

# ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ПРОБЛЕМЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

## ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК

Н.А. Воронова, А.С. Дробышев, А.И. Купчишин, А.Д. Мурадов, Б.Г. Таипова\*

*НИИЭТФ, Казахский национальный университет им. аль – Фараби, г. Алматы*

*\*Казахский национальный педагогический университет им. Абая, г. Алматы*

Проведено исследование влияния комплексного воздействия различного рода на механические свойства полимерных пленок. Установлено, что комплексное воздействие температуры, статической нагрузки и облучения на пленки тедлара для необлученного образца и с дозами облучения 25, 50 кГр в первые 10 секунд идет резкий рост относительного удлинения, затем  $\epsilon$  изменяется по линейному закону вплоть до разрыва. В образцах облученных дозами от 100 кГр до 1 МГр возрастание относительного удлинения происходит за первые 1-3 сек. и составляет у облученных  $D = 250$  кГр - 91,2% и для  $D = 1$  МГр - 74,8%.

С ростом дозы облучения время от приложения нагрузки и до разрыва образца уменьшается: у необлученной пленки при комплексном воздействии температуры и статической нагрузки это время составляет 274 сек., а для облученных  $D = 1$  МГр - 94 сек., т.е. в 3 раза быстрее происходит разрыв основной цепи.

Разработана катастрофическая модель разрушения полимерных материалов на базе экспериментальных исследований их физико-механических свойств.

### Введение

Наряду с эффективностью применения пластмасс возникает проблема получения полимеров с особыми свойствами, которые позволяют совершенно по-новому подойти к решению вопросов, касающихся придания формы, конструирования изделий и их использования. Необходимость создания полимеров с верхней температурой 150 °С и выше, при длительной эксплуатации, была вызвана развитием электротехники, электроники, самолетостроения и космонавтики [1].

Влияние радиационного облучения на физико-механические свойства полимеров довольно разнообразно. Поэтому изучение действия ионизирующего излучения на структуру и свойства полимеров до сих пор остается актуальной задачей в связи с радиационной модификацией материалов, а также для оценки эксплуатационной стойкости материалов в радиационных и других физических полях.

Промышленные полимерные пленки различной молекулярной массы (ММ) обладают значительной долей межфибриллярных аморфных областей, разделяющих смежные микрофибриллы, наряду с внутрифибриллярными аморфными прослойками. Любой вид деформации аморфно-кристаллических полимеров сопровождается – сдвиговой деформацией кристаллитов, происходящей на надмолекулярном уровне [2,3]. Строение внутрифибриллярных аморфных областей существенно отличаются в материалах с различной молекулярной массой [4]. Поэтому облучение полимерных материалов разной ММ будет сопровождаться различными эффектами.

### Постановка задачи

В данной работе изучены физико-механические свойства промышленных аморфно-кристаллических пленок тедлара (поливинилиденфторида) при воздействии температуры, статической нагрузки и облучения.

Образцы предварительно облучались на воздухе в специальных держателях на линейном ускорителе электронов ЭЛУ-6 при температуре 25 °С с энергией 2 МэВ при средней плотности тока пучка 0,5 мкА/ см<sup>2</sup> и длительностью импульсов 5 мкс при частоте их повторения 200 Гц.

Поглощенные дозы (D) составляли: 25, 50, 100, 250, 500 кГр и 1 МГр.

Образцы длиной рабочей части 50 мм, шириной 5 мм и толщиной 30 мкм подвергались действию одноосного растяжения статической механической нагрузки величиной 60% от разрывного напряжения и одновременному линейному нагреву от комнатной температуры до момента разрыва пленки.

### Результаты

Комплексное воздействие температуры, статической нагрузки и облучения на пленки тедлара имеет следующее: для необлученного образца и с дозами облучения 25, 50 кГр в первые 10 сек. идет резкий рост относительного удлинения ( $\epsilon$ ), затем  $\epsilon$  изменяется по линейному закону вплоть до разрыва (рис.1).

