

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛИНЕЙНОЙ СКОРОСТИ РОСТА МИКРОТРЕЩИН
С ПОСТРОЕНИЕМ КРИВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ
ПОЛИМЕРОВ В ЖИДКИХ СРЕДАХ**

**Пазухина Л. Ю., Ярышева Л. М., Сточес Р. Н.,
Бакеев Н. Ф., Козлов П. В.**

Предлагается метод исследования кинетики роста большого числа микротрецн при одноосном деформировании с различными скоростями растяжения с последующей статистической обработкой полученных данных и построением кривых распределения микротрецн по скоростям роста. Для аморфного неориентированного ПЭТФ, деформированного в этиловом спирте со скоростью $3,3 \cdot 10^{-5}$ м/с, получена кривая распределения микротрецн по линейным скоростям роста и описан процесс возникновения и роста микротрецн в зависимости от величины деформации.

Для выяснения механизма деформирования полимеров в адсорбционно-активных жидкостях большое значение имеет определение скорости роста микротрецн в зависимости от условий деформирования. Имеющиеся в литературе данные о скорости роста микротрецн при деформировании в жидкостях получены для единичных микротрецн и только в условиях постоянного нагружения [1-4]. Линейная скорость роста микротрецн в условиях деформирования с постоянной скоростью практически не изучена. Кроме того, при деформировании полимеров в адсорбционно-

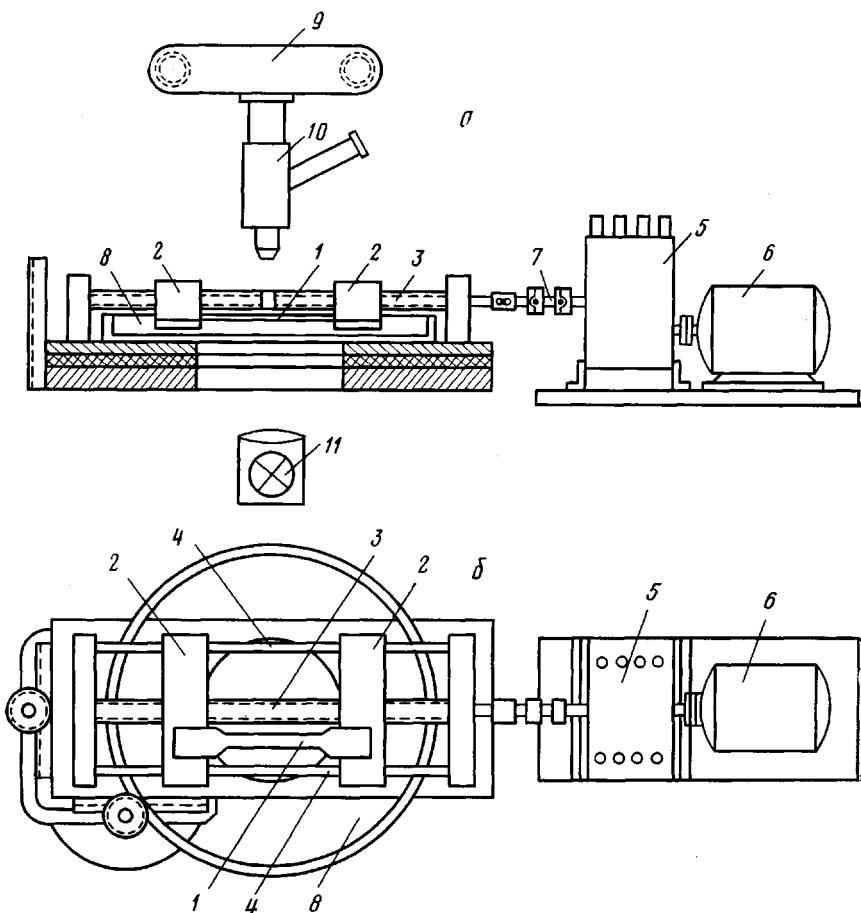


Рис. 1. Общая схема прибора для исследования возникновения и роста микротрецн в условиях деформирования с постоянной скоростью: а — вид сверху, б — сбоку; 1 — исследуемый образец, 2 — зажимы, 3 — ходовой винт, 4 — направляющие для перемещения зажимов, 5 — редуктор, 6 — электродвигатель, 7 — карданская передача, 8 — стеклянная кювета с адсорбционно-активной жидкостью, 9 — фото- или киноаппарат, 10 — микронасадка микроскопа, 11 — осветитель

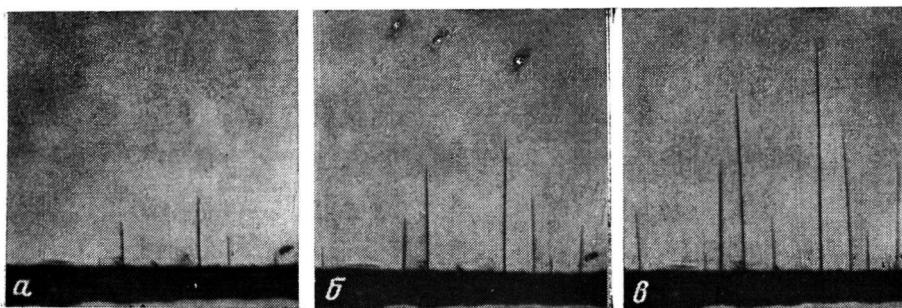


Рис. 2. Типичная картина микротрещин, растущих в ПЭТФ при деформировании в этиловом спирте со скоростью растяжения $3,33 \cdot 10^{-5}$ м/с, в зависимости от времени деформирования: *a* – 3,5, *b* – 7, *c* – 10,5 с

