

Высокомолекулярные соединения

Серия Б

ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ, Серия Б, 1994, том 36, № 8, с. 1379 - 1382

УДК 541.64:539.3:535.31

ВЛИЯНИЕ КРЕЙЗООБРАЗОВАНИЯ НА СВЕТОПРОПУСКАНИЕ ПОЛИМЕРНОГО ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

© 1994 г. П. М. Пахомов*, А. И. Зубков**, С. Д. Хижняк*

*Тверской государственный университет
170000 Тверь, ул. Желябова, 33

**Инженерный центр полимерного оптического волокна
170032 Тверь, Московское шоссе

Поступила в редакцию 23.09.93 г.

Методами оптической спектроскопии, микроскопии и рассеяния света исследовано влияние крейзообразования, возникающего при изгибе и растяжении оптического волокна с ядром из ПММА, на его светопропускание. В зависимости от радиуса изгиба и статической растягивающей нагрузки наблюдаются обратимые и необратимые изменения светопропускания световода. При этом необратимые потери в обоих случаях связаны с появлением в ПММА микротрецин размером ~100 нм, на которых происходит рассеяние света. Величина необратимых потерь света прямо пропорциональна концентрации микротрецин, появляющихся при деформации световода. Обратимые потери обусловлены как нарушением закона полного внутреннего отражения света при изгибе световода, так и появлением самозахлопывающихся микротрецин при растяжении образца. Высказаны соображения о практическом использовании полученных экспериментальных данных.

Полимерные оптические волокна (ПОВ) в настоящее время широко используют для передачи света и информации на короткие расстояния (до 100 м). Интерес к ПОВ обусловлен рядом их преимуществ перед кварцевыми световодами. К ним следует отнести такие, как возможность создания волокон с большим диаметром, простота соединений, гибкость и т.д. [1]. ПОВ представляют собой бикомпонентные волокна с ядром из прозрачного аморфного полимера (обычно ПС или ПММА), окруженного полимерной отражающей оболочкой с показателем преломления на 3 - 5% меньшим, чем у полимера, образующего ядро. Для ПОВ с ядром из ПММА обычно используют оболочку из фторированного ПММА [1, 2].

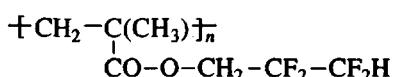
Поскольку ПОВ при эксплуатации и монтаже могут испытывать влияние различных механических воздействий (изгиб, растяжение, сдавливание и т.д.), важно знать влияние этих факторов на оптические характеристики световода. Известно [3], что одной из причин, вызывающих потери при светопередаче в ПОВ, является рассеяние света на микротрецинах или крейзах. Процесс

крейзообразования в полимерах детально изучен в работах [4, 5].

Цель настоящего исследования – выяснение влияния крейзообразования на светопропускание ПОВ.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве объекта исследования использовали ПОВ с ядром из ПММА и отражающей оболочкой из полифторакрилата



Материал ядра и оболочки ПОВ получали методом радикальной полимеризации в массе ($\bar{M}_w = 8 \times 10^4$; $\bar{M}_w/\bar{M}_n = 1.5$). Инициатором полимеризации служила перекись лауриола, а регулятором ММ являлся додецилмеркаптан. Образцы ПОВ формировали методом экструзии расплава через кольцевую фильтру, при этом внешний диаметр волокон равнялся 560 мкм, а толщина отражаю-

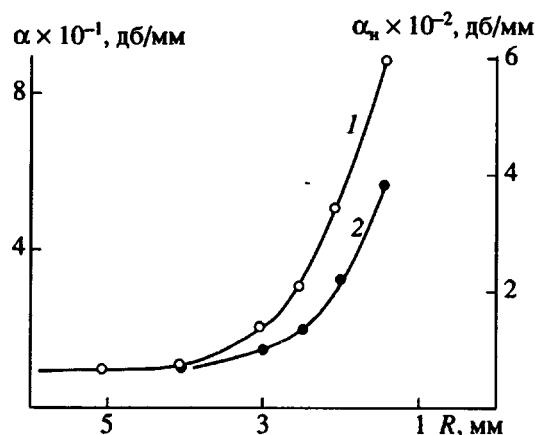


Рис. 1. Зависимость общих (1) и необратимых (2) светопотерь от радиуса изгиба ПОВ.

