

УДК 539.16.04

О КОМПЛЕКСНОМ ВЛИЯНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ, МЕХАНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ И ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛИНЕЙНЫХ ПОЛИМЕРОВ

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

Проведены экспериментальные исследования по влиянию статического напряжения (σ), дозы электронного облучения (D) и температуры (T) на деформацию (ϵ) во времени (τ) необлученного и облученного фторопласта. Комплексное воздействие электронного облучения и напряжения приводит к существенному увеличению деформации вплоть до разрыва. При механических воздействиях с увеличением поглощенной дозы напряжение и относительное удлинение фторопласта уменьшаются, что связано с деградацией основных цепей фторопласта. Облучение политетрафторэтилена при термомеханических испытаниях приводит к уменьшению деформации по сравнению с необлученным материалом.

ВВЕДЕНИЕ

Наличие у полимерных материалов определенных свойств, которыми не обладает значительная часть традиционных материалов, объясняет их широкое применение в различных отраслях жизнедеятельности. Одной из важнейших задач является сохранение высокой механической прочности при внешних воздействиях [1]. Эксплуатация полимеров в промышленности способствует постепенному улучшению их свойств разными методами, так как конкуренция по производству качественной продукции достаточно высокая. Немаловажное значение уделяется исследованиям по улучшению механических свойств. Применение полимеров в жестких промышленных условиях, когда одновременно изменяется как механическая нагрузка, так и температура, предопределяет наличие у них необходимого комплекса термомеханических характеристик. Среди всех материалов политетрафторэтилен (фторопласт, ПТФЭ) обладает хорошими свойствами. Он имеет высокую точку плавления, а плотно упакованные линейные цепи придают ему жесткость при повышенных температурах.

Наличие различных радиоактивных источников в ядерных объектах и в космических лучах приводит к излучению значительного количества электронного, гамма-излучения. В связи с этим, в работах [2–6] исследуется влияние поглощенной дозы на характеристики материалов. Так как фторопласт применяется в ядерной, аэрокосмической и автомобильной промышленности в качестве различных типов огнестойких кабелей, ракетных щитов, бензонасосов, оборудования аэрокосмической промышленности, верхней одежды астронавта, тепловых экранов космических аппаратов, носового конуса, топливных баков, шлангов высокого давления и т.д., его применение расширяется [7–12]. На практике материал испытывает воздействие различных факторов одновременно. К примеру, при перевозке грузов при помощи автомобилей, детали, сделанные из различных материалов, испытывают статическое, нестатическое напряжения и

деформируются, что говорит об актуальности работ подобного направления.

В данной работе проведены экспериментальные исследования по влиянию статического напряжения, электронного облучения и температуры на деформацию во времени необлученного и облученного фторопласта.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

С целью проведения исследований по зависимости относительного удлинения от времени нами была разработана и изготовлена соответствующая экспериментальная установка (рисунок 1). Она состоит из следующих частей: датчик силы (1), реостатный датчик удлинения-напряжения (2), электронный блок считывания информации (3), основа и крепления установки (4), зажимы (5), датчик обработки параметров напряжения (6), источник постоянного напряжения (7), статическое напряжение (8). Основа представляет собой штатив с множеством креплений, на которых расположены все части установки.

Для проведения экспериментов термомеханических исследований была также разработана и изготовлена соответствующая экспериментальная установка, которая состоит из следующих блоков: стойка, основание, экспериментальная камера, держатели, зажимы, исследуемый образец, термоэлектронный нагреватель (ТЭН), датчик температуры, грузов, датчик измерения длины. В качестве исследуемого материала был выбран пленочный политетрафторэтилен (ПТФЭ) толщиной 100 мкм. Листы пленки разрезались на полоски размером 5×70 мм². Пленочные образцы были облучены дозой 5 кГр в условиях окружающей среды. Часть материалов не подвергалась облучению, и использовались как контрольные образцы. Облучение электронами проводилось на линейном ускорителе ЭЛУ-6 с энергией 2 МэВ. Мощность дозы составила $60 \pm 0,06$ Гр/с и была измерена дозиметрической системой Фрика в соответствии со стандартом ASTM-E1026 (ASTM, 2013).



