

УДК 539.43

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ С ДВУМЯ КОНЦЕНТРАТОРАМИ НАПРЯЖЕНИЙ

Иванов А. М., Лукин Е. С.

*Институт физико-технических проблем Севера СО РАН, г. Якутск, Россия*  
[a.m.ivanov@iptpn.ysn.ru](mailto:a.m.ivanov@iptpn.ysn.ru), [lukin@iptpn.ysn.ru](mailto:lukin@iptpn.ysn.ru)

Рассматривается вопрос устойчивости системы двух круговых отверстий в хрупком полимерном материале. Изложены результаты экспериментов на одноосное растяжение плоских образцов из полиметилметакрилата (ПММА) и тепловизионных измерений. Определены условия наступления потери устойчивости такой системы.

### Введение

Известно, что концентрация напряжений является одним из конструктивных факторов, определяющих прочность и ресурс деталей машин и элементов конструкций. Прочность среды определяется наличием и взаимодействием дефектов. Изучение кинетики деформирования и устойчивости среды с дефектами имеет важное значение для построения модели такой среды, прогнозирования разрушения среды в целом.

Установление характера взаимодействия дефектов, например геометрических концентраторов напряжений, трещин и т.д., при деформировании образцов из материалов различной природы позволяет выявить закономерности их разрушения.

Для регистрации трещин в различных материалах обычно используются физические методы, такие как рентгеновский, оптический, акустическая эмиссия, оптическая и электронная микроскопия. Данные методы, основанные на различных физических принципах, имеют свои преимущества и недостатки, отличаются чувствительностью и диапазоном измерений и т.д.

Для анализа процесса разрушения применяются различные подходы, направленные на установление потери устойчивости системы дефектов. Максимальное напряжение на контуре отверстия при различных типах нагружения элементов конструкций с рядом отверстий оценивается с учетом коэффициента концентрации напряжений [1 и др.]. Одним из физически обоснованных критериев является концентрационный критерий разрушения, определяющий переход от стадии накопления стабильных микротрещин в стадию макроразрушения [2, 3]. Концентрационный критерий разрушения широко применяется для прогноза землетрясений и используется в качестве предвестника. Данный подход основывается на оценке концентрации сейсмогенных разрывов [4]. В [5] в результате серии экспериментов установлены устойчивые предвестники динамического разрыва перемычки между концентраторами, вызванные перераспределением напряжений при параллельном нагружении образцов, изготовленных из цемента и кварцевого песка.

## Постановка задачи

Проведение экспериментов в лабораторных условиях на модельных образцах позволяет установить общие закономерности процесса разрушения. Рассматривается случай двух круговых отверстий одинакового диаметра.

Цель данной работы – исследование потери устойчивости системы двух круговых отверстий, выполненных в пластине из полиметилметакрилата (ПММА) с помощью экспресс-метода, основанного на регистрации теплового импульса при разрыве.

Выбранный метод должен обеспечить определение начала разрушения по сопровождающему данный процесс тепловому импульсу, а техническое средство – необходимое быстроедействие и точность регистрации разрыва перемычки между отверстиями.

## Методы исследования

Метод теплового излучения, основанный на регистрации и анализе изменения температуры при деформировании и разрушении материала, позволяет установить момент начала разрушения по тепловому импульсу. Механические испытания на одноосное растяжение плоских образцов с двумя концентраторами напряжений в виде круговых отверстий из ПММА проведены на универсальной испытательной машине «Инстрон-1195». Скорость нагружения составляла  $3,3 \cdot 10^{-5} \text{ мс}^{-1}$ . Для регистрации тепловых импульсов использовался тепловизор ТКВр-ИФП (Институт физики полупроводников СО РАН, г. Новосибирск). Техническая характеристика тепловизора приведена в [6].

## Результаты эксперимента и их обсуждение

Образец из ПММА представлял собой пластину размером  $160 \times 50 \times 2 \text{ мм}$ . В образцах симметрично относительно осевой линии выполнялись два круговых отверстия. Варьировалось отношение расстояния между центрами отверстий к их диаметру. Коэффициент концентрации напряжений, когда нагрузка воспринимается минимальным сечением (рис.1,а), определяется как [1]

$$K_{\text{от}} = \frac{\sigma_{\text{макс}b}}{\sigma} \frac{(1-a/b)}{\sqrt{1-(a/b)^2}}$$

На рис.1,б в качестве примера представлено изменение температуры в образце, зарегистрированного с прямоугольного участка, охватывающего отверстия, в процессе нагружения при значении параметра концентрации напряжений  $\chi = 1/\mu a = b/a = 1,1$ . Здесь  $\mu = 1/b$  – линейная плотность (концентрация) отверстий. Число кадров  $N=20$  соответствует 1 с. Снижение температуры по линейному закону характеризует упругий характер деформирования. Как видно, первый всплеск на температурной кривой соответствует разрыву перемычки между отверстиями, а второй – разрушению всего образца.

