

Авторы благодарят А. Ю. Билибина за предоставленные образцы и Л. З. Виленчика, О. И. Куренбина и Т. П. Жмакину за составление программы и расчеты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Smidsrod O., Guillet J. E. Macromolecules, 1969, v. 2, № 3, p. 272.
2. Нестеров А. Е., Липатов Ю. С. Обращенная газовая хроматография в термодинамике полимеров. Киев: Наукова думка, 1976.
3. Newman R. D., Prausnitz J. M. J. Phys. Chem., 1972, v. 76, № 10, p. 1492.
4. Su C. S., Patterson D., Schreiber H. P. J. Appl. Polymer Sci., 1976, v. 20, № 4, p. 1025.
5. Тагер А. А., Кириллова Т. И., Иканина Т. В. Высокомолек. соед. А., 1978, т. 20, № 11, с. 2543.
6. Gray D. G., Guillet J. E. Macromolecules, 1972, v. 5, № 3, p. 316.
7. Braun J. M., Guillet J. E. Macromolecules, 1975, v. 8, № 6, p. 882.
8. Gray D. G., Guillet J. E. Macromolecules, 1973, v. 6, № 1, p. 223.
9. Липатов Ю. С., Нестеров А. Е., Сергеева Л. М., Карабанова Л. В., Игнатова Т. Д. Докл. АН СССР, 1975, т. 220, № 3, с. 637.
10. Липатов Ю. С. Межфазные явления в полимерах. Киев: Наукова думка, 1980, с. 215.
11. Guillet J. E., Stein A. N. Macromolecules, 1970, v. 3, № 1, p. 102.
12. Guillet J. E., Galin M. Polymer Letters, 1973, v. 11, № 4, p. 233.
13. Braun J.-M., Guillet J. E. J. Polymer Sci., Polymer Chem. Ed., 1975, v. 13, № 5, p. 1119.
14. Naikwadi K. P., Panse D. G., Bapat B. V., Ghatge B. B. J. Chromatogr., 1980, v. 195, № 3, p. 309.
15. Ветрова З. П., Карабанов Н. Т., Яшин Я. И. Докл. АН СССР, 1980, т. 250, № 5, с. 1165.
16. Билибин А. Ю., Шепелевский А. А., Френкель С. Я., Скороходов С. С. Высокомолек. соед. Б., 1980, т. 22, № 10, с. 739.
17. Де Жен П. Физика жидких кристаллов. М.: Мир, 1977, с. 15.
18. Serpinet J. J. Chromatogr., 1972, v. 68, № 1, p. 9.
19. Lipatov Yu. S., Nesterov A. E. Macromolecules, 1975, v. 8, № 6, p. 889.
20. Giddings J. C. Analyt. Chem., 1962, v. 34, № 4, p. 459.
21. Григорьев А. И., Андреева Н. А., Билибин А. Ю., Скороходов С. С., Эскин В. Е. Высокомолек. соед. Б., 1980, т. 22, № 12, с. 891.
22. Demus D., Richter L. Textures of liquid crystals. Leipzig, 1978.

Институт высокомолекулярных
соединений АН СССР

Поступила в редакцию
25.I.1982

УДК 541.64:539.3

УРОВНИ МЕХАНИЧЕСКОЙ, ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАЦИИ В ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНКАХ

Цой Б., Каримов С. Н., Лаврентьев В. В.

Кинетический подход к процессу разрушения твердых тел, и в частности полимеров, был начат в экспериментальных работах Журкова [1] и теоретических работах Бартенева [2]. В этих работах предполагалось, что разрушение полимеров определяется лишь одним типом дефектов, например микротрецинами. Это значит, что кривые распределения прочности или долговечности характеризуются функцией распределения с одним максимумом.

Однако у неорганических стекол и их волокон [3, 4] были обнаружены полимодальные кривые распределения прочности и долговечности с несколькими максимумами. Эти экспериментальные факты свидетельствовали о наличии дискретных уровней прочности и долговечности, связанных с дефектами различной природы и глубины пролегания. Дискретный характер механических свойств обнаружен и в полимерах [5, 6]. В этом

случае при обработке экспериментальных результатов предлагается переходить от средних величин к наиболее вероятным, соответствующим экстремумам функции распределения.