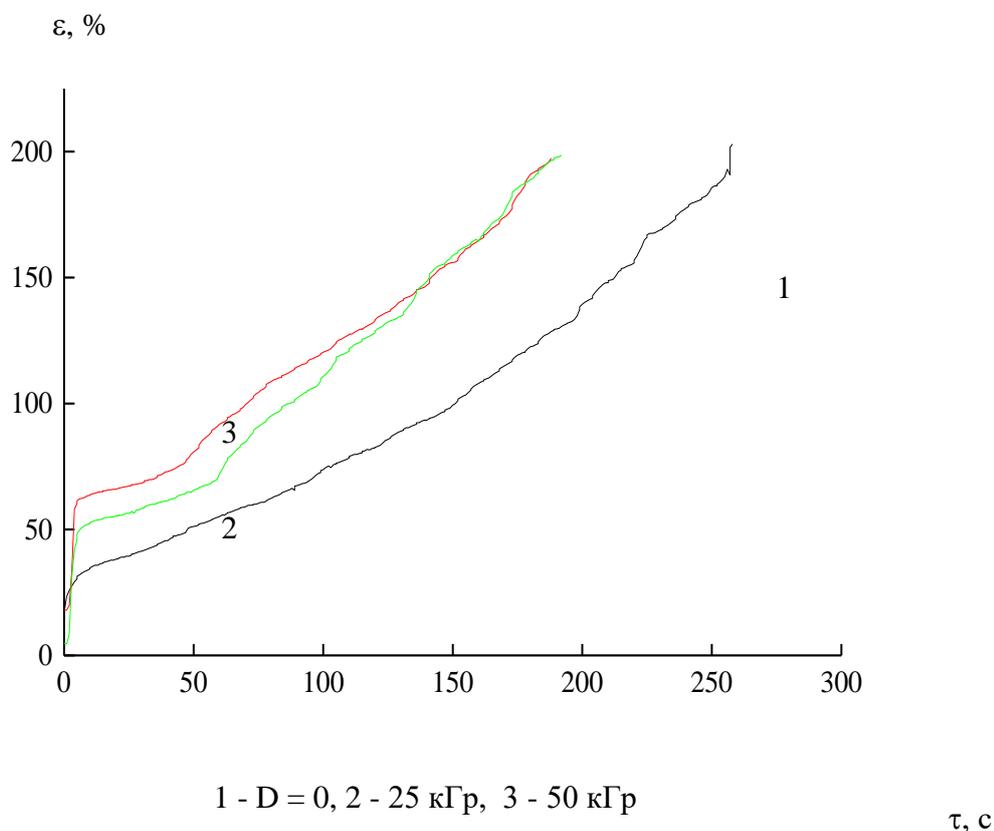


Рис. 1. Зависимость относительного удлинения от времени при одновременном воздействии температуры и статической нагрузки ( $\sigma = 60\%$ ) для поливинилиденфторидной пленки при различных дозах облучения

Для необлученного образца, в первые 10 сек. относительное удлинение возрастает до 32%, а у облученных D = 250 кГр - 91,2% и для D = 1 МГр - 74,8%. Характерно то, что у образцов облученных дозами от 100 кГр до 1 МГр возрастание относительного удлинения происходит за первые 1-3 сек.(рис.2).

