

ность ППУ в течение 30 лет сохраняется на довольно высоком уровне, в то время как на более глубоких стадиях старения (до 60 лет)  $\sigma_c$  резко падает. Отмеченное более резкое падение  $\sigma_c$  в сравнении с  $\sigma_p$  на глубоких стадиях старения можно объяснить снижением вклада упругого действия газа в замкнутых ячейках при сжатии образцов из-за частичного разрушения тонких стенок ячеек ППУ. Действительно, коэффициент Пуассона легких ППУ при больших деформациях сжатия (соответствующих деформациям при  $\sigma_c$ ) имеет значение, близкое к нулевому, в то время как при деформациях растяжения он близок к 0,5 [4], что подтверждает слабое влияние изменения давления газа в ячейках на величину  $\sigma_p$  пенопласта.

Результаты испытаний в естественных условиях старения при 10-летнем хранении на глубине 1,2 м привели к следующим значениям  $\sigma_p$ : при старении в торфяно-болотистом грунте 0,24, песчаном 0,25, глинистом 0,27 МПа (исходная прочность  $\sigma_c=0,22$  МПа). Очевидно, что после 10 лет старения в грунте на всех полигонах  $\sigma_c$  у ППУ-17Н в пределах погрешности испытания сохранились на исходном уровне. При этом изменение объема образцов через 10 лет не превысило 1%, что также находилось в пределах погрешности измерения этого параметра.

На первый взгляд эти результаты противоречат данным по прогнозированию изменения прочности при сжатии на рис. 2. Однако при учете упомянутой выше поправки на изменение до 30% кажущейся плотности ППУ-17Н через 10 лет старения в свободном виде для прогнозной функции приведенная прочность также оказывается близкой к исходному значению. Следовательно, моделирование прогнозных функций позволяет прогнозировать изменение прочности ППУ при старении в грунте до 30–60 лет как в свободном виде, так и при сохранении у ППУ поверхностной технологической пленки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Карпухин О. Н. // Успехи химии. 1980. Т. 49. № 8. С. 1523.
2. Перепелкин К. Е. Самопроизвольное спонтанное ориентирование и удлинение химических волокон и пленок: Промышленность хим. волокон. Обзорная информация. М., 1980.
3. Цванкина А. Л., Дубовик И. И., Неверов А. Н., Папков В. С. // Высокомолек. соед. А. 1986. Т. 28. № 6. С. 1168.
4. Дементьев А. Г., Тараканов О. Г. Структура и свойства пенопластов. М., 1983. 172 с.
5. Симпозиум фирмы Байер по изоляции труб полиуретаном. Владимир, 1986. 185 с.
6. Дементьев А. Г., Невский Л. В., Гуров Е. А. // Пласт. массы. 1980. № 6. С. 29.
7. Дементьев А. Г., Тараканов О. Г. // Механика композитных материалов. 1982. № 3. С. 558.
8. Гойхман Б. Д., Смехунова Т. П. // Физ.-хим. механика материалов. 1977. № 1. С. 92.

Научно-производственное  
объединение «Полимерсинтез»

