

УДК 53531

КОМПЛЕКСНОЕ ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ, МЕХАНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ И ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛИНЕЙНЫХ ПОЛИМЕРОВ¹⁾ Воронова Н.А., ^{1,2)} Купчишин А.И., ¹⁾ Ниязов М.Н., ¹⁾ Кирдяшкин В.И.¹⁾ Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Алматы, Казахстан²⁾ Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Проведены комплексные экспериментальные исследования по влиянию температуры, статической нагрузки и электронного облучения на термомеханические свойства политетрафторэтиленового материала. Полученные данные зависимости ε от t подтверждает наличие фазовых переходов в данной пленке. Облучение существенно влияет на зависимости $\varepsilon(t)$ и $\varepsilon(\sigma)$. Политетрафторэтиленовый материал после облучения электронами теряет пластичность, существенно уменьшается деформация (по сравнению с необлученным материалом) на ~170 %, что связано с деструкцией всех цепей. Экспериментальная зависимость ε от σ как для необлученного, так и для облученного материала удовлетворительно описывается в рамках каскадно-вероятностной модели.

ВВЕДЕНИЕ

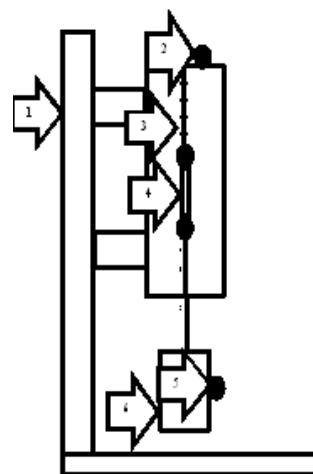
Широкое применение полимерных материалов и композитов на их основе в различных отраслях науки и техники объясняется наличием у них определенного комплекса свойств, которыми не обладает значительная часть традиционных материалов. Одной из важнейших характеристик при этом является сохранение высокой механической прочности при внешних воздействиях [1–5]. Использование полимеров в промышленности способствует выявлению противоречий между ценой и свойствами, так как конкуренция по производству качественной продукции достаточно высокая. После того как механика композитных материалов нашла широкое применение и начала бурное развитие, ее основной целью стала модификация материалов и улучшение их 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 [6, 8]. Среди всех полимерных материалов политетрафторэтилен обладает довольно хорошими свойствами. Он имеет высокую точку плавления, а плотно упакованные линейные цепи, придают ему жесткость при повышенных температурах [9, 10].

В данной работе проведены экспериментальные исследования по влиянию температуры, статической нагрузки и электронного облучения на деформацию необлученного и облученного политетрафторэтилена.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ КАМЕРА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для проведения экспериментов по комплексному воздействию температуры, нагрузки и облучения нами была разработана и изготовлена соответствующая экспериментальная установка. Ее схема приведена на рисунке 1. Установка состоит из следующих блоков: стойка, основание, экспериментальная камера, держатели, зажимы, исследуемый образец, термоэлектронный нагреватель (ТЭН), датчик температуры, ста-

тистическая нагрузка, датчик измерения длины образца. Нагреватель представляет собой U-образную трубку из нержавеющей стали с малой теплоемкостью, внутри которой расположена проволочная спираль с большим удельным сопротивлением. ТЭН отделен от каркаса теплоизолятором. Для измерения температуры (t) был применен игольчатый-электронный термометр. Для измерения длины образца использован специальный датчик перемещения тела, разработанный фирмой Science Cube.



1 - стойка; 2 - датчик температурный; 3 - экспериментальная камера; 4 - образец с зажимами; 5 - датчик деформации; 6 - статическая нагрузка

Рисунок 1. Схема экспериментальной установки

В качестве исследуемого материала был выбран промышленный политетрафторэтилен толщиной 100 мкм. Пленочные образцы нарезались с помощью специального устройства. Длина испытываемого материала составляла 7 см, рабочая часть 5 см (2 см полимерного образца закреплялось в зажимах), ширина 0,5 см. Данная пленка подвергалась одноосному растяжению при постоянной статической нагрузке.

Облучение образцов проводилось на линейном ускорителе электронов ЭЛУ-6 с энергией 2 МэВ в воздушной среде. Доза составляла 5 кГр. Пленочные

образцы облучались в течение трех минут на расстоянии 40 см. от выходного окна ускорителя. Высота закрепления образцов во время облучения совпадала с центром выходного окна и равнялась 30 см. При проведении работ температура образцов равнялась 23 °С, а относительная влажность – 55 %.

