

**Влияние термомеханического воздействия на светостойкость полиэтилена**

С. Дж. Гафуров, Т. Б. Бобоев, Ф. Х. Истамов

*В работе изучалось влияние предварительной термомеханической обработки на изменения светостойкости пленок полиэтилена. Исследовались три серии образцов: исходные неотожженные (серия 1), отожженные в свободном (серия 2) и в фиксированном состояниях (серия 3). Показано, что в образцах серии 3 наблюдается замедление фотодеструкции, связанное с изменением надмолекулярной структуры полимера при отжиге.*

*Ключевые слова:* УФ-облучение, полиэтилен, отжиг, фотодеструкция, светостойкость, субмикротрещина.

**Введение**

Известно, что под влиянием ультрафиолетового излучения в полимерах развиваются различные химические реакции, приводящие к изменению структуры и эксплуатационных характеристик полимеров [1–4]. Стремясь повысить светостойкость полимерных материалов, обычно в них вводят специальные вещества, которые дезактивируют молекулы в возбужденном состоянии, взаимодействуя со свободными радикалами и прерывая, тем самым, процессы разрушения полимерных цепей [1].

В отличие от традиционного химического способа светостабилизации полимеров, в работах [4, 5] был предложен физический способ повышения светостойкости полимера путем изменения его физической структуры, но без введения в образец любых химических компонентов.

Целью данной работы являлось изучение влияния термомеханической предыстории образцов полиэтилена на их механические характеристики и светостойкость.

**Экспериментальная часть**

В данной работе основные исследования проводились на полиэтилене. Образцы из полиэтилена (ПЭ) вначале подвергались термообработке в фиксированном и свободном состояниях, а

затем изучалась их светостойкость путем проверки их механической прочности. Отжиг образцов проводили в термокамере, причём в воздушной среде при 60, 70 и 80 °С. Общее время отжига варьировали в интервале 0–5 часов.

Светостойкость образцов оценивали по результатам измерения прочности, радиационной (ультрафиолетовой) долговечности и кинетики образования субмикротрещин.

Прочность образцов определяли по деформационным кривым, снятым при скорости растяжения 12 мм/мин. Исследования радиационной долговечности при  $\lambda = 254$  нм проводили согласно методике, описанной в [4].

Изучение кинетики образования субмикроскопических трещин (СМТ) проводилось методом дифракции рентгеновских лучей под малыми углами в меридиальном и экваториальном направлениях с использованием  $\text{Cu K}\alpha$ -излучения, фильтрованного никелем, на установке КРМ-1. По распределению интенсивности дискретного и диффузного рассеяния на малоугловых рентгенограммах оценивали величины больших периодов, размеры и концентрации СМТ [6].

**Результаты и обсуждение**

Для выявления влияния предыстории образцов на развитие фотодеструкции стадия отжига проводилась на образцах трех видов: исходные неотожженные (серия 1), подвергнутые отжигу при 70 °С в течение 1 ч в свободном (серия 2) и фиксированном (серия 3) состояниях.

Последующие измерения показали, что образцы, отожженные при температуре 70 °С в течение 1 часа в фиксированном состоянии, имеют наибольшую прочность на разрыв. Это продемонстрировано на рис. 1 (кривая б).

Гафуров Сафархон Джурахонович, старший преп., к.ф.-м.н.  
Бобоев Тошбой Бобоевич, д.ф.-м.н.  
Истамов Фарход Ходжамкулович, к.ф.-м.н.  
Таджикский национальный университет.  
Таджикистан, 734025, Душанбе, пр. Рудаки, 17.  
Тел. (+992) 91-528-25-85. E-mail: gafurovs.d@mail.ru

Статья поступила в редакцию 9 января 2018 г.