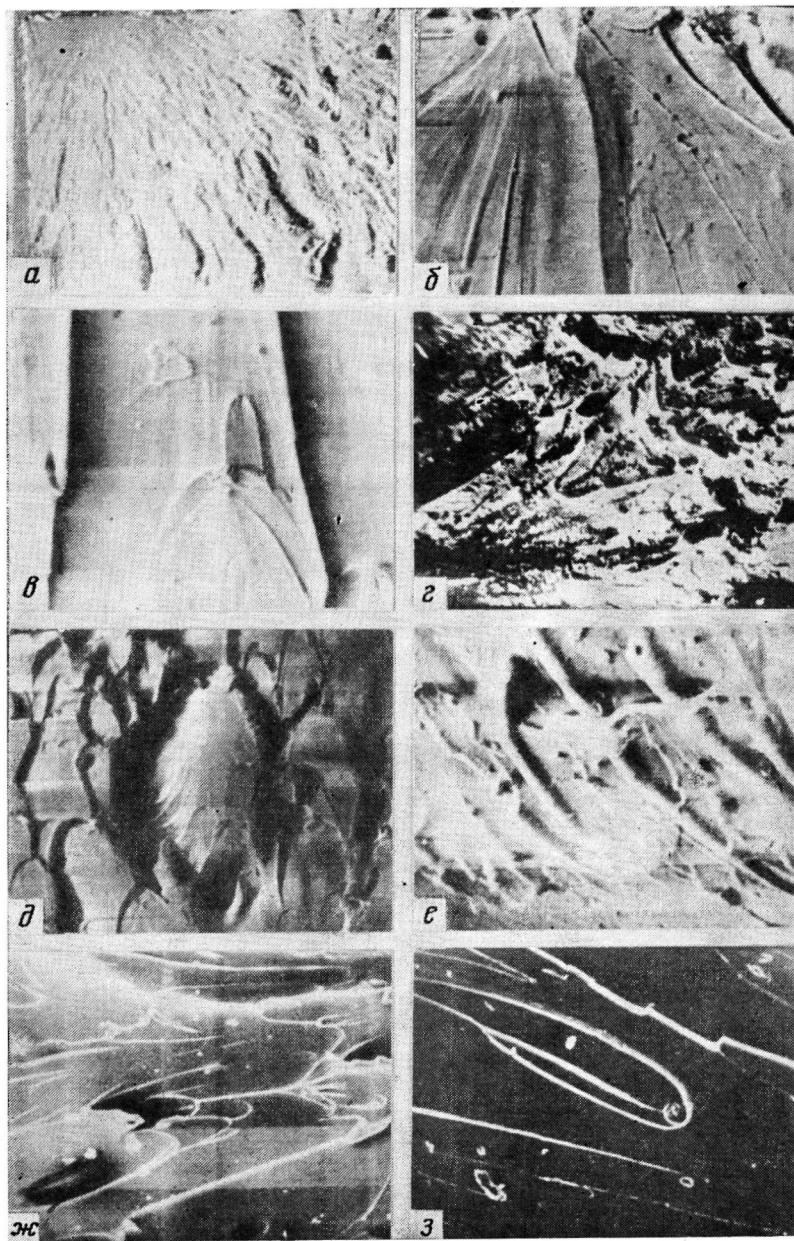
Поступила в редакцию  
1.XII.1986

УДК 541.64:539.3

#### ТОПОГРАФИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ ПОЛИАРИЛАТСУЛЬФОНА

Шогенов В. Н., Орсаева И. М., Козлов Г. В.,  
Микитаев А. К.

Процессы, происходящие при разрушении твердых тел, находят отражение во внешнем виде поверхности разрушения. Изучая поверхность, можно получить ценные данные, дополняющие теоретические исследования прочностных свойств материала, и высказать предположение о ме-



Электронные сканирующие микрофотографии поверхности разрушения полиарилатсульфона: *а* — общий вид поверхности разрушения ( $\times 20$ ); *б* — гладкая зона ( $\times 250$ ); *в* — гладкая зона ( $\times 600$ ); *г* — шероховатая область ( $\times 80$ ); *д* — шероховатая область ( $\times 340$ ); *е* — волокнистые образования в зоне сжатия ( $\times 200$ ); *ж* — параболические отметки ( $\times 170$ ); *з* — параболические отметки ( $\times 500$ )

низме его разрушения [1]. Топография разрушения гибкоцепных полимеров исследована достаточно полно, тогда как работы по этому вопросу для жесткоцепных термостойких полимеров практически нет [2]. Цель настоящей работы — исследование топографии разрушения образцов поливинилового поликонденсационного сополимера полиарилатсульфона (ПАСФ), разрушенных при ударных испытаниях.