Предварительно с помощью специальных грузов определялась предельная нагрузка, при которой наступает разрыв испытуемого полимера. Для данного эксперимента напряжение составляло 35–38 МПа. Затем рассчитывалось напряжение, составляющее определенную часть от предельного напряжения. Следующим этапом являлась фиксация деформации при комнатной температуре для данной нагрузки. При проведении эксперимента нагрузка не менялась. После закрепления образец помещался в камеру и включался термоэлектронный нагреватель. Далее определялись все необходимые параметры.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведены экспериментальные работы по исследованию зависимости деформации от температуры при различных значениях напряжения: $\sigma_1 = 9$; $\sigma_2 = 11$ и $\sigma_3 = 13$ МПа. Испытания проводились при температурах в интервале 23–120 °С.

В результате проведения ряда экспериментов (см. таблицу), было обнаружено, что фторопласт ведет себя по-разному на разных этапах нагревания. При приложении большого напряжения происходят разрушающие процессы, идущие в нескольких стадиях: I. Выпрямление свободных полимерных цепей (23 °С); II. Выпрямление связанных цепей (23–35 °С); III. Катастрофическое разрушение (35–45 °С); IV. Разрушение цепей с сильными связями (45–120 °С). При приложении нагрузки и комнатной температуры происходит резкое удлинение исследуемых образцов. Причиной такого поведения материала является выпрямление макромолекул, которые представляют собой закрученные комплексы. Далее в интервале 23–35 °С наблюдается небольшое увеличение относительного удлинения, что связано с выпрямлением жестко связанных цепей. В интервале 35–45 °С происходит катастрофическое разрушение слабых цепей, в том числе связанный с наличием фазовых переходов. При $t > 40$ °С имеется тенденция постепенного выхода деформации на насыщение. Это связано с разрывом жестких, более прочных цепей. Максимальная деформация при $t = 85$ °С и $\sigma = 13$ МПа достигает 450 %.

Далее снималась экспериментальная зависимость ε от σ как для необлученного (кривая 1) так и для облученного (кривая 2) дозой 5 кГр фторопласта (рисунок 2). Из рисунка следует, что с ростом напряжения до $\sigma \sim 18$ МПа деформация сначала медленно увеличивается, а затем резко растет по экспоненциальному закону. Здесь же приведена расчетная кривая, вычисленная в рамках каскадно-вероятностной модели [7] по формуле: $\varepsilon = \exp(\sigma/\sigma_0) - 1$.

Таблица. Зависимость деформации необлученного политетрафторэтилена от температуры при разных статических нагрузках $\sigma_1 = 9$; $\sigma_2 = 11$ и $\sigma_3 = 13$ МПа

t, °C	23	23	35	45	55	80	120
ε_1 , %	0	26	37	150	200	280	310
ε_2 , %	0	39	50	170	250	340	380
ε_3 , %	0	50	62	200	300	420	450

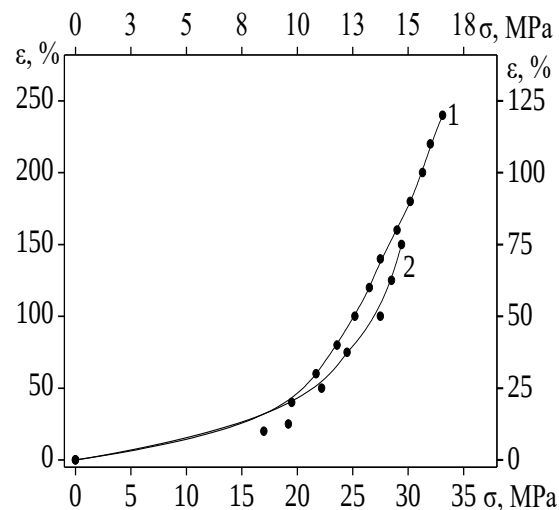


Рисунок 2. Зависимость деформации от напряжения для необлученного (левая и нижняя оси, кривая 1) и облученного (правая и верхняя оси, кривая 2) политетрафторэтиленового материала

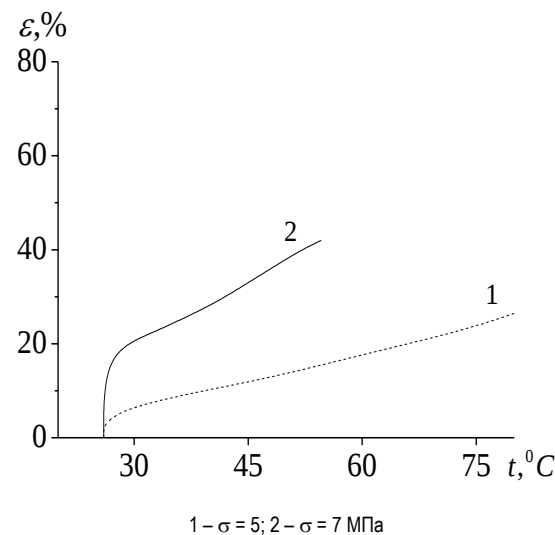


Рисунок 3. Зависимость деформации от температуры для политетрафторэтилена, облученного дозой 5 кГр, при различных постоянных нагрузках

Для данного эксперимента у необлученного материала $\sigma_0 = 26$ МПа. Видно удовлетворительное согласие экспериментальных данных с расчетом. Аналогичная зависимость приведена для облученного фторопласта, причем $\sigma_0 = 13$ МПа. После облучения дозой 5 кГр, образцы материала теряют пластичность и

начинают рваться при меньшей деформации, чем до облучения. При этом наблюдается уменьшение относительного удлинения по сравнению с необлученным материалом (рисунок 2), а прочность, при этом, не претерпевает значительных изменений.

