

УДК 535.37:537.312:539.16.04

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТ ДОЗЫ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ

^{1,2)} Купчишин А.И., ¹⁾ Таипова Б.Г., ¹⁾ Воронова Н.А., ¹⁾ Сущих А.М.¹⁾ *Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Алматы, Казахстан*²⁾ *Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан*

В данной работе рассмотрено влияние облучения высокоэнергетическими электронами, нагрузки и температуры на механические свойства майларовых пленок. Разработана простейшая физическая модель. Исследования показали, что с ростом дозы электронного облучения до 10^4 Гр наблюдается медленное уменьшение деформации для Майлара, а дальнейшее увеличение до 10^6 Гр приводит к резкому её убыванию. При этом с повышением температуры увеличивается относительное удлинение более чем на 50 %, связанное с ростом деструкционных процессов в материале. Зависимости деформации и напряжения от дозы электронного облучения описываются экспоненциальными функциями и удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными.

ВВЕДЕНИЕ

Воздействие различных видов радиации на полимеры приводит к изменению их дефектной структуры и, как следствие, физико-химических свойств [1–4]. Особый интерес к радиационно-стойким полимерам проявляет атомная, космическая, военная промышленности, электро- и радиотехнические производства. Перед материаловедением стоит задача по установлению природы создания и эволюции дефектов, связи радиационно-индуцированных превращений с изменением характеристик материалов [5]. Воздействие мощных пучков заряженных частиц приводит к пространственному превращению вещества, изменению молекулярного веса макромолекулы, а также накоплению одних и исчезновению других типов химических связей и т.д. Диапазон применения лавсанов очень широк и связан с его физическими характеристиками. Деформационные характеристики этих материалов информативны и чувствительны к воздействию электронного облучения, а также к структурным переходам в этих системах, что позволяет регулировать и целенаправленно изменять параметры межмолекулярного взаимодействия. Перестройка надмолекулярной структуры приводит к разнообразию свойств полимерного материала, приводящих к улучшению или ухудшению его конкретных технических характеристик [6]. Природа и температура облучения полимеров влияет на процессы сшивания, деструкции, образование химически ненасыщенных связей и газообразных продуктов. В работе [7] исследования по изучению влияния электронного облучения на механическую прочность различных полимерных пленок показали, что из всех выбранных веществ полиэтилентерефталатный материал более прочный и стойкий к электронному излучению. ПЭТФ – это синтетический полимер, содержащий в молекуле терефталатную группу, он относится к линейным полиэфирам и обладает более высокой кристалличностью структуры. Присутствие регулярно расположенных в цепи, усиливающих межмолекулярные взаимодействия полярных групп – $O - CO$

–, формируют жесткость материала [8]. Широкий диапазон применения лавсанов связан с его физическими характеристиками, в частности с использованием окислителей, фоторадиации и др. Лавсановые пленки, как и полиимидные, имеют свою нишу при изготовлении электроизоляции, пленок, волокон и т.д.

Исследование процессов механической и термомеханической деформаций в полимерных материалах при облучении высокоэнергетическими электронами представляет научно-практический интерес. Деформационные характеристики таких материалов информативны и чувствительны к воздействию электронного облучения, а также к структурным переходам в этих системах, что позволяет регулировать и целенаправленно изменять параметры межмолекулярного взаимодействия.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Объект исследования – полиэтилентерефталатная промышленная пленка производства США (типа Maylar) шириной 5 мм, рабочей длиной 50 мм, толщиной 100 мкм. Облучение образцов производилось на воздухе при 20 °С на ускорителе электронов типа ЭЛУ-6 с энергией 4 МэВ, плотностью тока 0,5 мкА/см², длительностью импульсов 5 мкс при частоте их повторения 200 Гц. Поглощенные дозы (D) составляли: 0– 10^6 кГр. Пленочные образцы испытывались на одноосное растяжение при нормальных условиях вплоть до разрыва (при $T = 20 \pm 2$ °С, относительной влажности воздуха 45 ± 5 %). Полученные данные эксперимента передавались непосредственно в таблицы Excel и прошли требуемую математическую обработку (система Mathematica 5).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Получены зависимости относительного удлинения (ϵ) от дозы облучения D при различных температурах. Увеличение дозы электронного облучения до 10^4 Гр для температур 293, 393 и 473 К зафиксировало медленное уменьшение относительного удлинения. Дальнейший рост дозы до 10^6 Гр приводит к резкому падению относительного удлинения до 0, связанному с усиливающимися процессами деструкции.