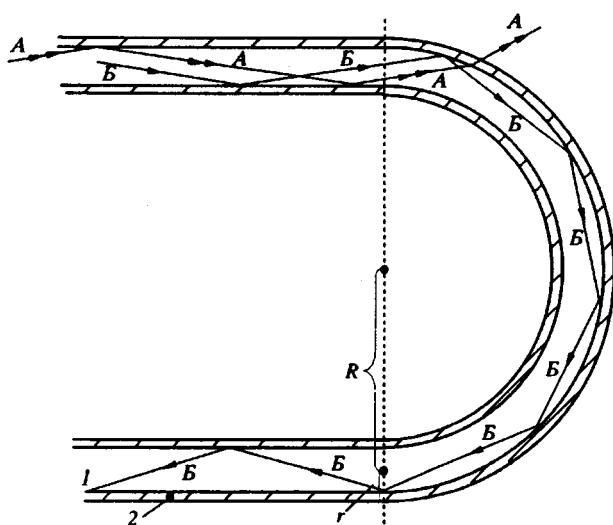


Рис. 2. Возникновение обратимых светопотерь при изгибе ПОВ. А — луч света, выходящий за пределы ПОВ; Б — луч света, распространяющийся вдоль ПОВ. 1 — ядро ПОВ, 2 — отражающая оболочка ПОВ, R — радиус изгиба ПОВ, r — радиус ПОВ.

щей оболочки составляла 20 мкм. Кроме того, исследовали пленки ПММА толщиной 50 - 200 мкм, полученные из раствора ПММА в ТГФ отливкой на стекло.

Механические характеристики ПОВ (ε_p и σ_p — удлинение и напряжение при разрыве, $\varepsilon_{b,3}$ и $\sigma_{b,3}$ — удлинение и напряжение, характеризующие предел вынужденной эластичности) определяли на приборе "Инстрон-1122". Расстояние между зажимами составляло 200 мм, скорость растяжения — 100 мм/мин. Для нашего ПОВ механические показатели были следующими: $\varepsilon_p = 30$, $\varepsilon_{b,3} = 5.3\%$; $\sigma_p = 76$, $\sigma_{b,3} = 88$ МПа.

Образцы ПОВ подвергали как растяжению под действием статической нагрузки, так и изгибу

на коническом барабане с насечками разного диаметра в диапазоне от 14 до 2 мм. При испытании на растяжение определяли зависимость между величинами статического напряжения σ и светопотерь α , рассчитываемых по формуле [6]

$$\alpha = \frac{10}{\Delta l} \lg(I_0/I), \quad (1)$$

а при испытании на изгиб — зависимость между радиусом изгиба R и величиной светопотерь

$$\alpha = \frac{10}{2\pi\rho} \lg(I_0/I), \quad (2)$$

где Δl — изменение длины ПОВ под действием напряжения σ ; $\rho = R + r$ (r — радиус волокна); I_0 и I — мощность монохроматического излучения, проходящего через образец до и после нагружения. Измерения проводили при помощи прибора, состоящего из источника света, монохроматора и измерителя мощности светового потока на длине волны 640 нм.

Для оценки светопотерь, обусловленных рассеянием света, использовали установку [7]. Концентрацию микротрещин в материале подсчитывали с помощью оптического микроскопа "Leitz Artalux-2".

