

05;10

Эволюция статистических характеристик акустической эмиссии при разрушении стеклотекстолита

© А.А. Лепендин¹, В.В. Поляков^{1,2}, Д.С. Салита¹

¹ Алтайский государственный университет, Барнаул

² Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск

E-mail: pvv@asu.ru

Поступило в Редакцию 1 декабря 2014 г.

Выявлено, что статистические характеристики акустической эмиссии при пластической деформации и разрушении стеклотекстолита подчиняются скейлинговым соотношениям. Увеличение степени деформации, вызывавшее смену доминирующих механизмов разрушения, проявлялось в появлении новых „ветвей“ в амплитудных распределениях акустических импульсов с другими показателями скейлинга. Предложенный подход позволил выявить влияние механизмов разрушения на эволюцию характеристик акустической эмиссии.

Процесс разрушения структурно-неоднородных материалов определяется различными конкурирующими механизмами. Для описания этих механизмов может быть применен подход, связанный с введением представлений о самоподобии процесса разрушения [1], позволяющий строить простые универсальные модели, применимые к различным типам материалов. Этот подход показал свою эффективность при исследовании различных конструкционных материалов [2,3], льда [4], горных пород [5].

При разрушении происходит локальная перестройка структуры материала, сопровождаемая акустической эмиссией. Самоподобие процесса разрушения приводит к тому, что некоторые характеристики аку-

стической эмиссии, такие как амплитудные распределения акустических импульсов, имеют степенной характер [6]. Смена доминирующих механизмов на различных стадиях разрушения должна вызывать изменение параметров скейлинга, описывающих данные характеристики.

В данной работе эволюция статистических характеристик акустической эмиссии была изучена на примере стеклотекстолита марки СТЭФ. Этот композиционный материал представляет собой стеклотканевый армирующий каркас, погруженный в хрупкую полимерную матрицу. Перестройка резко неоднородной структуры стеклотекстолита при деформировании может наблюдаться непосредственно с помощью оптической микроскопии, что делает этот материал удобным модельным объектом при описании разрушения. В качестве механизмов, реализующих различные стадии процесса разрушения, выступают растрескивание связующего, отслоения волокон стеклоткани от матрицы, разрыв волокон.

Механические испытания проводились путем статического растяжения по „жесткой“ схеме с контролем степени деформации образцов. Растяжение каждого из образцов проводилось до заранее заданной степени деформации в диапазоне от $\varepsilon = 0.1$ до полного разрушения с одновременной регистрацией сигнала акустической эмиссии. Микроструктура деформированного до заданного значения ε образца исследовалась методом оптической микроскопии. Образцы изготавливались из плоских листов стеклотекстолита толщиной 1 mm и имели размер рабочей области 2.5×4 mm. В силу малой толщины и хорошей прозрачности матрицы можно было непосредственно наблюдать сеть микротрещин в толще материала.

Для регистрации сигналов акустической эмиссии применялся модифицированный метод детектирования [7], позволявший снизить влияние дополнительных осцилляций в сигнале, связанных с переотражением акустических волн от свободных поверхностей структурных элементов композиционного материала. Согласно этому методу задавалась модель огибающей отдельного импульса акустической эмиссии как затухающей экспоненты с характерным временем $\tau = 50$ ms. Сами регистрируемые сигналы имели преимущественно дискретный характер с хорошо выделенными импульсами.