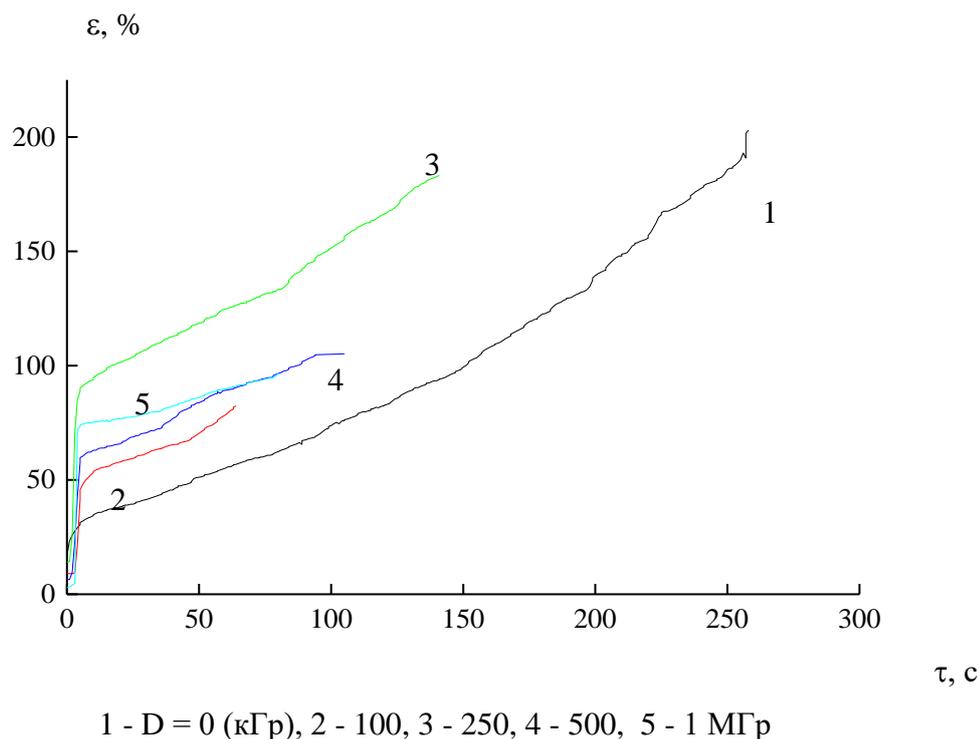


Рис. 2. Зависимость относительного удлинения от времени при одновременном воздействии температуры и статической нагрузки ( $\sigma = 60\%$ ) для поливинилиденфторидной пленки при различных дозах облучения

С ростом дозы облучения время от приложения нагрузки и до разрыва образца уменьшается. Например, для необлученной пленки при комплексном воздействии температуры и статической нагрузки это время составляет 274 сек., а для облученных  $D = 1$  МГр - 94 сек, т.е. в 3 раза быстрее происходит разрыв основной цепи (рис.3).

Кроме того, температура, при которой происходил разрыв пленки, с увеличением дозы электронного облучения уменьшалась. Так для необлученных образцов она достигала  $681$  °С, а для облученных до  $D = 1$  МГр она составляла  $118$  °С.

Возрастание относительного удлинения облученных пленок тефлара при комплексном воздействии температуры и статической нагрузки связано с тем, что их деформация содержит остаточную и высокоэластическую составляющие. Подобное воздействие сопровождается главным процессом – сдвиговой деформацией кристаллитов. Это ведет к деструкции проходных напряженных молекул во внутрифибриллярных аморфных областях, но вместо разрушения цепей происходит их сшивание с образованием сетчатых структур.

На основе полученных результатов предложена модель разрушения этих материалов:

$$\varepsilon = \exp\left(\frac{\sigma}{E}\right) - 1, \quad (1)$$

разлагая в ряд, имеем

$$\varepsilon = \left(\frac{\sigma}{E}\right) + \frac{\sigma^2}{2!E^2} + \frac{\sigma^3}{3!E^3} + \dots \quad (2)$$

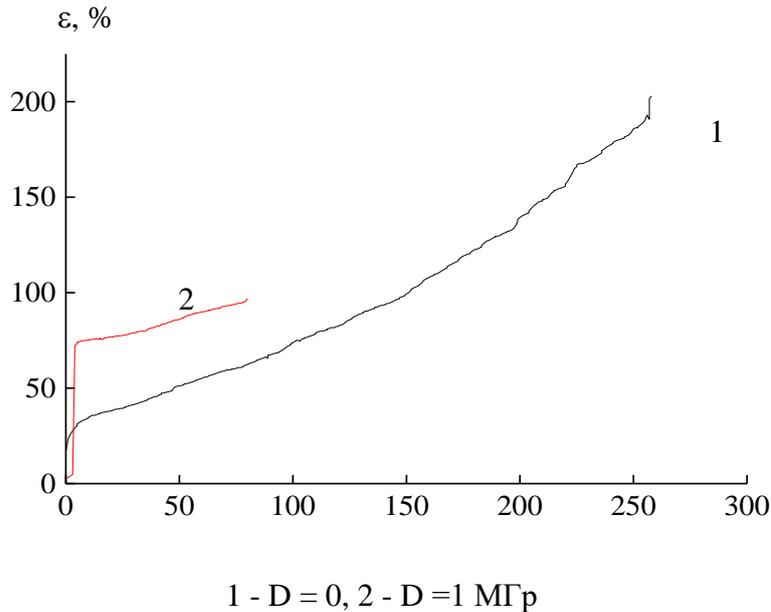


Рис. 3. Зависимость относительного удлинения от времени при одновременном воздействии температуры и статической нагрузки ( $\sigma = 60\%$ ) для поливинилиденфторидной пленки при различных дозах облучения

Анализируя, можно сделать вывод о том, что с увеличением  $\sigma$  катастрофически растет (практически по экспоненте; отсюда и название модели - катастрофическая). Под действием нагрузки имеющиеся связи атомов, молекул, цепей постепенно разрушаются и при  $\sigma > E$  начинается развиваться цепная реакция, удлинение при этом возрастает катастрофически вплоть до разрушения.