Глубину деструкционного процесса в пленочных образцах, подвергнутых изгибу, контролировали на ИК-спектрофотометре "Перкин-Эльмер" (модель 180) по возникновению концевых групп $C=O$, свидетельствующих о молекулярных разрывах [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что при изгибе ПОВ светопотери в образце растут с уменьшением радиуса изгиба по параболическому закону (рис. 1, кривая 1). До радиуса изгиба $R = 4$ мм изменений светопропускания в ПОВ практически не наблюдали и лишь при дальнейшем уменьшении R происходило интенсивное нарастание светопотерь. При этом замечено, что при снятии нагрузки и выпрямлении волокна светопропускание частично восстанавливается, но не достигает исходного значения (рис. 1, кривая 2). Рост доли необратимых светопотерь при уменьшении R также происходил по параболическому закону. Итак, полные светопотери α , определяемые по формуле (2), можно представить в виде двух составляющих

$$\alpha = \alpha_0 + \alpha_n, \quad (3)$$

где α_0 — обратимые, а α_n — необратимые светопотери.

Обратимые светопотери обусловлены в первую очередь изменением геометрии ПОВ. Для части лучей не выполняется условие полного внутреннего отражения (рис. 2, луч А), и они, преломляясь, выходят за пределы волокна. Это сопровождается свече-

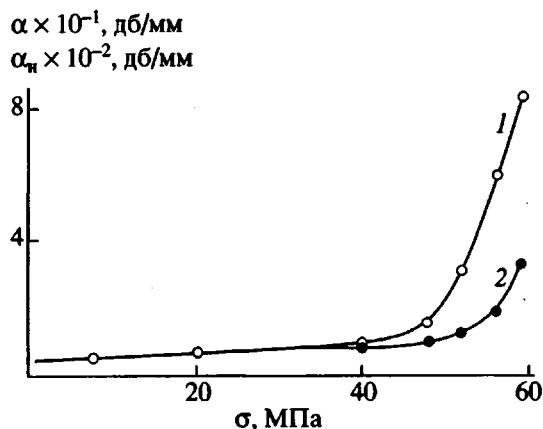


Рис. 3. Зависимость общих (1) и необратимых (2) светопотерь в ПОВ от растягивающего напряжения.

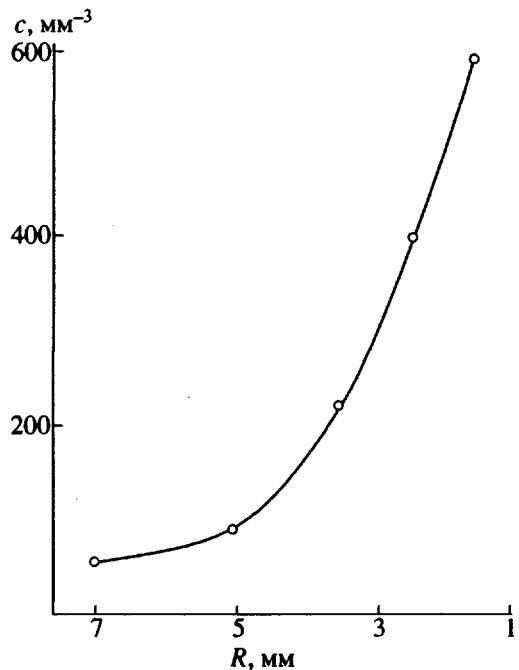


Рис. 5. Зависимость концентрации микротрешин от радиуса изгиба ПОВ.

нием волокна в области изгиба. С уменьшением радиуса изгиба доля лучей, покидающих световод, увеличивается, и светопотери в ПОВ растут.

Влияние деформации растяжения (под действием статического нагружения) на светопропускание ПОВ иллюстрирует рис. 3. Так же, как при деформации изгиба, наблюдаются обратимые и необратимые светопотери. Изменение светопотерь в зависимости от прикладываемой нагрузки имеет сходный вид с зависимостью светопотерь от радиуса изгиба (рис. 1 и рис. 3). Необратимые светопотери становятся заметными начиная с напряжений $\sigma = 40$ МПа.