Анализ зависимости времени до разрыва перемычки между отверстиями от коэффициента концентрации напряжений (рис.2) показывает, что, начиная со значений  $K_{\text{от}} = 1,42$ , т.е. с увеличением отношения  $b/a$ , влияние перемычки практически отсутствует, иными словами разрыв перемычки и опасного сечения совпадают. Здесь время до разрушения представлено в относительных величинах: как отношение времени до разрыва перемычки к времени до разрушения образца по опасному сечению. Полу-

ченные данные наглядно демонстрируют повышение активности взаимодействия отверстий с увеличением концентрации напряжений в точке на контуре отверстия, расположенной на сечении между отверстиями, а также с уменьшением параметра концентрации напряжений. При расстояниях между отверстиями, достаточных для перекрытия полей напряжений от них, происходит их взаимодействие при соответствующем уровне напряжений. Взаимодействие концентраторов напряжений сопровождается потерей устойчивости системы дефектов и возникновением более крупного дефекта.

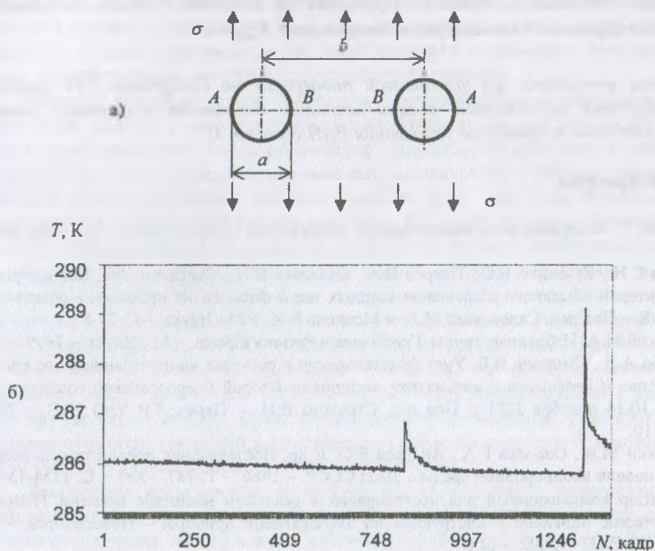


Рис.1. Схема образца с отверстиями (а) и изменение максимальной температуры на выделенном участке поверхности образца в процессе нагружения (б).

$$\bar{r} = r_{\text{перем}} / r_{\text{критическая}}$$

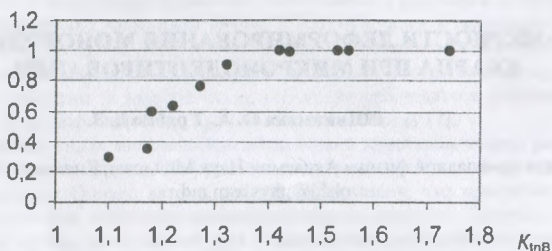


Рис.2. Зависимость момента разрыва перемычки между двумя круговыми отверстиями от коэффициента концентрации напряжений в точке В.

## Выводы

1. Применение тепловизионных средств измерения дает возможность определить начало разрушения (разрыв перемычки между дефектами и полное разрушение образца) по тепловому импульсу при статическом нагружении.

2. При одноосном статическом растяжении пластин из ПММА с двумя круговыми отверстиями одинакового диаметра разрыв перемычки между ними за счет их активного взаимодействия еще до полного разрушения по опасному сечению наступает при значениях коэффициента концентрации напряжений  $K_{об} = 1,42$ .

*Работа выполнена при финансовой поддержке по Программе 3.11 фундаментальных научных исследований секции механики Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН (проект 4).*

## Список литературы

1. Петерсон Р. Коэффициенты концентрации напряжений / Пер. с англ. - М.: Мир, 1977. - 304с.
2. Журков С.Н., Куксенко В.С., Петров В.А., Савельев В.Н., Султанов У.С. Концентрационный критерий объемного разрушения твердых тел // Физические процессы в очагах землетрясений. - Под ред. Садовского М.А. и Мечкина В.И. - М.: Наука. - С. 78-86.
3. Садовский М.А. Избранные труды. Геофизика и физика взрыва. - М.: Наука. - 1999. - 335с.
4. Завьялов А.Д., Смирнов В.Б. Учет фрактальности в расчетах концентрационного критерия разрушения // Геофизика и математика: материалы Второй Всероссийской конференции. - Пермь, 10-14 декабря 2001 г. Под ред. Страхова В.Н. - Пермь: Ги УрО РАН. - 2001. - С.103-110.
5. Садовский М.А., Соболев Г.А., Андреев В.О. и др. Исследование предвестников разрушения на модели неоднородной среды // ДАН СССР. - 1986. - Т. 287. - №6. - С. 1354-1357.
6. Тепловизор компьютерный для исследования в реальном масштабе времени ТКВр-ИФП // Техническое описание и инструкция по эксплуатации прибора. - Новосибирск. - ИФП ОИФП СО РАН. - 2002 - 12 с.

УДК 539.8; 536

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ КВАРЦА ПРИ МИКРОИНДЕНТИРОВАНИИ

Шикимьяк О. А., Грѣбко Д. З.

Институт прикладной физики Академии Наук Молдовы, Кишинѳу, Молдова,  
[olshi@phys.asm.md](mailto:olshi@phys.asm.md)

Используя методы атомно-силовой (АСМ), растровой электронной (РЭМ) и оптической микроскопии (ОМ) в сочетании с методом химического травления, в работе исследованы основные закономерности деформирования кристаллов SiO<sub>2</sub> при микроиндентировании. Высказано предположение о пластическом деформировании кварца под дей-