

Исследование влияния УФ-облучения на скорость разрушения полимеров

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

Исследовано влияние УФ-излучения на радиационную долговечность некоторых полимеров при различных условиях испытания. Изучена кинетика роста трещин образцах из пленок диацетилцеллюлозы как при наличии УФ-облучения, так и без него. Предложен закон сложения скоростей радиационного v_j и термофлуктуационного v_σ разрушения в условиях фотомеханической деструкции.

Ключевые слова: полимер, диацетилцеллюлоза, УФ-облучение, долговечность, радиационное разрушение, фотомеханическая деструкция.

Ссылка: Бобоев Т. Б., Гафуров С. Дж., Истамов Ф. Х. // Прикладная физика. 2020. № 5. С. 93.

Reference: T. B. Boboev, S. J. Gafurov, and F. H. Istamov, Applied Physics, No. 5, 93 (2020).

Введение

Вопросы деградации и разрушения различных полимеров находятся под пристальным вниманием многих исследователей, в т. ч. из-за экологических проблем. В работах [1, 2] УФ-радиация представлена как эффективный «инструмент», вызывающий в полимерах разрывы химических связей в макромолекулах, что служит основой для изучения молекулярной природы процессов разрушения и деформирования. Показано также влияние приложенного механического напряжения на указанные процессы.

Систематические исследования зависимости радиационной долговечности τ_j и скорости установившейся ползучести v_{j0} от приложенного напряжения σ проведены для ряда полимеров при различных условиях испытаний. Показано, что для всех исследованных материалов зависимость этих параметров от

величины σ оказывается качественно одинаковой и изображается двумя линейными участками. Например, на рис. 1 приведен схематический график зависимости логарифма долговечности от механического напряжения.

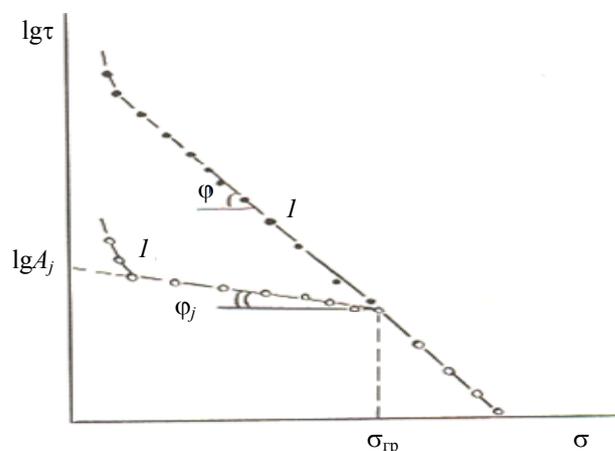


Рис. 1. Характерный график силовых зависимостей долговечности полимеров без облучения (кривая 1) и с УФ-облучением (кривая 2).

Из рис. 1 видно, что в области $\sigma > \sigma_{гр}$ зависимость $lg\tau(\sigma)$ совпадает с зависимостью $lg\tau(\sigma)$ при испытании без облучения, но другой участок при $\sigma < \sigma_{гр}$ сильно от нее отличается по наклону.

Наблюдаемый характер влияния УФ-облучения на долговечность полимеров хорошо согласуется с представлениями кинетической концепции разрушения [3] и легко может быть

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

Статья поступила в редакцию 10 июля 2020 г.

объяснен на ее основе. Естественно предположить, что наблюдаемый эффект объясняется наложением друг на друга двух процессов разрушения.

В основе одного процесса лежат разрывы межатомных связей под действием тепловых флуктуаций, второй же процесс определяется разрывами химических связей под действием квантов УФ-излучения. Если ввести условное представление о скоростях процесса разрушения, понимая под ними число разрываемых в единицу времени химических связей, то можно принять, что при совместном действии на образец облучения и механических напряжений скорость разрушения v_σ , вызываемая тепловыми флуктуациями, складывается со скоростью разрушения v_j под действием УФ-облучения:

$$v = v_\sigma + v_j.$$

На основе таких предположений легко объяснить зависимость $\lg\tau(\sigma)$, приведенную на рис. 1. При заданной интенсивности радиации всегда будет существовать достаточно высокое напряжение $\sigma > \sigma_{гр}$, при которой скоростью v_j по сравнению со скоростью v_σ можно пренебрегать, т. к. $v_j \ll v_\sigma$. В этой области напряжений при $\sigma > \sigma_{гр}$ долговечность под нагрузкой не будет зависеть от облучения. Наоборот, при $\sigma < \sigma_{гр}$ роль v_j становится решающей и долговечность под нагрузкой резко снижается под действием облучения.

Представляется, что в дополнение к опытам по изучению влияния УФ-облучения на долговечность полимеров целесообразно провести еще и эксперименты, в которых можно было бы четко проследить за влиянием облучения непосредственно на мгновенные скорости накоплений повреждения.