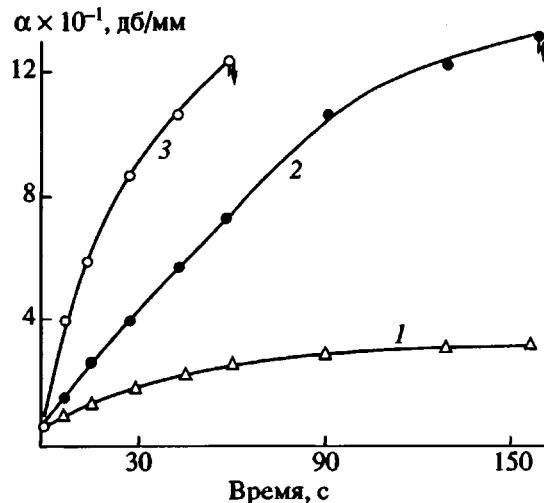


Рис. 4. Кинетика роста общих светопотерь в ПОВ при растягивающем напряжении 40 (1), 56 (2) и 64 МПа (3).

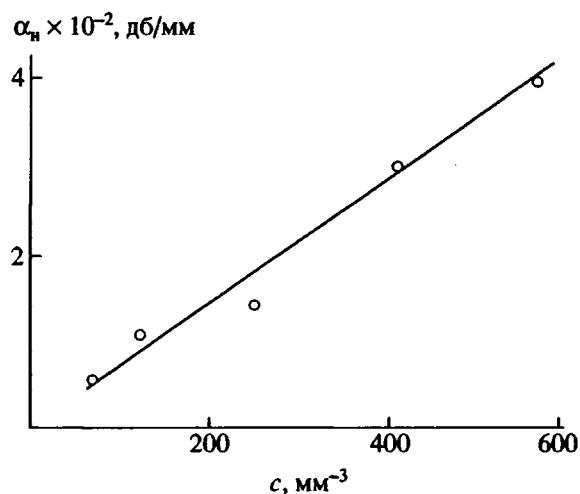


Рис. 6. Связь необратимых светопотерь в ПОВ с концентрацией микротрешин.

Обнаружено также, что светопотери растут в зависимости от времени нахождения образца под действием растягивающей нагрузки или в изогнутом состоянии. Кинетика роста светопотерь в ПОВ при различных растягивающих напряжениях представлена на рис. 4. Как видно, во времени происходит плавное увеличение светопотерь в ПОВ, подчиняющееся экспоненциальному закону. При больших напряжениях (кривые 2 и 3) процесс нарастания светопотерь заканчивался механическим разрушением образца.

Нами было сделано предположение, что необратимые светопотери в обоих случаях (растя-

жение и изгиб) связаны с рассеянием света на неоднородностях (микротрещинах), образующихся в материале ядра ПОВ при механических воздействиях. Действительно, интенсивность светового рассеяния увеличивалась в процессе растяжения ПОВ и уменьшения его радиуса изгиба симбатно с ростом доли необратимых светопотерь (рис. 1, кривая 2). Из углового распределения индикаторы рэлеевского рассеяния [7] оценен линейный размер рассеивающих дефектов (в нашем случае крейзов или микротрещин), который составил ~ 100 нм. Обратимые светопотери при растяжении (рис. 3) объясняются также рассеянием на микротрещинах, количество которых растет с увеличением статической нагрузки. Но эти микротрещины при снятии нагрузки с образца "залипают" или "захлопываются" [5, 6] и рассеяние на них не происходит. Действительно, в наших опытах при снятии нагрузки с ПОВ обнаружено уменьшение величины светового рассеяния и числа микротрещин в материале ядра.