Методика приготовления образцов и ударных испытаний ПАСФ приведена в работе [3], а методика его синтеза — в работе [4]. Ударные испытания выполнены при 295 К и скорости деформирования  $\sim 190 \text{ с}^{-1}$  (при расстоянии между опорами прибора 20 мм).

Поверхности разрушения ПАСФ исследовали в сканирующем электронном микроскопе модели МРЭМ-100. Для предотвращения зарядки исследуемой поверхности на нее наносили магнитронным распылением тонкий слой титана толщиной  $\sim 500 \text{ \AA}$ .

На рисунке, *a* представлен общий вид поверхности разрушения ПАСФ. Она состоит из двух основных участков: гладкой зоны у источника разрушения и грубой шероховатой поверхности, веерообразно расходящейся от гладкой зоны. Общий вид поверхности разрушения ПАСФ отличается от общего вида для гибкоцепных полимеров, у которых процесс разрушения связан с образованием крейзов [5]. Гладкая зона у источника разрушения ассоциируется с медленным нестабильным ростом трещины, а шероховатая поверхность — с ее быстрым нестабильным распространением [6]. Поскольку диаграммы нагрузка — время, полученные при ударных испытаниях ПАСФ, показали, что разрушение образцов происходит почти мгновенно, то есть основания предположить, что медленный нестабильный рост трещины происходит до начала разрушения на участке либо растущего, либо постоянного напряжения. Отметим, что топография разрушения ПАСФ находит в общих чертах топографию неорганических стекол [7], но поверхность разрушения гораздо более шероховатая, что говорит о более интенсивной деформации ПАСФ.

Все без исключения микрофотографии, приведенные на рисунке, показывают, что разрушение ПАСФ сопровождается интенсивной деформацией сдвига. На рисунке, *b* показана гладкая зона, на которой видны радиальные линии, свидетельствующие о дроблении фронта трещины в параллельных плоскостях [7, 8]. При еще большем увеличении (рисунок, *в*) видно, что края радиальных линий закруглены, что также обусловлено деформацией сдвига при повышенных температурах. На рисунках, *г* и *д* показана шероховатая область. Сильная шероховатость, вытянутые в направлении распространения трещины элементы поверхности разрушения и их закругленные края свидетельствуют о сильной деформации сдвига при повышенной локальной температуре. Типичная бороздчатая структура (рисунок, *д*) указывает на разрушение сдвигом [9]. И, наконец, в области сжатия хорошо видны волокнистые образования с утолщениями на концах, как бы приваренные к поверхности разрушения (рисунок, *е*). Подобные волокна наблюдались ранее при разрушении серии полисульфонов, поликарбоната и ПВХ и свидетельствуют об интенсивной вынужденно-эластической деформации на значительную глубину ниже поверхности разрушения, а внешний вид этих волокон говорит о значительном (предположительно до  $\sim 500 \text{ K}$ ) локальном повышении температуры в зоне разрушения [2]. Естественно, что локальное повышение температуры и локальные деформации сдвига в зоне разрушения тесно взаимосвязаны.

На рисунках, *ж* и *з* показаны примеры параболических отметок, наблюдавшихся на поверхности разрушения ПАСФ. В отличие от подобных отметок, часто наблюдавшихся в гибкоцепных полимерах [1], на поверхности разрушения ПАСФ эти отметки редки и расположены нерегулярно. Из рисунка, *ж* следует, что они являются фронтами вторичных трещин, наклоненных под углом к поверхности разрушения, а на рисунке, *з* показан дефект, находящийся в фокусе параболической отметки. Эти различия позволяют утверждать, что в ПАСФ параболические отметки образованы случайными дефектами (пылинками и т. д.), находящимися рядом с фронтом магистральной трещины, а не полостями крейза. Кроме того, из рисунка, *в* следует, что такие отметки могут выступать над поверхностью разрушения, что для полостей крейза, очевидно, невозможно. Волок-

на, показанные на рисунке, *e*, также нельзя рассматривать как фибрillы крейза, поскольку они обнаружены в зоне сжатия.