Учитывая сказанное, целью данной работы являлось проведение опытов по выявлению влияния УФ-облучения на скорость распространения магистральных трещин.

Экспериментальная часть

При постановке этих опытов предполагалось провести проверку справедливости формулы суммирования скоростей разрушения, вызываемой разными факторами.

Изучение кинетики роста трещин как с УФ-облучением, так и без нее производилось на образцах из пленок диацетилцеллюлозы, имеющих толщину 32 мкм, и поликапролактама толщиной 7 мкм, что значительно меньше эффективной глубины проникновения УФ-излучения $d_{\text{эф}}$. Согласно [4], в образцах такой толщины d соблюдается один из законов фотохимии полимеров, а именно, $d < d_{\text{эф}}$.

Метод регистрации развития трещин основан на кино съемке образующихся трещин с помощью кинокамеры ЕТА, причем с одновременным фотографированием показаний электрических часов, регистрирующих время с точностью 0,01 с [5].

Опыты с облучением проводились при интенсивности потока УФ-излучения $j = 140 \text{ Дж/м}^2\text{с}$ в интервале длин волн 240–300 нм.

Результаты и их обсуждение

Согласно [6], для диацетилцеллюлозы $\sigma_{гр} = 80 \text{ МПа}$. Поэтому для проверки высказанной соображений были проведены опыты при $\sigma < \sigma_{гр} = 70 \text{ МПа}$ и при $\sigma = \sigma_{гр} = 80 \text{ МПа}$. При этом опыты велись в «два приема». В таких опытах вначале трещина растет без облучения, а потом уже включается облучение. Таким путем удастся с большой наглядностью проследить за изменениями скорости трещины, вызываемыми УФ-облучением.

Результаты опытов в «два приема» на образцах диацетилцеллюлозы приведены на рис. 2.

Из рис. 2, б видно, что при $\sigma \cong \sigma_{гр}$ включение УФ-облучения не вызывает никаких заметных изменений в закономерности развития магистральных трещин по сравнению с испытаниями без облучения. Ясно, что такой же результат будет и при всех других напряжениях, больших, чем $\sigma_{гр}$. В тоже время при $\sigma < \sigma_{гр}$ включение УФ-облучения существенно изменяет характер исходной зависимости $\lg v$ от длины трещин l , которая на рис. 2, а проведена условно пунктиром (линия АВС). Вместо исходной линейной зависимости АВС после включения УФ-облучения зависимость $\lg v$ от l изображается ломанной АВДЕ. Сразу после включения облучения вначале наблюдается довольно быстрое изменение скорости роста трещин (участок В), а затем установится новый наклон этой зависимости.

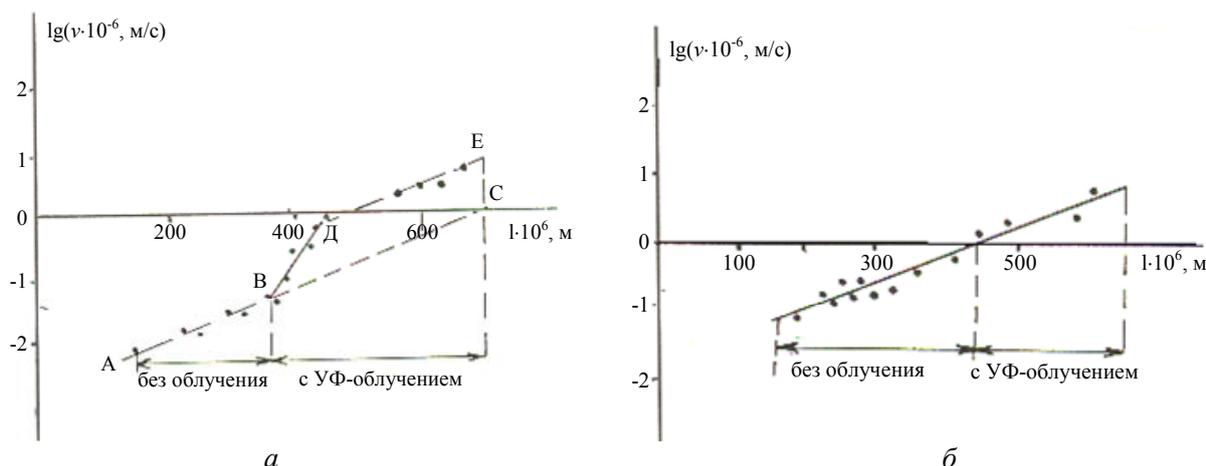


Рис. 2. Влияние УФ-облучения на скорость роста трещин в диацетилцеллюлозе: а) при $\sigma = 70$ МПа, б) при $\sigma = 80$ МПа.

