

Оценка эффективности фотодеструкции полиэтилентерефталата квантов УФ-излучения разной длины волны

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

Изучено влияние УФ-излучения разных длин волн на разрывную прочность пленок полиэтилентерефталата (ПЭТФ) в условиях постоянства поглощенной интенсивности падающего на образец излучения. Установлено влияние времени УФ-облучения на прочность образцов разной толщины в условиях одинаковости дозы облучения независимо от длины волны УФ-излучения. Показано, что эффективность дозы облучения существенно зависит от глубины проникновения УФ-излучения и толщины исследуемого образца. Найдено, что при оценке эффективности действия квантов УФ-излучения разной длины волны необходимо учесть не только дозу поглощенной энергии, но и распределение интенсивности излучения по толщине образца.

Ключевые слова: полиэтилентерефталат, УФ-свет, фотодеструкция, разрывная прочность, фотохимия.

Ссылка: Бобоев Т. Б., Истамов Ф. Х., Гафуров С. Дж. // Прикладная физика. 2020. № 1. С. 32.

Reference: T. B. Boboev, F. H. Istamov, and S. J. Gafurov, Applied Physics, No. 1, 32 (2020).

Введение

В литературе [1–3] существуют разные точки зрения об эффективности действия квантов УФ-излучения различной длины волны на кинетику фотодеструкции полиэтилентерефталата (ПЭТФ). Так, например, в работе [1] утверждается, что интенсивность фотодеструкции ПЭТФ больше при облучении коротковолновым излучением. В то же время в [2] установлено, что ПЭТФ сильнее разрушается при действии длинноволнового УФ-излучения, что хорошо согласуется с полученным нами ранее результатом [3].

Из результатов [1–3] вытекает, что в процессе фотодеструкции ПЭТФ могут

наблюдаться противоречивые результаты, что связано, по всей вероятности, с разными условиями экспериментов. Так называемый «аномальный эффект» фотодеструкции ПЭТФ, наблюдаемый в [2, 3], может быть объяснен двумя факторами:

1) не соблюдение условия постоянства интенсивности поглощенного излучения для всех длин волн;

2) пренебрежение распределением интенсивности излучения по толщине образца в зависимости от длины волны падающего света.

Для проверки правомочности указанных предположений нами были проведены опыты по определению эффективной глубины проникновения УФ-излучения с разной длиной волны и влиянию толщины образцов на наблюдаемый аномальный эффект.

Экспериментальная часть

Предварительное облучение образцов плёнок ПЭТФ производили УФ-излучением с длинами волн $\lambda_1 = 254$ нм, $\lambda_2 = 313$ нм и $\lambda_3 = 365$ нм при комнатных условиях в свобод-

Бобоев Тошбой Бобоевич, д.ф.-м.н.
Истамов Фарход Худжамкулович, к.ф.-м.н.
Гафуров Сафархон Джурахонович, зав. кафедрой,
доцент, к.ф.-м.н.
Таджикский национальный университет.
Таджикистан, 734025, г. Душанбе, просп. Рудаки, 17.
E-mail: gafurovs.d@mail.ru

Статья поступила в редакцию 9 января 2020 г.

© Бобоев Т. Б., Истамов Ф. Х., Гафуров С. Д., 2020

ном состоянии. Прочность образцов на разрыв измеряли на разрывной машине РМ-1 со скоростью растяжения 2×10^{-4} м/с [4].

Опыты проводились в режиме сохранения постоянства поглощенной интенсивности ($21 \text{ Дж/м}^2\text{с}$) для всех длин волн падающего излучения при предварительном облучении. Интенсивность поглощенного света $I_{\text{погл}}$ оценивали по соотношению [4]

$$I_{\text{погл}} = I_0 (1 - T),$$

где I_0 – интенсивность падающего света; T – пропускание полимера. Так как УФ-излучение с различными длинами волн поглощается полимером неодинаково, то для создания условия постоянства поглощенной интенсивности пришлось регулировать интенсивность падающего света в зависимости от его длины волны.