При визуальном наблюдении крейзов в микроскоп отмечено увеличение их числа с уменьшением радиуса изгиба или удлинением ПОВ. Полученная зависимость концентрации крейзов от радиуса изгиба изображена на рис. 5. При радиусе $R = 1.5$ мм концентрация крейзов достигала 600 единиц в 1 мм^3 . Сравнивая рис. 5 и рис. 1 (кривая 2), видно, что между ними существует качественное сходство. Количественное сопоставление величины необратимых светопотерь и концентрации крейзов показало, что эти характеристики связаны друг с другом линейно (рис. 6). Величина необратимых светопотерь прямо пропорциональна концентрации трещин в материале ядра ПОВ. Факт влияния крейзообразования на механические и оптические свойства ПОВ при их изготовлении также отмечается в работе [9].

Образование микротрещин в ПММА сопровождалось ростом числа молекулярных разрывов и концентрации групп $C=C$ в полимере, о чем свидетельствует увеличение интенсивности ИК-по-

лос поглощения с максимумами на частотах 1720 и 1645 см^{-1} [8]. Механодеструкционные процессы наблюдались при изгибе пленок ПММА, а также при их растяжении под действием статической нагрузки. Глубина деструкционного процесса зависела от величины нагрузки и времени нахождения образца в нагруженном состоянии, что находится в соответствии с кинетической теорией прочности твердых тел [4] и данными, представленными на рис. 4. Здесь же следует отметить, что изучая кинетику изменения светопотерь в ПОВ (рис. 4), можно решать обратную задачу, оценивая закономерности образования и роста микротрещин в образце.

Рассмотренный в работе подход может быть полезен на практике. Его удобно использовать для оперативной оценки качества и пригодности ПОВ к определенным условиям эксплуатации. Он также позволяет вырабатывать удобные методики контроля ПОВ на производстве и рекомендовать допустимые механические нагрузки в процессе эксплуатации и монтажа ПОВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гауэр Дж. Оптические системы связи. М.: Радио и связь, 1989. С. 10.
- Kaino T. // J. Sen-i-gakkaishi. 1986. V. 42. № 4. P. 21.
- Emslie Ch. // J. Mat. Sci. 1988. V. 7. № 7. P. 2281.
- Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. М.: Наука, 1974.
- Вольнский А.Л., Бакеев Н.Ф. Высокодисперсное ориентированное состояние полимеров. М.: Химия, 1984.
- Пахомов П.М., Душкин А.А., Чеголя А.С. // Механика композитных материалов. 1993. № 5. С. 732.
- Koike Y., Tanio N., Ohtsuki Y. // Macromolecules. 1989. V. 22. № 3. P. 1367.
- Пахомов П.М. Дис. ... д-ра хим. наук. М.: МГУ. 1987.
- Dvoranek L., Machova L., Šorm M., Pelzbauer Z., Svatner J., Kubanek V. // Angew. Makromol. Chem. 1990. B. 174. № 2871. S. 25.

The Effect of Crazing on Light Transmission in Polymeric Optical Fibers

P. M. Pakhomov*, A. I. Zubkov**, and S. D. Khizhnyak*

*Tver' State University, ul. Zhelyabova 33, Tver', 170000 Russia

**Engineering Center of Polymeric Optical Fibers, Moskovskoe shosse, Tver', 170032 Russia

Abstract – The effect of crazing induced by bending and tensile drawing on light transmission in polymeric optical fibers with PMMA core was studied by optical spectroscopy, microscopy, and light scattering. Depending on bending curvature and static tensile stress, reversible and irreversible changes in light transmission were observed. In both cases, irreversible changes were related to the appearance of crazes in PMMA with dimensions of ~ 100 nm, which were able to produce light scattering. The magnitude of irreversible changes was shown to be proportional to the density of crazes nucleated upon deformation of the light guides. The reversible changes were accounted for by violation of the law of total internal reflection on bending the light guide as well as by the appearance of the self-healed crazes on tensile drawing the samples.