Аналогичная зависимость имеет место и для напряжения $\sigma(D)$. Для интервала температур 293–473 К значения ε изменяются на 50 %, а σ – примерно в 2 раза.

Рассмотрена простейшая физическая модель [9]:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \exp\left(-\frac{D}{D_0}\right).$$

Результаты расчетов приведены в таблице 1. Видно неплохое согласие расчетов с экспериментальными данными.

Таблица 1. Зависимость относительного удлинения пленок типа Майлар от дозы электронного облучения при различных температурах

D, Гр	T = 293 К		T = 393 К		T = 473 К	
	$\varepsilon_{\text{экспер}}, \%$	$\varepsilon_{\text{расчет}}, \%$	$\varepsilon_{\text{экспер}}, \%$	$\varepsilon_{\text{расчет}}, \%$	$\varepsilon_{\text{экспер}}, \%$	$\varepsilon_{\text{расчет}}, \%$
0	70	75	120	120	130	135
$4 \cdot 10^3$	73	74,83	119	119,6	133	134,6
10^4	75	73,3	118	116	127	130,6
$8 \cdot 10^4$	76	65,2	117	97,9	120	110,7
$4 \cdot 10^5$	10	10,04	10	30,9	10	35,9

Напряжение, создаваемое в полимере под действием внешних нагрузок, распространяется с определенной скоростью от точки приложения силы вдоль образца, и точкой разрыва пленки при этом является ближайший к месту приложения нагрузки ослабленный фрагмент. При больших дозах слабосвязанные фрагменты установочных элементов и рост температуры резко снижают механическую прочность поли-

мера. Облучение воздействует на аморфную фазу материала, и деструкция происходит по главной цепи, поскольку в ней возникают высокие напряжения.

Майлар обладает сложным гетерогенным строением со значительной долей межфибриллярных аморфных областей, разделяющих смежные микрофибриллы, наряду с внутрифибриллярными аморфными прослойками [10]. В первую очередь, облучение воздействует на аморфную фазу материала [11, 12]. Деструкция происходит, в основном, по главной цепи, поскольку в ней возникают высокие напряжения.

Таким образом, влияние электронного облучения, нагрузки и температуры на механические свойства майларовых пленок очень существенно и описывается в рамках экспоненциальных моделей.

Выводы

1. Установлено, что с ростом дозы электронного облучения до 10^4 Гр протекает медленное уменьшение деформации для Майлара, а дальнейшее увеличение до 10^6 Гр приводит к резкому его убыванию. Повышение температуры увеличивает относительное удлинение более чем на 50 %, связанное с ростом деструкционных процессов в материале.