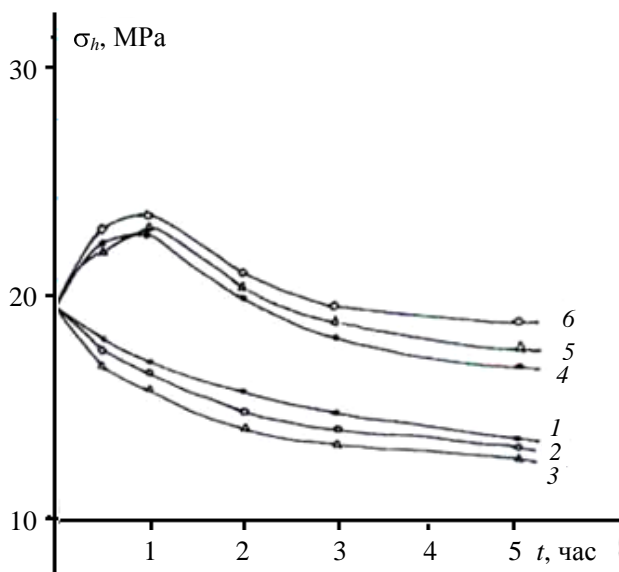


Рис. 1. Изменения разрывной прочности  $\sigma_n$  пленок ПЭ от продолжительности отжига  $t$  при различных температурах. 1–3 – образцы в свободном состоянии; 4–6 – в фиксированном состоянии.  $T = 60\text{ }^\circ\text{C}$  (1, 4),  $70\text{ }^\circ\text{C}$  (2, 6) и  $80\text{ }^\circ\text{C}$  (3, 5).

Результаты проведенного исследования влияния режима отжига на радиационную (ультрафиолетовую) долговечность полиэтилена показаны на рис. 2.

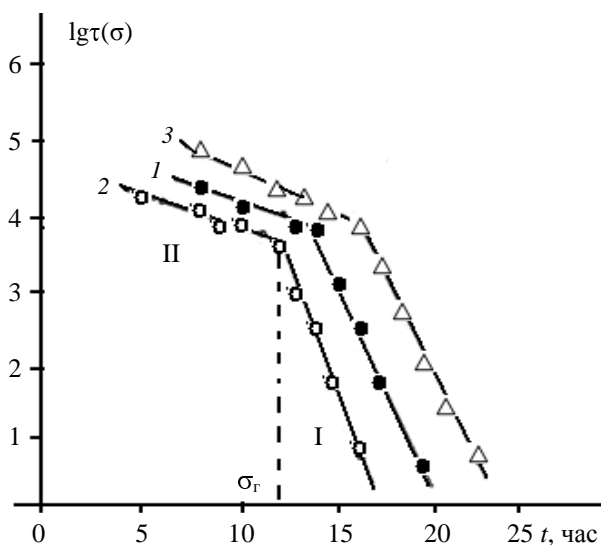


Рис. 2. Влияние условий и длительности  $t$  отжига на радиационную долговечность  $\tau$  образцов из ПЭ при  $\lambda = 254\text{ нм}$  для исходного образца (1) и образцов, отожженных в свободном (2) и фиксированном (3) состояниях.

Как видно, линия  $\lg \tau = f \sigma$  разбивает всю экспериментальную область на два участка. На первом участке (I – в области  $\sigma > \sigma_g$ ) значения радиационной долговечности  $\tau_j$  для образцов в случае излучения и его отсутствия совпадают. Влияние отжига на значение  $\tau_j$  проявляется только во втором участке (II при  $\sigma < \sigma_g$ ). Оказывается, что

в условиях фотомеханической деструкции долговечность образцов, отожженных в фиксированном состоянии, больше, чем у исходных и образцов, отожженных в свободном состоянии. В то же время долговечность образцов, отожженных в свободном состоянии, меньше чем в исходных, т. е. неотожженных образцах. Другими словами, если предварительный отжиг в фиксированном состоянии замедляет процесс фотомеханического разрушения, то отжиг в свободном состоянии, наоборот, ускоряет этот процесс.