Рисунок 1. Экспериментальная установка

Образцы пленок для облучения устанавливались на расстоянии 30 см от выходного окна ускорителя. Величина тока пучка составляла 0,16 мкА/см². Распределение дозы внутри ускорительного зала определяли с помощью дозиметрической системы ДРГ-01т1. Температура материала при исследованиях составляла 23 °С. Испытания на растяжение проводились в соответствии с ASTM-D882 Стандарт (Стандарт ASTM, 2002) на универсальной разрывной машине модель РУ-50, со скоростью хода 100 мм/мин.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Влияние электронного облучения на зависимости ε от τ при статическом напряжении 23 МПа для различных доз представлены на рисунке 2. Закономерности изменения деформации позволяют изучать и оценивать характер структурных изменений материала, обусловленных влиянием облучения и статической нагрузки. Как видно из рисунка, для необлученного образца и облученного дозой 5 кГр характер кривых одинаковый. В первые 10 секунд наблюдается резкое увеличение относительного удлинения (для необлученного на 230 %, для $D = 5$ кГр на 350 %)

На втором этапе – при $\tau = 12\text{--}100$ с ε выходит на насыщение. При дозе облучения 10 кГр деформации растут на 400 % и материал разрывается, что свидетельствует о катастрофическом его разрушении. Комплексное воздействие электронного облучения при $D = 10$ кГр и напряжения 23 МПа приводит к критическому увеличению деформации, приводящей

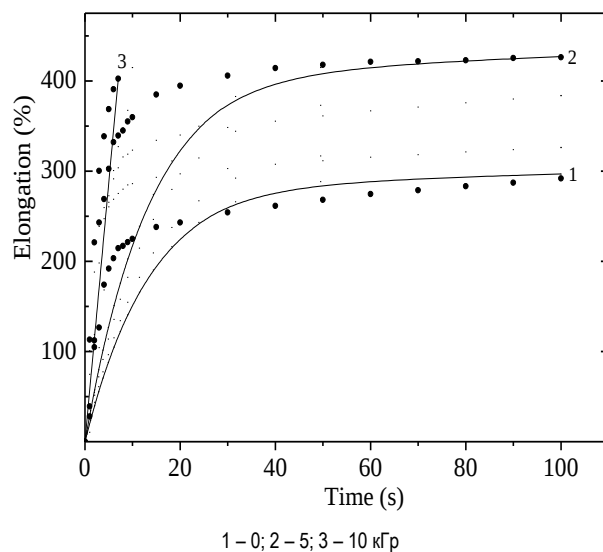


Рисунок 2. Зависимость деформации от времени фторопласта при статическом напряжении 23 МПа

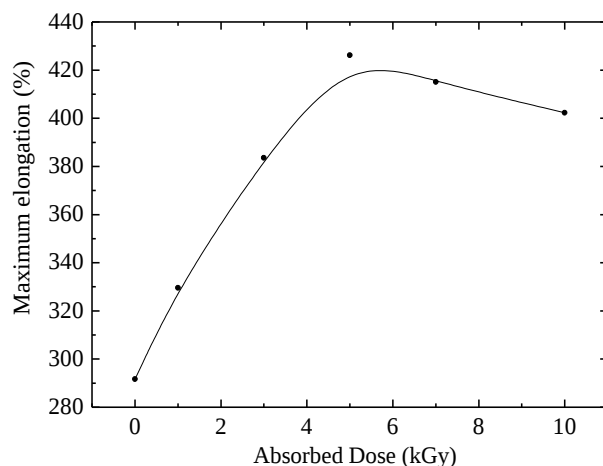


Рисунок 3. Зависимость максимального относительного удлинения от поглощенной дозы фторопласта при статическом напряжении 23 МПа

к разрыву. Кривая 3 – описывается линейной функцией, а кривые 1, 2 – формулой (каскадно-вероятностная модель) [13]:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \left(1 - \exp \left(- \frac{\tau}{\tau_0} \right) \right).$$

На рисунке 3 представлена зависимость максимальной деформации от дозы электронного облучения для политетрафторэтилена при статической нагрузке 23 МПа. Установлено, что до доз 5 кГр происходят процессы структурирования и сшивания. Кривая имеет линейный возрастающий характер. Дальнейший рост дозы ведет к деструкции и исследуемый образец рвется при меньшем напряжении.

Проведение ряда экспериментов (рисунок 4) показало, что фторопласт ведет себя по-разному на разных этапах нагревания, где $t = T - T_0$ ($T_0 = 293$). Проведены экспериментальные исследования зависимо-

сти деформации ε от температуры t при различных напряжениях $\sigma_1 = 9$ МПа, $\sigma_2 = 11$ МПа, $\sigma_3 = 13$ МПа в политетрафторэтилене. Обнаружено, что в интервале температур 23–30 °С ε изменяется незначительно. Далее при $t = 30\text{--}55$ °С происходит существенное удлинение исследуемых образцов. При $t > 55$ °С рост удлинения замедляется, т.е. $\varepsilon(t)$ постепенно выходит на насыщение. Это связано с разрывом жестких, более прочных цепей. Наибольшая деформация ε составляет ~450 % при $t = 85$ °С и $\sigma = 13$ МПа. Характеристики облученного материала представлены в таблице 1.