2. Физическая модель по зависимости деформации от дозы электронного облучения, удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными. Кривые зависимости $\varepsilon(D)$ для Майлара описываются экспоненциальными функциями, причем с ростом температуры деформация растёт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудайкулова С.К., Исаков Р.М., Кравцова В.Д., Умерзакова М.Б., Abadie M., Жубанов Б.А. и др. Полимеры специального назначения. – Алматы, 2006. – 310 с.
2. Брукс Д., Джэйлз Дж. Производство упаковки из ПЭТ/ пер. с англ. под ред. О. Ю. Сабая. – СПб.: Профессия, 2006. – 368 с.
3. Ivchenko V.A. Atomic structure of cascades of atomic displacements in metals and alloys after different types of radiation// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 110 012003. – 2016. – P. 1–5.
4. Tleukenov Y.O., Plotnikov S.V., Erdybaeva N.K., Pogrebnnyak A.D. Studying of nanocomposite films' structure and properties obtained by magnetron sputtering// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 110 012004. – 2016. – P. 1–5.
5. Kupchishin A.I., Niyazov M.N., Voronova N.A., Kirdyashkin V.I., Abdukhairova A.T. The effect of temperature, static load and electron beam irradiation on the deformation of linear polymers// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 168 012016 – 2017 – P. 1–4.
6. Радиационная химия полимеров/ Под ред. В.А. Каргина. – М.: Наука, 1973. – 454 с.
7. Герасименко Н.Н., Воронова Н.А., Ковтунец В.А., Таипова Б.Г., Купчишин А.И., Омарбекова Ж.А. Исследование механических свойств полимерных пленок при воздействии на них статической нагрузки и температуры // Известия вузов. Материалы электронной техники. – 2003. – С. 6–12.
8. Уайт Дж.Л., Чой Д.Д. Полиэтилен, полипропилен и другие полиолефины. – СПб.: Профессия, 2006. – 368 с.
9. Kupchishin A.I., Taipova B.G., Kupchishin A.A., Voronova N.A., Kirdyashkin V.I., Fursa T.V. Catastrophic models of materials destruction// IOP Conf. Series: Material Science and Engineering. 110. 012037. – 2016. – P. 1–5.
10. Лайус Л.А., Слуцкер А.И., Гофман И.В., Гиляров В.Л. Взаимосвязь характеристик обратимых термических и силовых деформаций в твердых телах различной структуры// Физика твердого тела. – 2004. – Т. 46, вып. 6. – С. 1115–1122.
11. Кудашев С.В., Урманцев У.Р., Селезнева Г.В., Рахимова Н.А., Желтобрюхов В.Ф. Поверхностная модификация гранул полиэтилентерефталата фторсодержащими уретанами// Журнал прикладной химии. – 2012. – Т. 85, вып. 11. – С. 1860–1866.
12. Fisher W., Korelli J. Effect of ionizing radiation of the chemical composition, crystalline content and structure and flow properties of PTFE// Ibid. – 1981. – Vol. 19, № 10. – P. 2465–2493.

**ПОЛИМЕРЛІК МАТЕРИАЛДАРДЫҢ ЭЛЕКТРОНДЫҚ СӘУЛЕЛЕНУ ДОЗАСЫНА
ДЕФОРМАЦИЯЛЫҚ ТӘУЕЛДІЛІГІ**

^{1,2)} А.И. Купчишин, ¹⁾ Б.Г. Таипова, ¹⁾ Н.А. Воронова, ¹⁾ А.М. Суших

¹⁾ *Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан*

²⁾ *ал-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан*

Бұл жұмыста жоғары энергетикалық электрондармен сәулеленудің, майлар пленкаларының механикалық қасиеттеріне жүктемелерның мен температураның әсері қарастырылды. Қарапайым физикалық модель әзірленді. Зерттеулер электронды сәулелену дозасының 10^4 Гр дейін өсуімен майлар үшін деформацияның баяу азаюы байқалатынын көрсетті, ал одан әрі 10^6 Гр дейін артуы оның күрт төмендеуіне әкеледі. Бұл ретте температураның жоғарылауымен материалдағы деструкциялық процестердің өсуімен байланысты салыстырмалы ұзаруы 50 % – дан асады. Деформация мен кернеудің электрондық сәулелену дозасынан тәуелділігі экспоненциалды функциялармен сипатталады және эксперименттік деректермен қанағаттанарлық деңгейінде сәйкес келді.

**DEFORMATION DEPENDENCE OF POLYMER MATERIALS
ON THE DOSE OF ELECTRONIC RADIATION**

^{1,2)} A.I. Kupchishin, ¹⁾ B.G. Taipova, ¹⁾ N.A. Voronova, ¹⁾ A.M. Sushchikh

¹⁾ *Kazakh National Pedagogical University named after Abai, Almaty, Kazakhstan*

²⁾ *Kazakh National University named after al-Farabi, Almaty, Kazakhstan*

In this paper we consider the effect of high-energy electron irradiation, load and temperature on the mechanical properties of Mylar films. The simplest physical model is developed. Studies have shown that with an increase in the dose of electron irradiation to 10^4 Gy, there is a slow decrease in deformation for Mylar, and a further increase to 10^6 Gy leads to a sharp decrease in it. At the same time, with increasing temperature, the relative elongation increases by more than 50 %, associated with the growth of destructive processes in the material. The dependences of strain and stress on the dose of electron irradiation are described by exponential functions and are in satisfactory agreement with experimental data.