Для определения эффективной глубины проникновения УФ-света разных длин волн в ПЭТФ нами были сняты УФ-спектры разбавленных растворов полимеров трифторуксусной кислоте. Измерив оптическую плотность разбавленных растворов ПЭТФ относительно растворителя для волн λ_1 , λ_2 и λ_3 и воспользовавшись законом Ламберта-Бугера-Бэра $I = I_0 e^{-kd}$ [5], определяли натуральный показатель поглощения k . При условии $kd = 1$ интенсивность падающего света ослабляется в e раз. При этом величина d , при которой интенсивность света ослабляется в e раз, называется эффективной глубиной проникновения, т. е. $d_{\text{эфф}} = 1/k$.

Таким образом, на основании зависимости оптической плотности от концентрации раствора или от толщины образца можно вычислить эффективную глубину проникновения УФ-света разных длин волн.

Результаты и их обсуждение

Влияние облучения на прочность образцов разной толщины проводилось в условиях одинаковости дозы облучения независимо от длины волны УФ-света. В качестве примера на рис. 1 приведена зависимость разрывной прочности плёнок ПЭТФ от времени предварительного облучения УФ-светом с длинами волн $\lambda_1 = 254 \text{ нм}$, $\lambda_2 = 313 \text{ нм}$, $\lambda_3 = 365 \text{ нм}$.

Толщина всех образцов составляет 20 мкм.

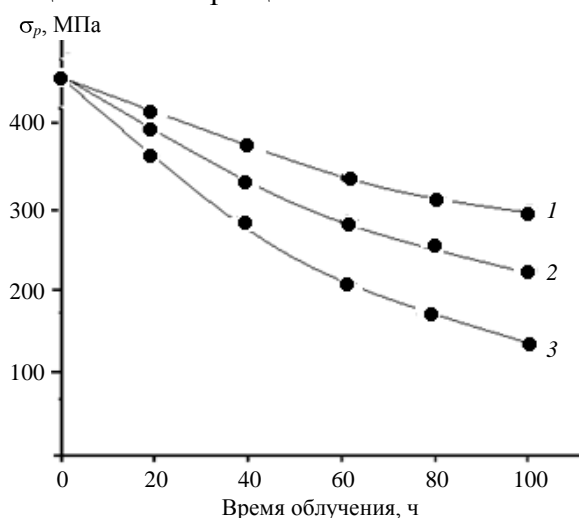


Рис. 1. Зависимость разрывной прочности ПЭТФ от времени предварительного УФ-облучения светом: 1 – 254 нм; 2 – 313 нм; 3 – 365 нм. Толщина образцов 20 мкм.

Из рис. 1 видно, что для образцов с толщиной 20 мкм, как и в работе [2], наблюдается отмеченный аномальный эффект. Другими словами, большей энергией снижают разрывную прочность слабее, чем кванты с меньшей энергией. При этом учет постоянства дозы поглощенного света не может объяснить кажущийся аномальный эффект. В этой связи при оценке эффективности действия квантов УФ-света разной длины волны необходимо учитывать распределение интенсивности света по толщине образца.

Чтобы проверить правильность этого предположения, были проведены опыты по определению эффективной глубины проникновения света с различной длиной волны в ПЭТФ. Опыты показали, что эффективная глубина проникновения света с волнами λ_1 , λ_2 , λ_3 составляет соответственно 0,15 мкм, 9 мкм и 20 мкм. Отсюда вытекает, что под действием света λ_1 деструкция происходит только в приповерхностном тонком слое глубиной 0,15 мкм, а в толстых образцах (~ 20 мкм и более) большая часть полимера остается неповрежденной, что и сказывается на поведении разрывной прочности образцов.

Эти результаты показывают, что глубина проникновения УФ-излучения существенно зависит от длины волны света. Чем короче длина волны, тем меньше эффективная глубина ее проникновения. Например, для ПЭТФ при λ_1 величина $d_{\text{эфф}}$ примерно в тысячу раз

меньше, чем при λ_3 . Однако при $d \approx d_{эф}$ наблюдаемый кажущийся аномальный эффект должен исчезнуть. Для проверки этого предположения нами проведены опыты на образцах с толщиной, близкой к $d_{эф}$. Так, на рис. 2 приведены результаты этих опытов для образцов плёнок ПЭТФ толщиной ~ 3 мкм.