Таким образом, полученные результаты предполагают, что высокая пластиичность ПАСФ обусловлена, вероятно, интенсивными деформациями сдвига, чему способствует сильное локальное повышение температуры, а не образованием крейза. Это подтверждает ранее сделанные в работе [10] выводы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Уоллок Н., Ньюман С. // Разрушение твердых полимеров. М., 1971. С. 188.
2. Ting R. Y. // J. Mater Sci. 1981. V. 16. № 12. P. 3059.
3. Козлов Г. В., Шеготов Р. А., Микитаев А. К. Черкассы, 1986. 8 с.- Деп. в ВИНИТИ. № 914-ХП // РЖХим. 1986. № 1. 1C162.
4. Хараев А. М., Микитаев А. К., Шустов Г. Б., Дорофеев В. Т. // Тез. докл. конф. «Применение полимерных материалов в народном хозяйстве республики». Нальчик, 1983. С. 30.
5. Robinowitz S., Krause A. R., Beardmore P. // J. Mater. Sci. 1973. V. 8. № 1. P. 11.
6. Owen M. J., Rose R. G. // J. Mater. Sci. 1975. V. 10. № 9. P. 1711.
7. Christiansen A., Shortall J. B. // J. Mater. Sci. 1976. V. 11. № 7. P. 1113.
8. Morgan R. J., O'Neal J. E. // J. Mater. Sci. 1977. V. 12. № 9. P. 1966.
9. Cherry B. W., Thomson K. W. // J. Mater. Sci. 1981. V. 16. № 9. P. 1925.
10. Микитаев А. К., Козлов Г. В., Шогенов В. Н. // Пласт. массы. 1985. № 2. С. 32.

Институт высокомолекулярных соединений  
при Кабардино-Балкарском государственном  
университете

Поступила в редакцию  
2.XII.1986

УДК 541.64:539.199

## О ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ЭНЕРГИЕЙ АКТИВАЦИИ И ТЕМПЕРАТУРОЙ $\beta$ -ПЕРЕХОДА

Шутилин Ю. Ф.

При анализе температурных переходов в полимерах часто используют полуэмпирические соотношения различных видов, описывающие взаимосвязь между температурами стеклования  $T_c$  и  $\beta$ -перехода (ниже  $T_c$ ) [1],  $T_c$  и  $T_{\text{пл}}$  кристаллов [2, 3],  $T_c$  и  $T_a$ -процессов [3–5], между энергиями активации процесса стеклования и  $\beta$ -перехода [6–8], кажущейся энергией активации и температурой стеклования [9] полимеров. Соотношения подобного рода позволяют предсказать поведение полимеров в различных температурно-частотных условиях, раскрывают [1–8] новые возможности в интерпретации температурных переходов, в том числе и в отношении  $\beta$ -перехода, располагающегося ниже и вблизи  $T_c$  [1–5, 6–8]. Его проявление при нагревании приписывают [6–8] началу вращательно-трансляционного движения отрезков цепи, сопоставимых по размерам с величиной сегментов Куна полимеров, что обуславливает изменение их свойств [3, 6–8]. В литературе не рассматривалась возможность взаимосвязи между температурой  $T_b$  и энергией активации  $\Delta H_b$  этого процесса, чему и посвящена предлагаемая работа.

Анализировали собственные и литературные данные для ряда линейных карбоцепных полимеров, в которых соотнесение рассматриваемого процесса с  $\beta$ -переходом не вызывало никаких сомнений.

Изучали промышленные и синтезированные в опытном производстве Воронежского филиала ВНИИСК полимеры, свойства которых удовлетворяли требованиям соответствующих ГОСТ и ТУ, а основные структурные характеристики приведены в таблице. Исследования вели в интервале частот 0,8–18 Гц на обратном крутильном маятнике с электронной схемой регистрации свободнозатухающих колебаний [3].