Представленные результаты показывают, что предварительный отжиг в фиксированном состоянии приводит к повышению светостойкости полиэтилена в условиях последующей фотомеханической деструкции.

Обнаруженный эффект был также подтвержден экспериментальными результатами исследований влияния режима термообработки на кинетику образования субмикроскопических дефектов в условиях фотомеханической деструкции полиэтилена. Эти испытания проводились при нагрузках  $\sigma = 0,4\sigma_p$ , когда эффекты разрыва ярко проявляются на кривых долговечности  $\lg\tau(\sigma)$ . На рис. 3 представлена типичные СМТ от времени УФ-облучения и механической нагрузки для образцов из серии 3.

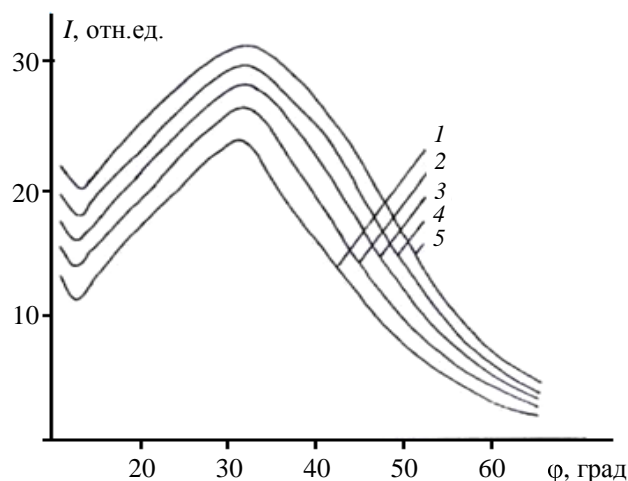


Рис. 3. Угловая дисперсия рентгеновских лучей в меридиональном направлении при одновременной работе нагрузки и ультрафиолетового света для образцов полиэтилена 1 –  $t = 0$ ; 2 –  $t = 5$  часов; 3 –  $t = 10$  часов; 4 –  $t = 15$  часов; 5 –  $t = 20$  часов.

Видно, что при одновременном воздействии УФ-излучения и нагрузки с ростом времени облучения  $t$  возрастает концентрация СМТ.

Отметим, что подобные изменения характерны и для других серий образцов. Обработка полученных СМТ в соответствии с методами [5, 6], показала, что размеры субмикроскопических дефектов (продольные  $N_l$  и поперечные  $N_t$ ) для се-

рии образцов следующие: соответственно 25 и 3 нм для исходных образцов, 27 и 31 нм для образцов, отожженных в свободном состоянии, 28 и 30 нм для образцов, отожженных в фиксированном состоянии. Размеры дефектов субмикротрещин не зависят ни от предыстории образцов, ни от продолжительности радиационного облучения.

Зависимость значения концентрации субмикроскопических дефектов от времени УФ-излучения и механической нагрузки  $\sigma = 5$  МПа показана на рис. 4.

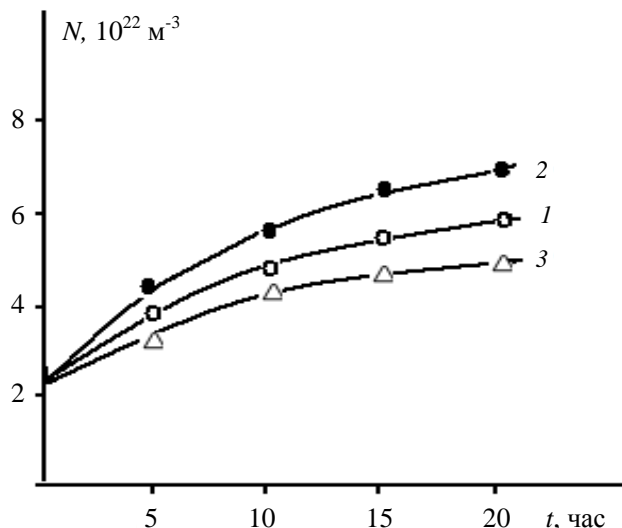


Рис. 4. Изменение концентрации СМТ в образцах из ПЭ в зависимости от времени действия механического напряжения и УФ-излучения для исходного образца (1) и образцов, отожженных в свободном (2) и фиксированном (3) состояниях.