На рисунке 4 представлена зависимость относительного удлинения от напряжения для облученной поливинилиденфторидной пленки рассчитанная по формуле 1.

Как видно из графика предлагаемая модель разрушения этих материалов хорошо подтверждается данными эксперимента. Данные показывают, что модуль упругости для необлученных пленок тедлара средний модуль упругости составляет 13, а для облученных дозой 18 кГр  $E = 20$ . Возникновение пластичных деформаций связано со смещением сдвига в кристаллической решетке — смещением части кристалла по некоторой плоскости. Пластичность, то есть способность материала получать большие остаточные деформации без разрушения, характеризуется удлинением  $m_{ax}$  при разрыве. Чем больше этот показатель, тем более пластичным является материал. Из этого следует, что небольшие дозы облучения увеличивают пластичность полимерных материалов, в частности поливинилиденфторидных пленок.

### Выводы

Установлено, что комплексное воздействие температуры, статической нагрузки и облучения на пленки тедлара для необлученного образца и с дозами облучения 25, 50 кГр в первые 10 сек. идет резкий рост относительного удлинения, затем  $\epsilon$  изменяется по линейному закону вплоть до разрыва.

В образцах облученных дозами от 100 кГр до 1 МГр возрастание относительного удлинения происходит за первые 1-3 сек. и составляет у облученных  $D = 250$  кГр - 91,2% и для  $D = 1$  МГр - 74,8%.

$\epsilon, \%$

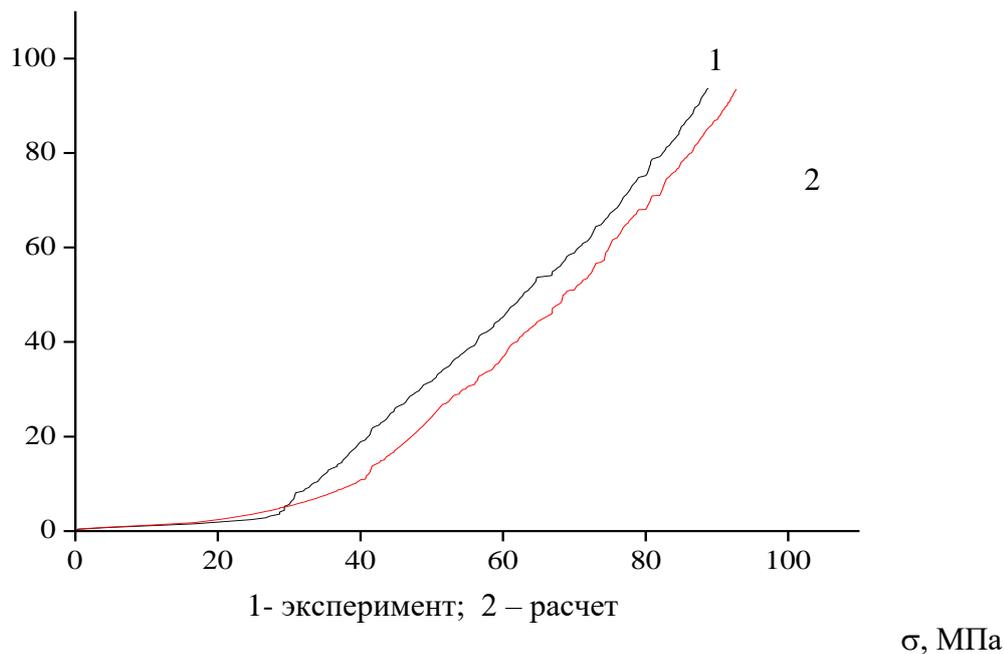


Рис. 4. Зависимость относительного удлинения от напряжения для облученной поливинилиденфторидной пленки ( $D = 18$  кГр)

С ростом дозы облучения время от приложения нагрузки и до разрыва образца уменьшается: у необлученной пленки при комплексном воздействии температуры и статической нагрузки это время составляет 274 сек., а для облученных  $D = 1$  МГр - 94 сек., т.е. в 3 раза быстрее происходит разрыв основной цепи.

