

## АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ ПРИ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИИ В ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТЕ

Белый М. У., Двойненко М. М., Конончук Г. Л.

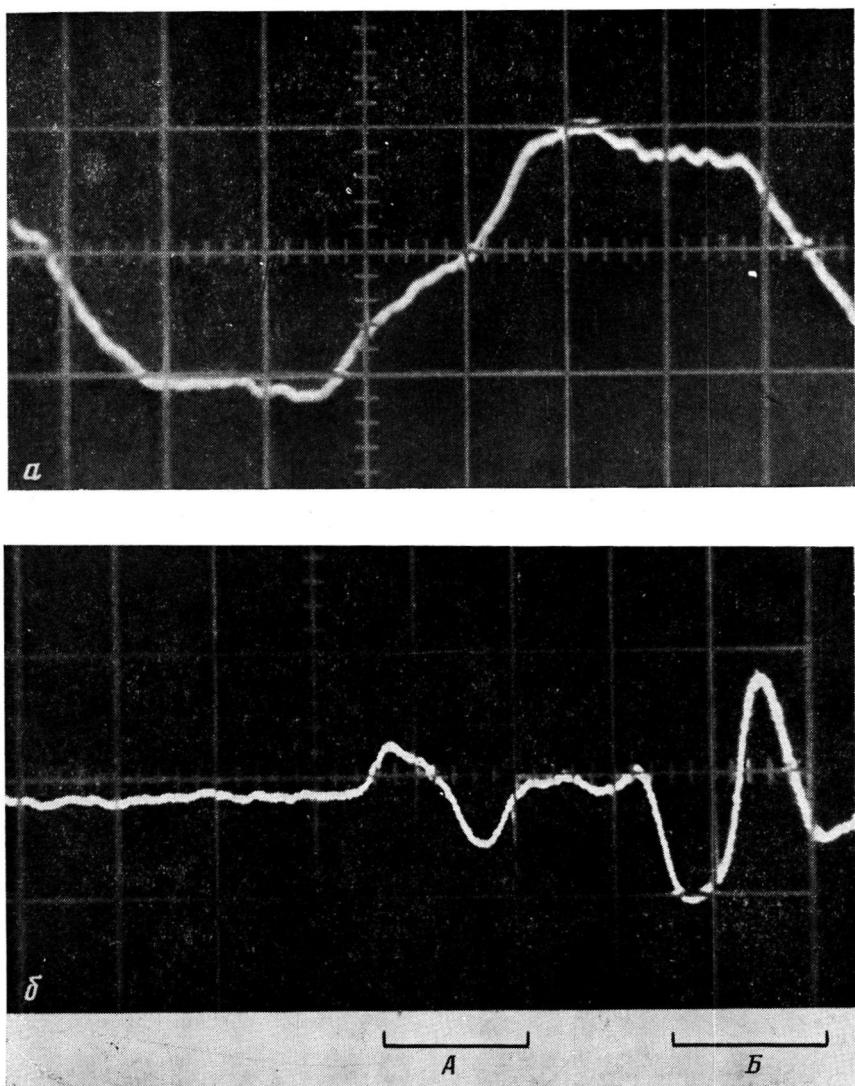
В работах [1–3], в которых рассматривается метод акустической эмиссии (АЭ) применительно к исследованию разрушения аморфных стеклообразных полимеров, было показано, что излучение акустических волн вызвано образованием и ростом крейзов. Установлено [3], что распределение импульсов по амплитудам при разрушении ПС не зависит от скорости роста трещины. Более того, импульсы имеют практически одинаковую амплитуду, на основании чего сделан вывод о том, что они обусловлены одним и тем же процессом, и механизм разрушения не изменяется с увеличением скорости роста трещины.

Более информативным параметром является форма импульсов АЭ. Наиболее легко интерпретируемая геометрия среды, в которой распространяется акустический импульс,— полупространство. В работах [4, 5] рассчитана форма импульсов в эпицентре полупространства. Хорошее согласование измеренной формы импульса АЭ с рассчитанной произведено на металлах с помощью емкостного датчика [6], оптического датчика [7], «толстого» пьезоэлектрического преобразователя [8].

Цель нашего эксперимента — изучить форму импульсов АЭ при трещинообразовании в ПММА и получить информацию о природе источника АЭ. На предварительно растянутый образец из ПММА, выполненный в виде стандартной лопатки, наносилась капля ацетона. Под действием механического напряжения и активной среды происходило образование крейзов и их рост. При образовании крейзов сигналы АЭ не наблюдались. Однако через 1–40 с в зависимости от нагрузки рост крейзов сопровождался излучением акустических волн. Импульсы АЭ наблюдались в дальней зоне. Акустические импульсы проходили через кубик из ПММА, находящийся в акустическом контакте с образцом, и попадали на датчик. Пьезокерамический приемник находился в эпицентре источника АЭ. Анализ распространения сферической продольной акустической волны в данной геометрии показывает, что длительность импульсного отклика составляет не более 0,2 мкс.

Основные типы сигналов представлены на рисунке. Первый тип сигналов (рисунок, сигнал *а*) обусловлен откликом датчика на длинный импульс, второй — реакция датчика на короткие импульсы. На рисунке (сигнал *б*) четко видны импульсы, прошедшие через грань датчика (*A*) и отраженные от задней грани (*B*). Длительность импульса составляет  $\sim 1$  мкс. В эксперименте вначале наблюдаются только сигналы первого типа, затем возникают сигналы второго типа (при этом сигналы первого типа также имеют место). Общее количество импульсов первого типа больше, чем второго. Характерно, что амплитуды импульсов первого и второго типов приблизительно одинаковы.