Уровни прочности связаны с наличием дефектов структуры края (образцов-полосок), поверхности и объема [3—6]. Если это так, то учитывая, что разрушение материалов связано с их деформированием [7], уровням прочности должны соответствовать не только уровни долговечности, но и деформации. Известно, что с дефектностью материала и его деформационным состоянием связана не только механическая, но и электрическая прочность [8, 9]. Поэтому можно полагать, что уровням механической прочности будут также соответствовать уровни электрической прочности.

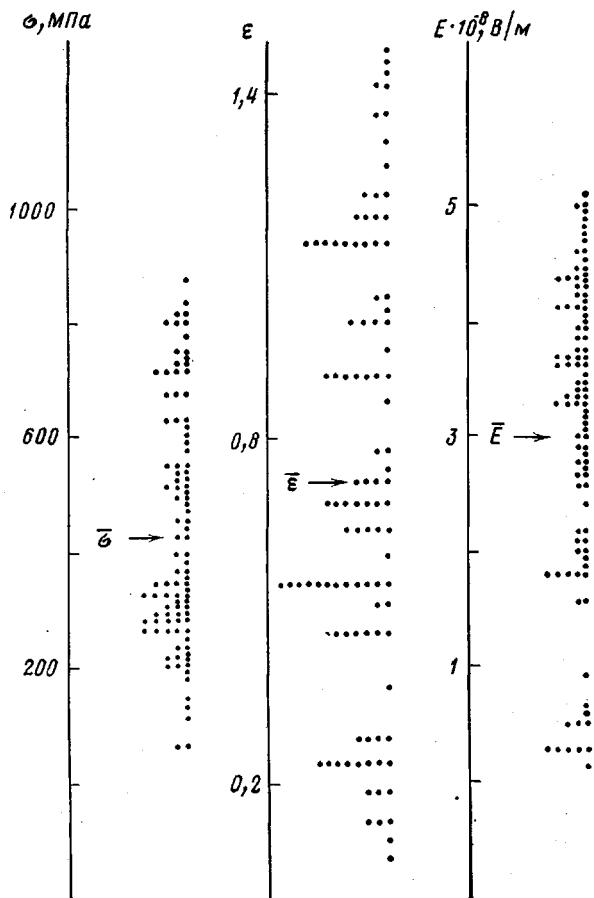


Рис. 1. Диаграмма распределений результатов отдельных измерений механической σ , электрической E прочности и разрывной деформации ε образцов ПЭТФ. Стрелкой показано расположение средних величин

В настоящее время в этой области практически нет публикаций, в особенности работ по исследованию статистическим методом взаимосвязи электрофизических и механических характеристик. Ниже анализируются результаты изучения механической и электрической прочности на основе экспериментального исследования их статистических свойств.

Исследовали пленки из ПЭТФ толщиной 0,02 мм. Образцы для испытаний на деформативность и механическую прочность готовили в виде полосок шириной 10 мм, длиной рабочей части 22 мм. Испытания проводили на разрывной машинке

со скоростью нагружения 4 г/с. Края образцов с помощью зажимов шириной меньше, чем ширина образца-полоски, исключались из зоны напряжения.

Испытания на электрическую прочность проводили на пленках такой же толщины размером 50×50 мм в режиме постоянного тока и времени ~20 с до пробоя соизмеримого с условиями механических испытаний. Испытывали серии образцов при температуре окружающей среды 293 К. В каждой серии насчитывалось более 100 образцов. Из данных по измерению относительного удлинения разрыва, механической и электрической прочности строили кривые распределения. Методика статистических исследований подробно описана в работе [6].