Термомеханические кривые облученного фторопласта по сравнению с необлученным, показанные на рисунке 3, существенно отличаются. Ввиду своей радиационной нестойкости и происходящей деструкцией, облученный материал рвется при деформации в 9 раз меньшей, чем у необлученных образцов. При подвешивании грузов, которые дают напряжение больше 9 МПа, облученные образцы разрушаются сразу.

Выводы

1. Проведены экспериментальные исследования 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. Наибольшая деформация составляет ~450 % при $t = 85$ °С и $\sigma = 13$ МПа.

2. Ввиду своей радиационной нестойкости и происходящей деструкции, облученный материал при термомеханических испытаниях рвется при деформации в 9 раз меньшей, чем у необлученных образцов.

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

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Паншин Ю.А., Малкевич С.Г., Дунаевская Ц.С. Фторопласты. Л.: Химия. 1978, 228 с.
2. Фторполимеры. Под ред. Л. Уолла. Пер. с англ. Под ред. И.Л. Кнунянца, В.А. Пономаренко. М.: Мир, 1975, 448 с.
3. Пикаев А.К. Современная радиационная химия. Твердое тело и полимеры. Прикладные аспекты. М.: Наука, 1987, 448 с.
4. 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.
5. 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.
6. Радиационная стойкость органических материалов. Справочник. Под ред. В.К. Миличука, В.И. Тупикова. М.: Энергоатомиздат, 1986, 171 с.
7. 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.
8. Kupchishin A. I., Kupchishin A. A., Voronova N. A., Kirdyashkin V. I., Gyngazov V.A. Computer simulation radiation damages in condensed matters// IOP Conf. Series: Material Science and Engineering. 110. 012039. – 2016. – P. 1–4.
9. Истомин Н.П., Семенов А.П. Антифрикционные свойства композиционных материалов на основе фторполимеров. М.: Наука, 1981, 460 с.
10. Машков Ю.К., Овчар З.Н., Суриков В.И., Калистратова Л.Ф. Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена. М.: Машиностроение, 2005, 239 с.

СЫЗЫҚТЫҚ ПОЛИМЕРДІҢ МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТІНЕ МЕХАНИКАЛЫҚ ЖҮКТІҢ, ЭЛЕКТРОНДЫ СӘУЛЕЛЕНДІРУ ЖӘНЕ ТЕМПЕРАТУРАНЫҢ КОМПЛЕКСТІК ӘСЕРІ

¹⁾ Н.А. Воронова, ^{1,2)} А.И. Купчишин, ¹⁾ М.Н. Ниязов, ¹⁾ В.И. Кирдяшкин

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

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

Политетрафторэтиленді материалдың термомеханикалық қасиетіне электронды сәулелендіру, статикалық жүктің және температураның әсерін зерттеу үшін комплекссті эксперименттер жүргізілді. Зерттеу барысында алынған мәліметтер ε – t –дан тәуелділігі, осы пленкада фазалық ауысудың болуын растайды. Сәулелендіру $\varepsilon(t)$ және $\varepsilon(\sigma)$ тәуелділігіне айтарлықтай әсер етеді. Политетрафторэтиленді материал электрондармен сәулелендіруден кейін икемділікті жоғалтады, ~170 %-ға деформация айтарлықтай азаяды (сәулеленбеген материалмен салыстырғанда), бұл барлық тізбектердің бұзылуымен байланысты. Сәулелендірілмеген және де сәулелендірілген материалға ε –нің σ –дан тәжірибелік тәуелділігі каскадты-ықтималдық модель шеңберінде қанағаттанарлық сипатталған.

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

¹⁾ N.A. Voronova, ^{1,2)} A.I. Kupchishin, ¹⁾ M.N. Niyazov, ¹⁾ I.V. Kirdyashkin

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

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

Complex experimental studies on the effect of temperature, static load and electron irradiation on the thermomechanical properties of polytetrafluoroethylene material were carried out. The obtained data of the dependence ε on t confirms the presence of phase transitions in this film. Irradiation significantly affects the dependences $\varepsilon(t)$ and $\varepsilon(\sigma)$. Polytetrafluoroethylene material loses plasticity after electron irradiation, deformation (compared to non-irradiated material) by $\sim 170\%$, which is associated with the destruction of all chains. The experimental dependence ε on σ for both non-irradiated and irradiated material is satisfactorily described in the cascade-probabilistic model.