — деформация (на рисунках не приведены), имеют S-образную форму. С ростом скорости деформации (от 470 000 до 2 700 000 мм/мин) восходящая ветвь кривой принимает линейный характер. С повышением температуры кривые становятся более крутыми, постепенно теряется, а при 60° почти совсем исчезает S-образный ход кривых. С понижением температуры испытания при скоростях 954 000 мм/мин (2-я скорость) и 1 700 000 мм/мин (3-я скорость) разрушающее напряжение растет. При скорости 470 000 мм/мин (1-я скорость) разрушающее напряжение изменяется, достигая минимума, и затем снова возрастая (рис. 1). Сравнивая между собой эти кривые, можно сказать, что с повышением скорости деформации кривые сдвигаются в сторону более высоких температур. Немонотонно изменяется также время разрушения образца, которое растет в пределах температуры от -20 до +20° и затем уменьшается от +20 до +100°. С увеличением скорости деформации время разрушения значительно сокращается. Аналогичная зависимость от температуры проявляется и у относительного удлинения, для которого при температуре 0° (рис. 2) наблюдается максимальное значение.

Немонотонное изменение разрушающего напряжения относительного удлинения и времени разрушения вызывает немонотонное изменение такой характеристики, как работа деформации до разрушения.

На рис. 2 видно, что изменение величины работы деформации характеризуется также немонотонной зависимостью, имеющей максимальные значения в области 0—20° и наименьшие значения приблизительно при температурах -20° и +100° (при данных скоростях деформации).

Для определения, является ли работа при температуре -20° минимальной, были проведены испытания образцов при температуре -30°. При

этом все образцы обнаружили хрупкое разрушение, которое характеризуется увеличением прочности с понижением температуры.

Исследование условий, при которых работа деформации до разрушения приобретает минимальное значение, имеет большое практическое значение, так как позволяет осуществлять рациональные способы измельчения

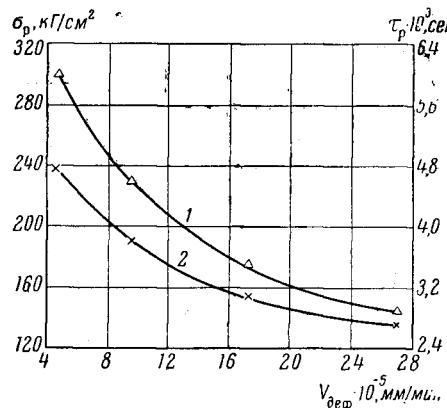


Рис. 3. Зависимость характеристик прочности полиэтилена от скорости деформации при температуре 18°:

1 — разрушающее напряжение при разрыве;
2 — время разрушения

например σ_p/σ'_p , а при другой температуре — обратное соотношение. Поэтому разрушающее напряжение при разрыве, работа деформации и относительное удлинение при разрыве не являются в этом смысле однозначными характеристиками материала. Максимум температурной зависимости прочностных свойств всегда соответствует каким-то определенным условиям деформации материала.

Сравнение характеристик прочности полиэтилена, полиамида и вулканизата СКН-26 при 18°

Скорость деформации, мм/мин	Полимер	Характеристики прочности			
		разрушающее напряжение, кг/см^2	относительное удлинение	время разрушения, сек	σ_p/τ_p
954 000	Полиэтилен	230,0	2,0	0,0038	$2,8 \cdot 10^4$
	Полиамид	260,0	2,0	0,0026	$4,0 \cdot 10^4$
	Вулканизат СКН-26	43,0	4,0	0,0070	$3,0 \cdot 10^2$
1 700 000	Полиэтилен	174,0	3,0	0,0031	$2,7 \cdot 10^4$
	Полиамид	174,0	2,0	0,0019	$4,1 \cdot 10^4$
	Вулканизат СКН-26	44,0	4,6	0,005	$4,0 \cdot 10^3$

При исследовании свойств полиэтилена (рис. 3) показано, что с увеличением скорости деформации от 470 000 до 2 700 000 мм/мин разрушающее напряжение и время разрушения уменьшаются, растет относительное удлинение. Наличие в некоторых случаях корреляции между изменением разрушающего напряжения и временем разрушения дало основание попытаться проследить поведение отношения среднего напряжения за период нагружения ($\sigma_{\text{ср}}$) ко времени пребывания в напряженном состоянии или времени разрушения (τ_p) в широком диапазоне скоростей или температур. Этот показатель был определен для вулканизатов СКН-26, полиэтилена и полиамида. Для вулканизатов СКН-26 он колебался в пре-

делах $(3 \div 6)10^3$ в интервале температур от -20° до $+100^\circ$ для всех скоростей деформации. Для полиэтилена он был равен $(2,7 \pm 0,1)10^4$, для полиамида $(4,0 \pm 0,1)10^4$ при всех испытанных скоростях деформации.

Сравнительные характеристики трех полимеров приведены в таблице.

Выходы

1. При испытании полимерных материалов в условиях больших скоростей деформации в широком диапазоне температур выявлены аномальные отклонения от общих закономерностей прочности, наблюдающихся при обычных режимах испытания.

2. Разработана методика испытания полимерных материалов при больших скоростях деформации в широком диапазоне температур.

3. Обнаруженное ранее немонотонное изменение работы деформации до разрыва сохраняется при скоростях порядка $1,7 \cdot 10^6$ мм/мин, но кривая «работа деформации — температура» смещается в область более высоких температур.

4. При исследованных больших скоростях деформации различие в обычно определяемых характеристиках прочности полиэтилена и полиамида уменьшается. Вследствие пересечения кривых, изображающих зависимость характеристик прочности от температуры, сравнение полимерных материалов при разных температурах испытания может привести к противоположным результатам.

Московский институт тонкой
химической технологии им.
М. В. Ломоносова

Поступила в редакцию
7 IV 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Е. Гуль, Л. Н. Царский, С. А. Вильниц, Коллоидн. ж., 20, 318, 1958.

STRENGTH CHARACTERISTICS OF POLYMERS AT HIGH DEFORMATION RATES

V. E. Gut, V. V. Korriga, E. G. Eremin

S u m m a r y

A method for mechanical testing of polymers at high deformation rates, up to $2.7 \cdot 10^6$ mm/min and wide range of temperatures has been developed. The strength characteristics have been shown to change not monotonously with temperature. The anomalies in the correlation of the ordinary strength characteristics obtained under the above conditions may lead to non-unilateral results when these characteristics are employed for comparing polymers. The value of σ_m/τ_b where σ_m is the mean integral stress value and τ_b the breakdown time is practically constant under the conditions investigated in the case of polyethylene and polyamide and changes little in the case of SKN-26 vulcanizates.