Для сигналов второго типа оценим размер излучаемой трещины. Так как длительность импульса составляет 1 мкс (рисунок, сигнал *б*) и продольная волна проходит расстояние до датчика за 20 мкс, можно использовать приближение дальней зоны [9, 10]. Учитывая отражение от поверхности датчика и чувствительность датчика к смещению (согласно работе [8] она равна  $20 \cdot 10^8$  В/м), а также полагая линейным закон изменения объема трещины со временем, из значений амплитуды и длительности импульса получим объем излучающей трещины  $\sim 10$  мкм<sup>3</sup>. Принимая толщину трещины 0,1 мкм [11], получим площадь трещины 100 мкм<sup>2</sup>, а средняя длина трещины, излучающей импульс длительностью 1 мкс, оказывается  $\sim 10$  мкм. Данная оценка справедлива, если акустический импульс не уширяется вследствие поглощения средой. Подобную оценку для сигналов первого типа невозможно сделать, поскольку они не разрешаются датчиком.



*a* – Форма импульсов АЭ при трещинообразовании в ПММА; *б* – продольная волна проходит расстояние между гранями датчика за 6 мкс (толщина датчика 28 мм). Цена деления по горизонтали 2 мкс/дел. Пояснения в тексте

Методом интерференции света установлено [11], что при скачкообразном изменении формы крейзовой зоны ПВХ в процессе усталостных испытаний происходит разрыв фибрилл части крейзовой зоны, а рост самой крейзовой зоны происходит медленно. Длина крейзовой зоны, в которой происходит разрыв фибрилл, составляет 10–20 мкм. Полученная нами оценка (10 мкм) позволяет утверждать, что сигналы второго типа обусловлены скачкообразным разрывом фибрилл части крейзовой зоны, т. е. превращением крейза в обычную трещину.

Сигналы первого типа связаны, по-видимому, также со скачкообразным разрушением фибрилл крейза. В приближении дальней зоны это значит, что скорость развития трещин одинакова для обоих типов импульсов, а объем излучаемой трещины для сигналов первого типа больше объема для второго типа во столько раз, во сколько длительность сигналов первого типа больше длительности сигналов второго. Это означает, что длина крейза при прорастании в глубину уменьшается [2], либо величина глубины крейзовой зоны, в которой происходит разрыв фибр-

рилл, намного больше для сигналов первого типа, чем сигналов второго типа.

Экспериментально нами установлено, что рост крейзов начинается при попадании активной среды на поверхность образца, а сигналы АЭ возникают с задержкой во времени  $\tau$ , зависящем от приложенного напряжения  $\sigma$  следующим образом:

$$\ln \tau = A - B\sigma,$$

где  $A$  и  $B$  — некоторые постоянные.

Эта связь отражает определенный этап в процессе разрушения и по виду совпадает с формулой Журкова. Для АЭ от крейзов данную связь можно понять, если учесть, что крейз разрушается при достижении критических размеров [11], а скорость роста крейза  $V$  подчиняется соотношению [12]

$$v = C \exp\left(-\frac{\alpha\sigma}{kT}\right),$$

где  $C$  и  $\alpha$  — некоторые постоянные.

Время  $\tau$ , за которое крейз достигает критической глубины  $l$  определяется формулой

$$\tau = \frac{l}{v} = \frac{l}{C} \exp\left(-\frac{\alpha\sigma}{kT}\right)$$

Поэтому

$$\ln \tau = \ln \frac{l}{C} - \frac{\alpha}{kT} \sigma$$

Таким образом, экспериментально наблюдаемая связь времени задержки АЭ с приложенным напряжением подтверждает, что АЭ обусловлена разрушением части крейзовой зоны, а не ростом самих крейзов [2]. Эти же соображения объясняют факт практически одинаковой амплитуды импульсов АЭ. Длинные импульсы обусловлены разрывом фибрillard крейзовой зоны, начинающимся с поверхности материала, короткие — последующим разрывом фибрillard. Вначале происходит разрушение области крейзовой зоны большого объема, чем последующие ее разрушения. Такие предположения объясняют последовательность наблюдения типов сигналов и согласуются с представлениями о скачкообразном изменении формы крейзовой зоны [11].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Grabec I., Peterlin A. // J. Polymer Sci. Polymer Phys. Ed. 1976. V. 14. № 4. P. 651.
2. Nishiura T., Joh T., Okuda Sh., Miki M. // Polymer J. 1981. V. 13. № 1. P. 89.
3. Koenzoel L., Hiltner A., Baer E. // J. Appl. Phys. 1986. V. 60. № 8. P. 2651.
4. Ceranoglu A. N., Pao Y. H. // J. Appl. Mech. 1981. V. 48. № 3. P. 125.
5. Shibata M. // Mater. Eval. 1984. V. 42. № 1. P. 107.
6. Wadley H., Scruby C., Shrimpton G. // Acta Metallogr. 1980. V. 29. P. 399.
7. Palmer C. H., Gren R. E., jr. // Mater. Eval. 1977. V. 35. № 10. P. 107.
8. Rouby D., Fleischmann P., Duvergier O. // Phil. Mag. A. 1983. V. 47. № 5. P. 671.
9. Аку К., Ричардс П. Количественная сейсмология. Теория и методы. Т. 1. М., 1983. С. 520.
10. Kishi T. // Z. Metallkde. 1985. B. 76. № 7. S. 512.
11. Könzöl L., Schinker M. G., Döll W. // J. Mater. Sci. 1984. V. 19. № 5. P. 1605.
12. Ярышева Л. М., Пазухина Л. Ю., Луковкин Г. М., Волынский А. Л., Бакеев И. Ф., Козлов П. В. // Высокомолек. соед. А. 1982. Т. 24. № 10. С. 2149.

Киевский государственный университет  
им. Т. Г. Шевченко

Поступила в редакцию  
2.III.1988