Результаты измерений приведены на рис. 1 в виде диаграмм, где представлены все результаты измерений механической прочности σ , разрывной деформации ε и электрической прочности E . Видно, что разброс значений

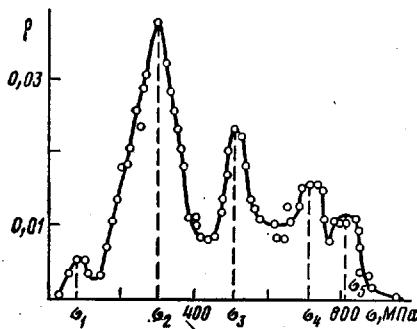


Рис. 2

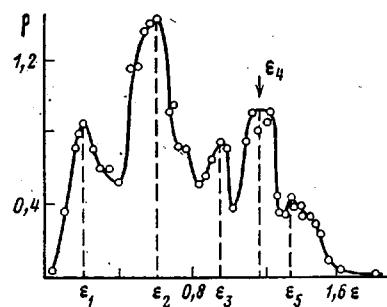


Рис. 3

Рис. 2. Кривая распределения механической прочности пленок ПЭТФ. $\sigma_1-\sigma_5$ – дискретные уровни механической прочности

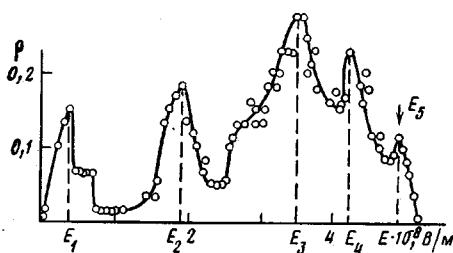


Рис. 4

Рис. 3. Кривая распределения разрывной деформации пленок ПЭТФ. $\varepsilon_1-\varepsilon_5$ – дискретные уровни деформации

Рис. 4. Кривая распределения электрической прочности пленок ПЭТФ. E_1-E_5 – дискретные уровни электрической прочности

σ , ε и E значителен. Для σ разброс составляет 63–87 МПа; для ε – 0,09–1,5; для E – $0,2 \cdot 10^8$ – $6,1 \cdot 10^8$ В/м.

В этой связи следует ожидать, что переход от средних величин $\bar{\sigma}$, $\bar{\varepsilon}$, \bar{E} к наиболее вероятным σ_w , ε_w , E_w даст более совершенную и достоверную информацию. На рис. 2–4 приведены плотности вероятности ρ распределения величин σ , ε , E .

На кривой распределения механической прочности (рис. 2) наблюдаются пять максимумов, соответствующих пяти уровням прочности $\sigma_1=80$, $\sigma_2=300$, $\sigma_3=510$, $\sigma_4=720$, $\sigma_5=800$ МПа. Эти уровни образуют спектр слабых и прочных мест в структуре объема и поверхности образцов, обусловленных пятью типами структурных дефектов [3–6]. Наименьшее количество разрушенных образцов приходится на уровень σ_1 , а наибольшее – на уровень $\sigma_2=\sigma_w$. Величина $\sigma_w=300$ МПа из-за асимметрии функции распределения не совпадает со значением $\bar{\sigma}=433$ МПа. Это свидетельствует о том, что величина σ_w хотя и дает более достоверную информацию, чем $\bar{\sigma}$, но не характеризует особенности разрыва пленок ПЭТФ. Удивительно здесь то, что прочность определяется не средним приложенным напряжением $\bar{\sigma}$ и не величиной наиболее вероятного значения σ_w функции распределения. Величина $\bar{\sigma}$ таким образом влияет на структуру пленок ПЭТФ, что с момента приложения нагрузки расселяет дефекты образцов по уровням прочности, а величина σ_w показывает наиболее заселенный уровень. Прочность пленок ПЭТФ определяется спектром слабых и прочных мест в структуре материала в объеме и на поверхности образцов.