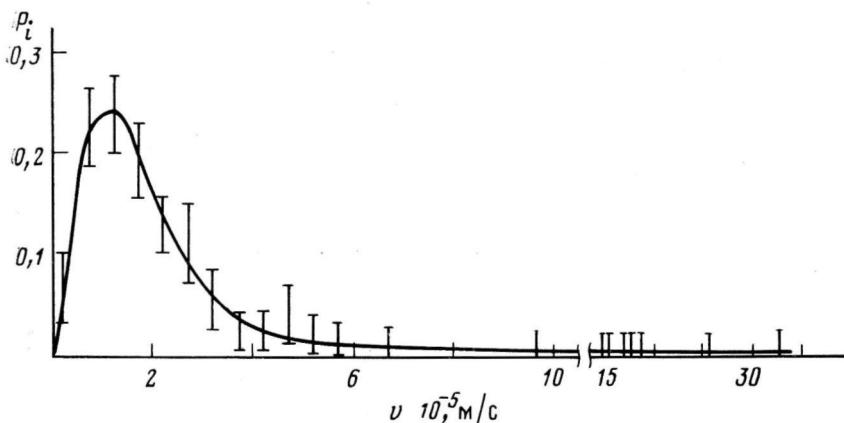


Рис. 3. Распределение микротрещин по линейным скоростям роста при деформировании ПЭТФ в этиловом спирте со скоростью растяжения $3,33 \cdot 10^{-5}$ м/с

активных средах возникает большое число микротрещин, и исследование скорости роста единичной микротрецины не дает полного представления о механизме микрорастягивания.

В данной работе предлагается метод исследования кинетики роста большого числа микротрещин при одноосном деформировании с различными скоростями растяжения с последующей статистической обработкой полученных данных и построением кривых распределения микротрещин по скоростям роста.

Прибор, с помощью которого можно следить за ростом микротрещин в жидкостях средах при постоянной скорости деформирования, был сконструирован и изготовлен на основе оптического микроскопа МИН-8. Общая схема прибора представлена на рис. 1. Основной рабочий узел, в котором производится деформирование полимерного образца 1, расположен на предметном столике микроскопа, что позволяет перемещать образец в трех направлениях. Зажимы 2 с образцом крепятся на раме, которая жестко закреплена на предметном столике микроскопа. Оба зажима подвижные, и их перемещение осуществляется с помощью винта 3 по направляющим 4. Винт имеет левую и правую резьбу, что позволяет осуществлять деформацию образца в обе стороны и обеспечивать постоянное расположение наблюдаемого участка в поле зрения микроскопа. Вращение винта осуществляется с постоянной скоростью через редуктор 5 с помощью электродвигателя 6. Для смягчения передачи усилия от электродвигателя ходовой винт связан с редуктором через карданныю передачу 7. Электродвигатель типа РД-09 имеет мощность в 10 Вт при 1200 об/мин. Редуктор имеет девять фиксированных наборов скоростей. Образец помещают в стеклянную кювету 8 с адсорбционно-активной жидкостью.

Деформирование на данном приборе можно осуществлять в широком диапазоне скоростей (от $1,67 \cdot 10^{-7}$ до $5 \cdot 10^{-4}$ м/с). Рабочий ход подвижного зажима 40 мм. Фиксирование микротрещин при деформировании осуществляли с помощью кино- или фотоаппаратов 9, соединенных с микронасадкой 10 микроскопа. Увеличение можно варьировать, меняя объективы микроскопа, однако при большом увеличении сужается поле зрения прибора, что существенно уменьшает число наблюдаемых микротрещин. Увеличение изображения с помощью микроскопа в 14 раз дает поле зрения 1,0–1,5 мм.

Описанный выше прибор позволяет исследовать возникновение и рост микротрещин в условиях одноосного растяжения с постоянной скоростью в жидкостях средах. В качестве примера приведем данные по деформированию пленок аморфного не-