Результаты опытов в «два приема» показывают, что при $\sigma \geq \sigma_{гр}$ скорость роста трещин не зависит от УФ-облучения, т. е. процесс определяется скоростью v_{σ} . При $\sigma < \sigma_{гр}$ роль v_j становится решающей, и долговечность под нагрузкой будет резко снижаться под действием облучения. В этом интервале напряжений на разных стадиях разрушения соотношение v_{σ} и v_j различно. На начальной стадии $v_j \gg v_{\sigma}$, поэтому v_j определяет долговечность образца в данном случае. Однако в конечной стадии, когда разрушение образца доведено до определенного предела за счет радиационных разрывов связей, v_{σ} начинает превышать значение v_j .

Эти рассуждения показывают, что фотомеханические процессы могут явиться косвенной причиной ускорения термофлуктуационного разрушения. Так, по мере облучения, в образце накапливаются разрывы химических связей, что и приводит к уменьшению числа держащих нагрузку фрагментов макромолекул. Со временем напряжение, приходящееся на оставшиеся макромолекулы, будут расти и при достаточном увеличении локальных напряжений радиационная стадия разрушения сменяется термоактивационной. Чтобы убедиться в этом, были проведены специальные опыты в «два приема». В этих опытах облучение действует на полимер не постоянно с момента нагружения до разрыва, а прекращается раньше, чем образец разорвется. Это равносильно тому, что вторая часть опыта в «два приема» ведется без облучения. Пусть образец освещается в течение времени τ_{1j} , затем облу-

чение прекращается и измеряется время τ_2 до разрыва образца. Проведенные опыты показали, что при $\tau_{1j} \cong 0,8 \div 0,9 \tau_j$ $\tau_{1j} + \tau_2 = \tau_j$. Т. е. роль облучения существенна на начальном отрезке времени ($\sim 0,8 \tau_j$), затем следует период, когда роль облучения в процессе разрушения уже не существенна.

Заключение

В работе изучено влияние УФ-облучения на кинетику роста трещин в полимерах. Предложен закон сложения скоростей радиационного v_j и термофлуктуационного v_{σ} разрушения в условиях фотомеханической деструкции:

$$v = v_j + v_{\sigma}.$$

При достаточно высоком напряжении ($\sigma > \sigma_{гр}$) ролью v_j можно пренебречь, и процесс разрушения целиком определяется скоростью v_{σ} . При средних напряжениях ($\sigma < \sigma_{гр}$) начало разрушения развивается за счет радиационных эффектов, но окончание разрушения всегда происходит за счет термофлуктуационных процессов. Иначе говоря, УФ-облучение «надрезает» образец, а термофлуктуационный процесс «подхватывает» и заканчивает разрушение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Регель В. Р., Слуцкер А. И., Томашевский Э. Е. Кинетическая природа прочности твёрдых тел. – М.: Наука, 1974.
2. Бобоев Т. Фотомеханическое разрушение полимеров. – Душанбе. Матбуот, 2000.

3. Журков С. Н. // Вестник АН СССР. 1968. № 3. С. 46.
 4. Бобоев Т. Б., Истамов Ф. Х., Гафуров С. Дж. // Прикладная физика. 2020. № 1. С. 32.

5. Регель В. Р., Бобоев Т. Б., Лексовский А. М., Орлов Л. Т. // Физика твердого тела. 1971. Т. 3. С. 635.
 6. Бобоев Т. Б., Истамов Ф. Х., Дадоматов Х. // Вестник ТГНУ. 2007. № 3. С. 70.

PACS: 81.05.-t

Investigation of the effect of UV irradiation on the rate of polymer destruction

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

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

Received July 10, 2020

The effect of UV light on radiation life under UV irradiation from the applied voltage for different polymers under different test conditions is investigated. The kinetics of crack growth was studied for samples from diacetyl cellulose films under and without UV irradiation. The law of the addition of the rates of radiation v_j and thermofluctuation v_σ destruction under conditions of photomechanical destruction is proposed.

Keywords: polymer, cellulose diacetate, UV exposure, longevity, radiation-damage, photomechanical destruction.

REFERENCES

1. V. R. Regel, A. I. Slutsker, and E. E. Tomashevsky, *The kinetic nature of the strength of solids* (Moscow, Nauka, 1974) [in Russian].
2. T. B. Boboev, *Photochemical destruction of polymers*. (Dushanbe, Matbuot, 2000) [in Russian].
3. S. N. Zhurkov, Bulletin of the USSR Academy of Sciences, No. 3, 46 (1968).
4. T. B. Boboev, F. Kh. Istamov, and S. J. Gafurov, Applied Physics, No. 1, 32 (2020)
5. V. R. Regel, T. B. Boboev, A. M. Leksovsky, and L. T. Orlov, Solid State Physics **3**, 635 (1971).
6. T. B. Boboev, F. Kh. Istamov, and H. Dadomatov, Vestnik TGNU, No. 3, 70 (2007).