Расчет амплитудных распределений для полного потока актов акустической эмиссии проводился по методике, описанной в [6]. Согласно этой методике весь диапазон возможных значений амплитуды импульсов делился на несколько блоков и определялось число импульсов $n(i)$,

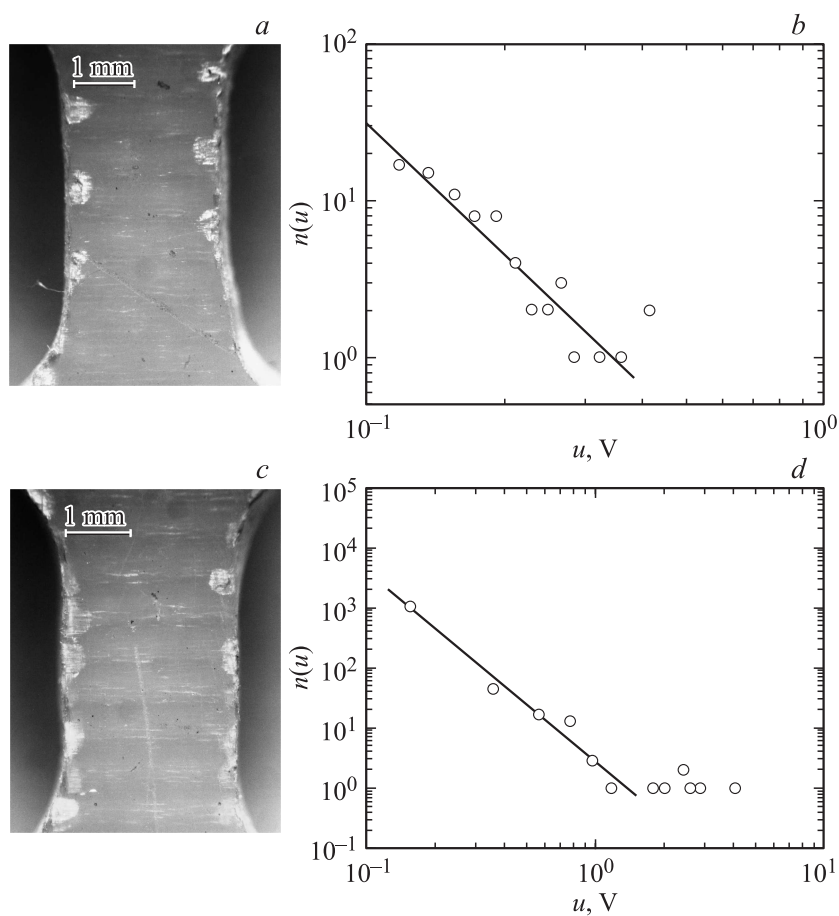


Рис. 1. Рабочие части образцов стеклотекстолита (a, c) и соответствующие амплитудные распределения импульсов (b, d) при деформации ε : a, b — ~ 0.10 , c, d — ~ 0.15 .

амплитуда которых попадала в каждый из блоков. Полученное экспериментальное распределение строилось в двойных логарифмических координатах $\log n(u) - \log u$. Как показано в [4,6], подобные распределения для акустико-эмиссионных сигналов в достаточно широком интервале значений амплитуд имеют степенной характер с некоторым показателем

1* Письма в ЖТФ, 2015, том 41, вып. 9

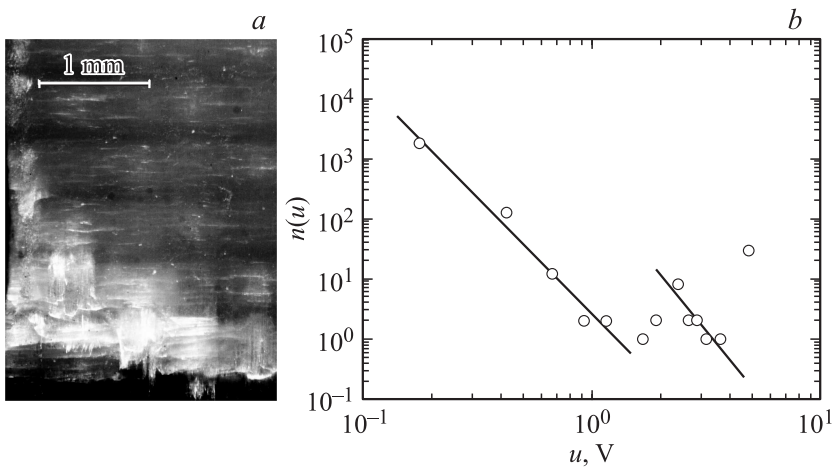


Рис. 2. Область разрыва образца стеклотекстолита (а) и амплитудное распределение импульсов (b) при деформации $\varepsilon \sim 0.20$.