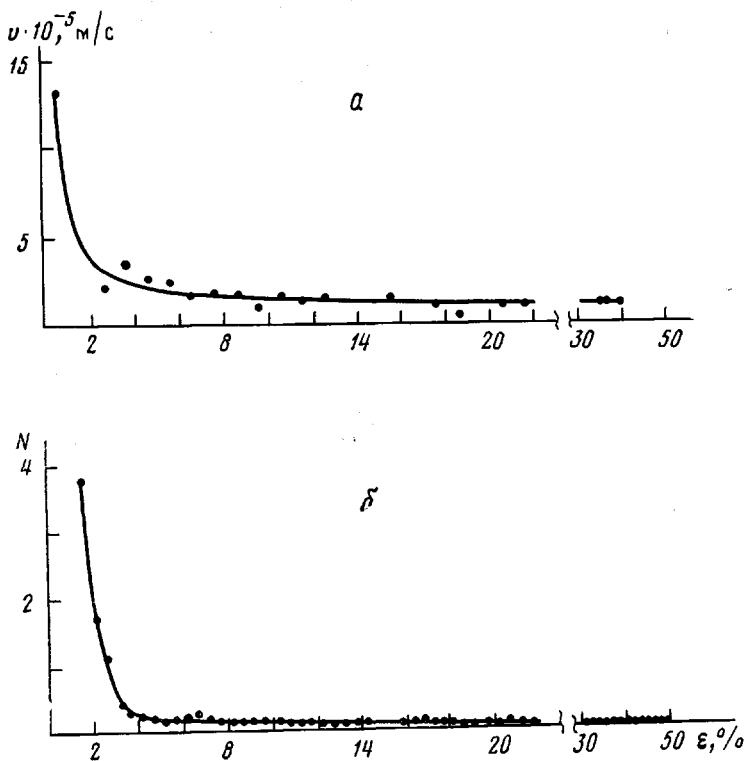


Рис. 4. Зависимость линейной скорости роста возникающих микротрецин (а) и их числа на 1 мм^2 поверхности образца (б) при деформировании ПЭТФ в этиловом спирте со скоростью растяжения $3,33 \cdot 10^{-5}$ м/с от величины деформации

ориентированного ПЭТФ толщиной 110 мкм в среде этилового спирта со скоростью $3,33 \cdot 10^{-5}$ м/с. Возникающие при этом микротреции растут в основном от края образца. Они четкие, прямые и легко фиксируются в оптическом микроскопе. Типичная картина растущих при деформировании микротрецин представлена на рис. 2. По полученным с помощью кино- или фотосъемки микрофотографиям строили зависимость длины микротреции от времени и определяли их скорости роста.

Прежде всего следует отметить прямо пропорциональную зависимость длины микротрецин от времени, т. е. при деформировании ПЭТФ в этиловом спирте с данной скоростью микротреции растут с постоянной скоростью. Однако скорости роста отдельных микротрецин, возникающих при деформировании, различны. Для каждого отдельного образца удавалось проследить за скоростью роста от 30 до 50 микротреций. В результате статистической обработки данных, полученных не менее чем с 10 образцов, были построены кривые распределения микротреций по линейным скоростям роста. Скорость роста микротреций оценивали по методу наименьших квадратов, распределение построено с доверительным интервалом 70%. Это распределение, как видно из рис. 3, имеет четко выраженный максимум, соответствующий наиболее вероятной линейной скорости роста микротреций, асимметрично по форме и сильно вытянуто в область больших скоростей.

Данный метод позволяет оценивать не только скорости роста микротреций, но и определять число возникающих микротреций в зависимости от величины деформации. Полученные результаты представлены на рис. 4. Наибольшее число микротреций возникает в области малых деформаций после достижения критического напряжения микрорастягивания в образце. Микротреции, образующиеся на начальном участке, растут с большой скоростью. Как только быстрорастущие микротреции прорастут через все поперечное сечение образца, напряжение уменьшается; это сопровождается уменьшением числа возникающих микротреций и их линейной скорости роста.

Таким образом, предлагаемый в данной работе метод исследования кривых распределения микротреций по линейным скоростям роста является более информативным по сравнению с методом определения скорости роста единичной микротреции и позволяет измерить не только скорость роста микротреций, но и исследовать процесс их возникновения в условиях одноосного растяжения в широком интервале скоростей деформирования.

Авторы благодарят В. А. Королева и А. С. Малявского за содействие в проведении киносъемки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kramer E. J., Bubeck R. A. J. Polymer Sci. Polymer Phys. Ed., 1978, v. 16, № 7, p. 1195.
2. Williams J. G., Marshall G. P., Graham I., Zichy E. L. Pure Appl. Chem., 1974, v. 39, № 3, p. 275.
3. Graham I. D., Williams J. G., Zichy E. L. Polymer, 1976, v. 17, № 5, p. 439.
4. Kambour R. P. Macromolc. Rev., 1973, v. 7, p. 1.

Московский государственный
университет им. М. В. Ломоносова

Поступила в редакцию
17.VI.1981

METHOD OF THE DETERMINATION OF LINEAR RATE OF CRAZES
GROWTH WITH PLOTTING OF DISTRIBUTION CURVES DURING
DEFORMATION OF POLYMERS IN LIQUID MEDIA

*Pazukhina L. Yu., Yarysheva L. M., Stoches R. N.,
Bakeev N. F., Kozlov P. V.*

S u m m a r y

The method of study of kinetics of the growth of large number of crazes at uniaxial deformation with various rates of stretching and following statistical treatment of results and plotting of distribution curves according rates of crazes growth is proposed. For amorphous PETP strained in ethanol with the $3.33 \cdot 10^{-5}$ m/s rate the distribution curve according linear rates of crazes growth was obtained, and the process of formation and growth of crazes was described depending on the value of strain.