Анализ кривых распределений разрывной деформации ε приводит к аналогичным выводам и свидетельствует о связи деформации с разрушением слабых и прочных мест в структуре образцов (рис. 3). Кривая распределения ε характеризуется пятью максимумами $\varepsilon_1=0,2$; $\varepsilon_2=0,6$; $\varepsilon_3=-0,96$, $\varepsilon_4=1,18$, $\varepsilon_5=1,34$, средней величиной, равной $\bar{\varepsilon}=0,72$, наиболее вероятным значением $\varepsilon_w=\varepsilon_2$. Отсюда по аналогии с прочностью следует, что величины $\varepsilon_1-\varepsilon_5$ образуют дискретный спектр уровней деформации. Если учесть, что кривая распределения деформации построена по данным разрывного удлинения образцов, как и кривая распределения прочности по данным напряжения при разрыве, а также, что она имеет такое же количество максимумов, как и прочность, можно сделать вывод, что уровням прочности соответствуют уровни разрывной деформации. Самому низко-прочному состоянию соответствует наименьшее значение ε_4 , а высокопрочному — наибольшее ε_5 . Наибольшее количество разрушенных образцов приходится на состояние 2 (уровень $\varepsilon_2=\varepsilon_w$), являющееся наиболее заселенным. Однако величина ε_w хоть и является более достоверной, как и величина $\bar{\varepsilon}$, не характеризует структурные особенности пленок ПЭТФ. Следовательно, величина среднего приложенного напряжения σ влияет на величину $\bar{\varepsilon}$ таким образом, что распределяет дефекты образцов не только по уровням прочности, но и по уровням деформации.

Деформация и разрушение образцов пленок ПЭТФ, таким образом, связана также со спектром слабых и прочных мест в структуре материала.

К подобным выводам приводят и анализ кривых распределений электрической прочности E (рис. 4). Кривая распределения E имеет подобно механической прочности пять максимумов. Если учесть, что кривая $\rho(E)$ получена при условиях, сходных с условиями получения кривых $\rho(\sigma)$, $\rho(\varepsilon)$, то можно заключить, что пяти максимумам на ней соответствуют пять уровней электрической прочности $E_1=0,4 \cdot 10^8$, $E_2=1,9 \cdot 10^8$, $E_3=3,5 \cdot 10^8$, $E_4=4,25 \cdot 10^8$ и $E_5=4,9 \cdot 10^8$ В/м.

Эти дискретные уровни образуют спектр слабых и прочных мест, обусловленных пятью типами структурных дефектов. Наиболее вероятное состояние — это уровень $E_3=E_w$. Для электрической прочности $\bar{E}=3,02 \cdot 10^8$ В/м. Средняя величина \bar{E} и наиболее вероятное значение E_w , таким образом, маскируют реальную картину разрыва образцов, не показывая наличия в них слабых и прочных мест.

Величина \bar{E} влияет на структуру таким образом, что с самого начала расселяет дефекты образцов по уровням электрической прочности, а E_w показывает наиболее заселенный уровень прочности, на который приходится наибольшее количество разрушенных образцов.

Таким образом, механизм разрушения полимерных пленок механическим полем не отличается от механизма их разрушения электрическим полем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Журков С. Н., Нарзуллаев Б. Н. Ж. техн. физики, 1953, т. 23, № 10, с. 1977.
2. Бартенев Г. М. Изв. АН СССР. ОТН, 1955, № 9, с. 53.
3. Бартенев Г. М. Сверхпрочные и высокопрочные неорганические стекла. М.: Стройиздат, 1974. 240 с.
4. Бартенев Г. М., Щербакова И. М., Тулинов Б. М. Физика и химия стекла, 1979, т. 5, с. 122.
5. Нарзуллаев Б. Н., Каримов С. Н., Цой Б., Шерматов Д. Механика полимеров, 1978, № 6, с. 1060.
6. Цой Б., Шерматов Д., Каримов С. Н., Алюев Б., Головко Н. В кн.: Физико-механические свойства и структура твердых тел. Душанбе: Таджик. гос. ун-т, 1979, вып. 4, с. 36.
7. Степанов В. А. Механика полимеров, 1975, № 1, с. 95.
8. Бартенев Г. М., Зеленев Ю. В. Курс физики полимеров. Л.: Химия, 1979. 288 с.
9. Робежко А. Л., Важов В. Ф., Ефремова Г. В., Лебедев С. М., Ушаков В. Я. Физика твердого тела, 1981, т. 23, № 11, с. 3360.

Таджикский государственный
университет им. В. И. Ленина

Поступила в редакцию
16.III.1982