скейлинга α :

$$n(u) \sim u^{-\alpha}.$$

Результаты измерений представлялись в виде графиков распределений амплитуд импульсов в сопоставлении с микрофотографиями соответствующей структуры материала (рис. 1, 2).

Малым деформациям $\varepsilon \sim 0.1$ соответствовали механизмы разрушения, проявлявшиеся в виде растрескивания матрицы при относительной сохранности нитей стекловолокна (рис. 1, а). Соответствующее распределение амплитуд импульсов акустической эмиссии (рис. 1, b) характеризовалось одной ветвью с показателем скейлинга $\alpha \sim 2.7 \pm 0.1$.

Отличительной особенностью следующего этапа нагружения при $\varepsilon \sim 0.13-0.15$ (рис. 1, c) было постепенное слияние микротрещин вследствие роста их числа и размеров. Эти процессы сопровождалось отдельными высокоамплитудными импульсами, не укладывавшимися на основную степенную зависимость (отдельные точки вблизи нижней части ветви на рис. 1, d). Показатель скейлинга практически не изменился и составлял $\alpha = 2.9 \pm 0.1$.

Большие деформации, предшествовавшие разрыву образца ($\varepsilon \sim 0.18-0.20$), приводили к появлению магистральной трещины в

связующем и разрыву армирующих стекловолокон (рис. 2, *a*). Новый механизм акустического излучения, связанный с указанной перестройкой структуры, проявлялся в появлении второй ветви на амплитудных распределениях (рис. 2, *b*). Эта ветвь описывала появление значительного числа высокоамплитудных импульсов с показателем скейлинга 4.7 ± 0.1 .

Полученные результаты показывают, что эволюция механизмов разрушения может проявляться в изменении вида амплитудных распределений акустических импульсов и приводить к появлению на них новых участков с другими показателями скейлинга. Это позволяет использовать статистические характеристики акустической эмиссии для анализа конкурирующих механизмов деформации и разрушения в структурно-неоднородных материалах.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности, проект 288.

Список литературы

- [1] Ханжгин В.Г., Штремель М.А. // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2009. В. 5. С. 53–59.
- [2] Иванов В.В., Климов В.И., Черникова Т.М. // *ПМТФ*. 1997. Т. 38. В. 1. С. 136–139.
- [3] Шибков А.А., Золотов А.Е., Желтов М.А., Денисов А.А. // *ФТТ*. 2011. Т. 53. В. 10. С. 1879–1884.
- [4] Duval P., Montagnat M., Grennerat F., Weiss J., Meyssonier J., Philip A. // *J. Glaciology*. 2010. V. 56. N 200. P. 1059–1068.
- [5] Гиляров В.Л., Варкентин М.С., Корсуков В.Е., Корсукова М.М., Куксенко В.С. // *ФТТ*. 2010. Т. 52. В. 7. С. 1311–1315.
- [6] Лепендин А.А., Поляков В.В. // *ЖТФ*. 2014. Т. 84. В. 7. С. 96–100. [Lependin A.A., Polyakov V.V. // *Tech. Phys.* 2014. V. 59. N 7. P. 1041–1045].
- [7] Егоров А.В., Поляков В.В., Гумиров Е.А., Лепендин А.А. // *Приборы и техника эксперимента*. 2005. Т. 48. В. 5. С. 115–118. [Egorov A.V., Polyakov V.V., Gumirov E.A., Lependin A.A. // *Instr. Exp. Techn.* 2005. V. 48. N 5. P. 667–670].