Разработана катастрофическая модель разрушения полимерных материалов на базе экспериментальных исследований их физико-механических свойств.

### Литература

1. Бюллер К-У Тепло- и термостойкие полимеры. М. «Химия», 1984г., 1056с.
2. Гинзбург Б.М. Надмолекулярные механизмы сдвиговой деформации при переориентации гибкоцепных аморфно-кристаллических полимеров // Высокомолекулярные соединения, Серия А, 2003, Т.45, № 3, С. 442-448.
3. Гинзбург Б.М. Рентгенографическое определение сдвиговой деформации в полимерах. // Высокомолекулярные соединения, Серия А, 2002, Т.44, № 10, С. 1791- 1797.
4. Чвалун С.Н., Озерин А.Н., Щирец В.С., Зубов Ю.А., Годовский Ю.К., Бакеев Н.Ф., Баулин А.А., Иванчев С.С. Определение содержания межфибриллярных аморфных областей в ориентированном полиэтилене // Высокомолекулярные соединения, Серия Б, 1980, Т.22, № 5, С. 359 - 363.

## ПОЛИМЕРЛІК ҮЛДІРЛЕРДІҢ МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ КОМПЛЕКСТІ ЫҚПАЛДЫҢ ӘСЕРЛЕРІ

**Н.А. Воронова, А.С. Дробышев, А.И. Купчишин, А.Д. Мұрадов, Б.Г. Таипова**

Полимерлік үлдірлердің механикалық қасиеттеріне әртүрлі комплексті ықпал әсерлеріне зерттеулер жүргізілді. Сәулеленбеген тедлар үлдірлері және өлшемі 25, 50 кГр сәулеленген үлгілерге температура, статистикалық жүктеме және сәулелендіруден тұратын комплексті ықпалдан алғашқы

10 секунд ішінде салыстырмалы ұзаруы күрт өсіп, сонан соң  $\epsilon$  ажырауға дейін сызықтық заң бойынша өзгеретіні анықталды.

Өлшемі 100 кГр-ден 1 МГр-ге дейін сәулеленген үлгілерде салыстырмалы ұзаруының өсуі алғашқы 1-3 сек. болады және сәулеленуі  $D = 250$  кГр - 91,2% және  $D = 1$  МГр - 74,8% құрайды.

Сәулелендіру өлшемінің өсуімен жүктеу түсіруден бастап үлгінің үзілуіне дейінгі уақыты азаяды: сәулеленбеген үлгілердің, температура және статистикалық жүктеме комплексті әсерлердің уақытында, бұл уақыты 274 сек. құрайды, ал сәулеленгендер үшін  $D = 1$  МГр - 94 сек., демек негізгі бұғауларының үзілуі 3 есе тез.

Полимерлік материалдардың физика-математикалық қасиеттерін тәжірибелік зерттеу негізінде катастрофалық күйреу моделі жасалынды.

## **INFLUENCE OF COMPLEX EFFECT ON MECHANICAL PROPERTIES OF POLYMERIC FILMS**

**N. A. Voronova, A. S. Drobyshev, A. I. Kupchishin, A. D. Muradov, B. G. Taipova**

The research of influence of complex effect of different kinds on polymeric films' mechanical properties. Determined that complex effect of temperature, static load and radiation on tedlar films for unirradiated sample and with radiation doses of 25, 50 kHz during first 10 seconds there is a sharp growth of relative elongation, then  $\epsilon$  changes on the basis of lineal law up to it's rupture. In the samples radiated with doses of 100 kHz to 1 MHz growth of relative elongation takes place in first 1-3 seconds and is 91.2% for radiated with  $D = 250$  kHz and 74.8% for radiated with  $D = 1$  MHz.

With increasing of radiation dose time from load application to sample's rupture decreases: unirradiated film under complex effect of temperature and static load has a time of rupture of 274 sec., and for radiated samples  $D = 1$  MHz the time is equal to 94 sec., that is the rupture of main chain is three times faster.

Developed a catastrophic model of polymer materials destruction on the basis of experimental research of their physical-mechanical properties.