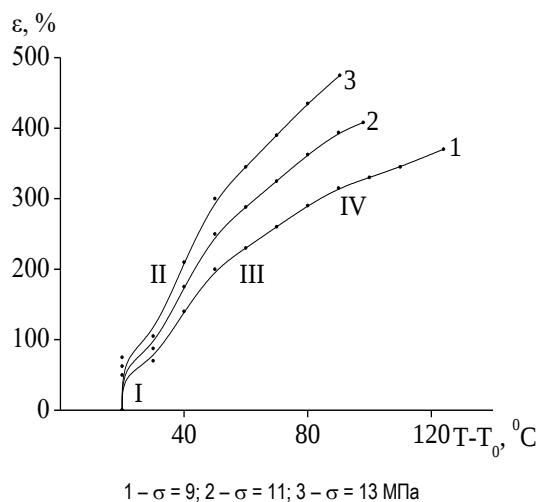


Рисунок 4. Термомеханические кривые для политетрафторэтилена при различных постоянных нагрузках

Таблица 1. Данные термомеханических испытаний облученного фторопласта дозой 5 кГр

Статическое напряжение, МПа	ε , %	t , °С
5	0	26
	6	26
	12	36
	16	46
	20	56
	24	66
	28	76
9	30	86
	0	26
	18	26
	22	32
	28	40
	32	44
	36	48
	40	52
	42	55

С ростом дозы облучения и температуры относительное удлинение ПТФЭ увеличивается. Причем, до дозы 10 кГр растяжение осуществляется значительно быстрее, чем при $D > 10$ кГр, что связано с выпрямлением макромолекул, которые представляют собой закрученные комплексы.

Ввиду своей радиационной нестойкости и происходящей деструкции, облученный материал рвется при малых деформациях.

Облучение политетрафторэтилена приводит к потере пластичности, существенному уменьшению деформации (по сравнению с необлученным материалом) ~ на 170 %, что связано с деструкцией всех цепей полимера.

Выводы

1. Исследования влияния электронного облучения на зависимости $\varepsilon(t)$ при статической нагрузке установили, что для необлученных и облученных до доз 5 кГр образцов политетрафторэтилена характер кривых одинаковый (в первые 10 секунд идет резкое увеличение относительного удлинения (для необлученного на 230 %, для облученного с $D = 5$ кГр на 350 %)). В интервале $\tau = 12\text{--}100$ с ε выходит на насыщение. Комплексное воздействие электронного облучения при $D = 10$ кГр и напряжения при 23 МПа приводит к увеличению деформации, вплоть до разрыва.

2. Напряжение и относительное удлинение фторопласта уменьшаются с увеличением значения поглощенной дозы. Причиной служит деградация основных цепей фторопласта, вызванная его облучением.

3. При изучении зависимости деформации ε от температуры t при различных напряжениях $\sigma_1 = 9$ МПа, $\sigma_2 = 11$ МПа, $\sigma_3 = 13$ МПа в политетрафторэтилене обнаружено, что в интервале температур 23–30 °С ε изменяется незначительно. Далее при $t = 30\text{--}55$ °С происходит существенное удлинение исследуемых образцов. При $t > 55$ °С рост удлинения замедляется, т.е. $\varepsilon(t)$ постепенно выходит на насыщение. Это связано с разрывом жестких, более прочных цепей.

4. Облучение образцов политетрафторэтилена приводит к потере пластичности, существенному уменьшению деформации (~ в 10 раз) по сравнению с необлученным образцом при термомеханических испытаниях.