Видно, что концентрация СМТ увеличивается с увеличением времени действия излучения и нагрузки. Однако концентрации СМТ в исходных и обработанных в термокамере образцах в свободном состоянии намного больше, чем в образцах, отожженных в фиксированном состоянии. Таким

образом, предварительный отжиг в фиксированном состоянии замедляет процесс образования субмикротрещин в условиях фотомеханической деструкции.

Согласно работе [5], отжиг образцов в фиксированном состоянии сопровождается увеличением плотности упаковки структурных элементов, улучшением ориентации, что и вызывает повышение твердости системы. Эти процессы, в свою очередь, могут замедлять развитие процессов фотоокисления, распад цепных молекул и вызывать существенное замедление процесса образования СМТ.

### Заключение

Результаты работы показывают, что путем предварительной термообработки образцов в фиксированном состоянии можно повысить светостойкость полиэтилена в условиях интенсивной внешней фотодеструкции. Предлагаемый способ повышения светостойкости (без предварительного введения каких-либо химических светостабилизаторов) является экологически чистым и может быть рекомендован к внедрению в практическую технологию.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ремби Б., Рабек Я. Фотодеструкция, фотоокисление, фотостабилизация полимеров. – М.: Мир, 1978.
2. Гиллет Дж. Фотофизика и фотохимия полимеров. – М.: Мир, 1988.
3. Шляпнито В. Я. Фотохимические превращения и стабилизация полимеров. – М.: Химия, 1979.
4. Бобоев Т. Фотомеханическое разрушение полимеров. – Душанбе: Матбуот, 2000.
5. Бобоев Т. Б., Джонов Е., Туйчиев Ш. // Высокомолек. соед. Сер. Б. 1988. Т. 40. № 8. С. 1372.
6. Тамуж В. П., Куксенко В. С. Микромеханика разрушения полимерных материалов. – Рига: Знание, 1978.

PACS: 61.43.Hv

## Influence of a thermomechanical prehistory on light resistance of polyethylene

S. J. Gafurov, T. B. Boboev, and F. H. Istamov

Tajik National University  
17 Rudaki av., Dushanbe, 734025, Tajikistan  
E-mail: gafurovs.d@mail.ru

Received January 9, 2018

*The changes of light stability of polyethylene films from which passed various technological phases of treatment were studied by the mechanical and x-ray methods. Three series of samples are studied:*

*initial unannealed (series 1), annealed in free (series 2) and fixed states (series 3). It's shown that in samples of a series 3 the deceleration of photodestruction that is connected with change on supramolecular structure of polymer at annealing is observed.*

*Keywords:* UV light, polyethylene, annealing, photodestruction, light resistance, submicrocrack.

#### REFERENCES

1. B. Rembi and Ya. Rabek, *Photodestruction, Photooxijen, Photostabilization of Polymers* (Moscow, Mir, 1978) [in Russian].
2. J. Gillet, *Photophysics and Photochemistry of Polymers* (Moscow, Mir, 1988) [in Russian].
3. V. Ya. Shlyapintokh, *Physical-Chemical Changes and Stabilization of Polymers* (Moscow, Khimiya, 1979) [in Russian].
4. T. Boboev, *Photomechanical Destroy of Polymers* (Dushanbe, Matbout, 2000) [in Russian].
5. T. B. Boboev, E. Jonov, and Sh. Tuichev, *Vysok. Molekul. Soed. Ser. B.* **40** (8), 1372 (1988).
6. V. P. Tamuzh and V. S. Kuksenko, *Micromechanics of Destroy of Polymer Materials* (Riga, Zanyatie, 1978) [in Russian].