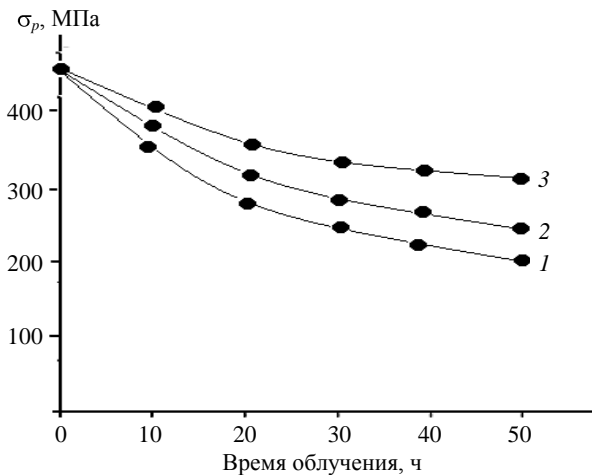


Рис. 2. Зависимость разрывной прочности ПЭТФ от времени предварительного УФ-облучения светом: 1 – 254 нм; 2 – 313 нм; 3 – 365 нм. Толщина образцов 3 мкм.

Из рис. 2 видно, что при толщине пленки в 3 мкм кажущийся аномальный эффект исчезает. Т. е. большей энергией разрушают такой образец сильнее, чем кванты с меньшей энергией.

Заключение

В работе изучено влияние УФ-излучения разных длин волн на разрывную прочность

пленок полиэтилентерефталата (ПЭТФ) в условиях постоянства поглощенной интенсивности падающего на образец излучения.

Из проведенных опытов вытекает, что если толщина исследуемого полимерного образца заметно больше эффективной глубины проникновения света, то получаемые результаты непременно приводят к неправильной интерпретации реальных процессов взаимодействия УФ-света с веществом или к так называемому «аномальному» закону фотодеструкции полимера. В этой связи при оценке эффективности действия УФ-квантов разной длины волны необходимо учесть не только дозу поглощенного света, но и распределение интенсивности света по толщине. Такую оценку надо проводить для образцов, толщина которых не слишком отличается от эффективной глубины проникновения света. Это правило необходимо соблюдать повсеместно и его следует признать как один из законов фотохимии в полимерах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Day M., Wiles D. M. // Appl. Polym. Sci. 1971. Vol. 15. No. 6. P. 652.
2. Shults R. R., Leahy S. M. // Appl. Polym. Sci. 1961. Vol. 5. No. 3. P. 64.
3. Бобоев Т. Б., Гафуров С. Дж., Истамов Ф. Х., Дадаматов Х. Д. // ДАН РТ. 2015. Т. 58. № 5. С. 399.
4. Бобоев Т. Фотомеханическое разрушение полимеров. – Матбуот: Душанбе, 2000.
5. Ренби Б., Рабек Я. Фотодеструкция, фотоокисление, фотостабилизация полимеров. – Мир: Москва, 1978.

PACS: 81.05.-t

Estimation of efficiency of UV-quanta of different energy in photodestruction of polyethylene terephthalate

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

Tajik National University
17 Rudaki Ave., Dushanbe, 734025, Tajikistan

Received January 9, 2020

Consideration is given to the influence of UV-irradiation of different wavelengths on the ten-

sile strength of polyethylene terephthalate under conditions of constancy of the absorbed intensity of the radiation incident on the sample. The influence of UV-irradiation on strength of samples of different thickness in terms of the sameness of doses, regardless of the wavelength of the UV-light. It is shown that the efficacy of the dose of irradiation essentially depends on the penetration depth of the UV-irradiation and the thickness of the test specimen.

Keywords: polyethyleneterephthalate, UV-irradiation, photodestruction, strength, photochemistry.

REFERENCES

1. M. Day and D. M. Wiles, *Appl. Polym. Sci.* **15** (6), 652 (1971).
2. R. R. Shults and S. M. Leahy, *Appl. Polym. Sci.* **5** (3), 64 (1961).
3. T. B. Boboev, S. J. Gafurov, F. I. Islamov, and H. D. Dadamatov, *Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan* **58** (5), 399 (2015).
4. T. B. Boboev, *Photochemical destruction of polymers* (Matbuot, Dushanbe, 2000) [in Russian].
5. B. Renby and Ya. Rabek, *Photodestruction, photooxijen, photostabilization of polymers* (Mir, Moscow, 1978) [in Russian].