5. Экспериментальная зависимость ε от τ как для необлученного, так и для облученного материала удовлетворительно описывается в рамках каскадно-вероятностной модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Surzhikov A.P., Galtseva O.V., Vasendina E.A., Vlasov V.A., Nikolaev E.V. Processing line for industrial radiation-thermal synthesis of doped lithium ferrite powders// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 110 012002. – 2016. – P. 1–4.
2. Ahmed B., Raghuvanshi S.K., Srivastava A.K. Optical and structural study of aromatic polymers irradiated by gamma radiation// Indian J. Pure Appl. Phys. – 2012. – Vol. 50. – P. 892 – 898.
3. Alwan T.J. Gamma irradiation effect on the optical properties and refractive index dispersion of dye doped polystyrene films// Turk. J. Phys. – 2011. – Vol. 36. – P. 377 – 384.
4. El-Diasty F., Bakry A.M. Spectroscopic and sub-bandgap optical properties of gamma-irradiated cellulose triacetate polymer// J. Phys. D: Appl. Phys. 42. – 2009.
5. Prasad S.G., De A., De U. Structural and optical investigations of radiation damage in transparent PET polymer films// Int. J. Spectrosc. – 2011. – Vol. 11, 7.
6. Sharma T., Aggarwal S., Kumar S., Mitta, V.K., Kalsi P.C., Manchanda V.K. Effect of gamma irradiation on the optical properties of Cr-39 polymer// J. Mater. – 2007. – Vol. 42. – P. 1127 – 1130.
7. Mohammadian-Kohol M., Asgari M., Shakur H.R. Effect of gamma irradiation on the structural, mechanical and optical properties of polytetrafluoroethylene sheet// Elsevier Ltd. – 2018. – Vol. 145. – P. 11 – 18. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2017.12.007
8. Hedman T.D., Demko A.R., Kalman J. Enhanced ignition of milled boron- polytetrafluoroethylene mixtures// Elsevier Inc. – 2018. – Vol. 198. – Issue 1. – P. 112 – 119. DOI: 10.1016/j.combustflame.2018.08.020
9. Shao Y., Zhu L., Li W., Liu H. Anti-asphalt properties of PPS/PTFE composite coatings at high temperature// Taylor and Francis Ltd. – 2018. – Vol. 34. – Issue 11. – P. 877 – 883. DOI:10.1080/02670844.2018.1444547
10. Yuan Q., Jun G., Wenhan C., Honggang W., Junfang R., Gui G. Tribological Behavior of PTFE Composites Filled with PEEK and Nano- Al_2O_3 // Taylor and Francis Inc. – 2018. – Vol. 34. – Issue 11. – P. 877 – 883. DOI:10.1080/10402004.2017.1395099
11. Zhao G, Wu C., Zhang L., Song, J., Ding Q. Friction and wear behavior of PI and PTFE composites for ultrasonic motors// John Wiley and Sons Ltd. – 2018. – Vol. 29. – Issue 5. – P. 1487 – 1496. DOI:10.1002/pat.4260
12. Zhilin C., Xingyu C., Lu M., Zan, L., Dunzhong Q. Study on mechanical performance and wear resistance of halloysite nanotubes/PTFE nanocomposites prepared by employing solution mixing method// Research Institute of Petroleum Processing, SINOPEC. – 2018. – Vol. 20. – Issue 1. – P. 101 – 109.
13. Voronova N.A., Kupchishin A.I., Niyazov M.N., Lisitsyn V.M. Uniaxial Stress and Electron Irradiation Effects on Nanochains Straightening in Film Polymer Materials// Key Engineering Materials. – 2018. – Vol. 769. – P. 78 – 83.

СЫЗЫҚТЫҚ ПОЛИМЕРЛЕРДІҢ МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ТЕМПЕРАТУРАНЫҢ, МЕХАНИКАЛЫҚ ЖҮКТЕМЕНИҢ ЖӘНЕ ЭЛЕКТРОНДЫҚ СӘУЛЕЛЕНУДІҢ КЕШЕНДІ ӘСЕРІ ТУРАЛЫ

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

¹⁾ Абай атындағы Қазақ Ұлттық Педагогикалық Университеті, Алматы, Қазақстан

²⁾ Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

Сәулеленбеген және сәулеленген фторопласт уақытында статикалық кернеудің (σ), электрондық сәулелену дозасының (D) және деформацияға (ε) температураның (T) әсері бойынша эксперименттік зерттеулер жүргізілді. Электронды сәулелендіру мен кернеудің кешенді әсері үзілуге дейін деформацияның елеулі артуына әкеледі. Сіңірілген дозаның ұлғаюымен механикалық әсер ету кезінде фторопластың кернеуі мен салыстырмалы ұзаруы азаяды, бұл фторопластың негізгі тізбектерінің тозуымен байланысты. Термомеханикалық сынақтар кезінде политетрафторэтиленнің сәулеленуі сәулеленбеген материалмен салыстырғанда деформацияның азаюына әкеледі.

ON THE INTEGRATED EFFECT OF TEMPERATURE, MECHANICAL STRESS AND ELECTRON RADIATION ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF LINEAR POLYMERS

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

¹⁾ Kazakh National Pedagogical University by Abay, Almaty, Kazakhstan

²⁾ Kazakh National University by al-Farabi, Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan

Experimental studies on the effect of static stress (σ), electron dose (D) and temperature (T) on the deformation (ε) in time (τ) of unirradiated and irradiated fluoroplastic were carried out. The combined effect of electron irradiation and stress leads to a significant increase in the strain up to rupture. With mechanical effects, with an increase in the absorbed dose, the stress and relative elongation of the fluoroplastic decrease, which is associated with the degradation of the main circuits of the fluoroplastic. Irradiation of polytetrafluoroethylene during thermomechanical testing leads to a decrease in deformation compared to unirradiated material.