

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 541.64:539.3

Об одном методе определения зоны пластической деформации

Я. С. Семенов, В. П. Ларионов

Институт физико-технических проблем Севера СО РАН, Якутск, Россия

Предлагается новый бесконтактный метод определения зоны пластической деформации при испытаниях на разрушение конструкционных материалов. В основу метода положено измерение с помощью тепловизора размера теплового поля, проявляющегося при деформации.

Ключевые слова: бесконтактный метод, конструкционные материалы, тепловое поле.

Исследование релаксационных явлений в вязкопластических упругих материалах связано с рассмотрением их как сплошных сред, которые по механическим свойствам занимают промежуточное положение между упругими твердыми телами и вязкими жидкостями и в которых работа внешних сил частично “запасается”, а частично рассеивается в виде тепла. Тепло рассеивается в области высокой пластичности, достигая максимума в зоне отрыва. Вследствие деформации материала происходит движение дислокаций и разрыв межатомных связей, что приводит к сильному разогреву. Последнее обстоятельство дает возможность измерения зоны пластической деформации с помощью тепловизора.

Методика эксперимента. Хорошо известно [1–3], что конструкционные материалы при деформировании выделяют значительное количество тепла.

С другой стороны, при разрушении полимерных материалов выделение тепла незначительное. Для демонстрации чувствительности метода испытанию подвергались гладкие образцы и образцы с V-образным надрезом из полимерного материала ПЭВП. Испытания на разрыв проводили на испытательной машине “INSTRON-1195” со скоростью движения захватов 100 мм/мин.

Для исследований использовался тепловизор марки “Thermovision-550” (чувствительность 0,1°C, диапазон рабочих температур 10...200°C, размер зоны сканирования 0,1 × 0,1 мм), в состав которого входят микропроцессор и соответствующие программы. Тепловизор позволяет регистрировать изображение образца с обозначенной зоной пластичности, шкалу температур, значения температур в обозначенных точках (минимальное и максимальное) и график распределения температуры по длине образца. Участок повышенной температуры и определяет размер зоны пластической деформации (рис. 1, 2).

Кроме того, в число исходных данных автоматизированной системы входят размеры образца, диаграммы усилие – время, деформация – время, полученные на разрывной машине, и диаграмма усилие – деформация.

© Я. С. СЕМЕНОВ, В. П. ЛАРИОНОВ, 2003

ISSN 0556-171X. Проблемы прочности, 2003, № 1

143

Типичные результаты испытаний гладкого образца приведены на рис. 1, где дано тепловое изображение образца в инфракрасных лучах и график распределения температуры по его длине. Как и следовало ожидать, в зоне пластической деформации имеет место значительное повышение температуры.

На рис. 2 представлены аналогичные результаты испытаний образца с острым V-образным надрезом.

Сравнение приведенных на рис. 1, 2 результатов свидетельствует об уменьшении диссипационного объема при наличии надреза вследствие концентрации напряжений на кончике надреза [3, 4].

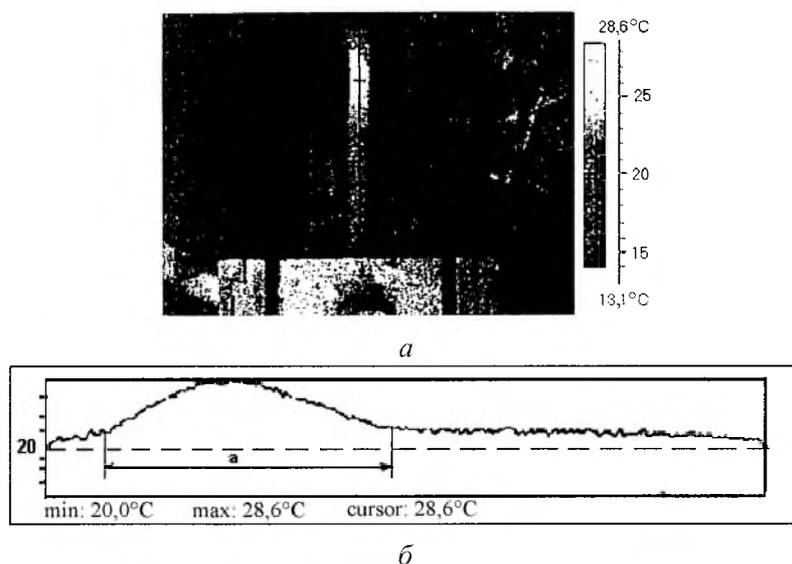


Рис. 1. Тепловое изображение гладкого образца (а) и график изменения температуры по его длине (б).

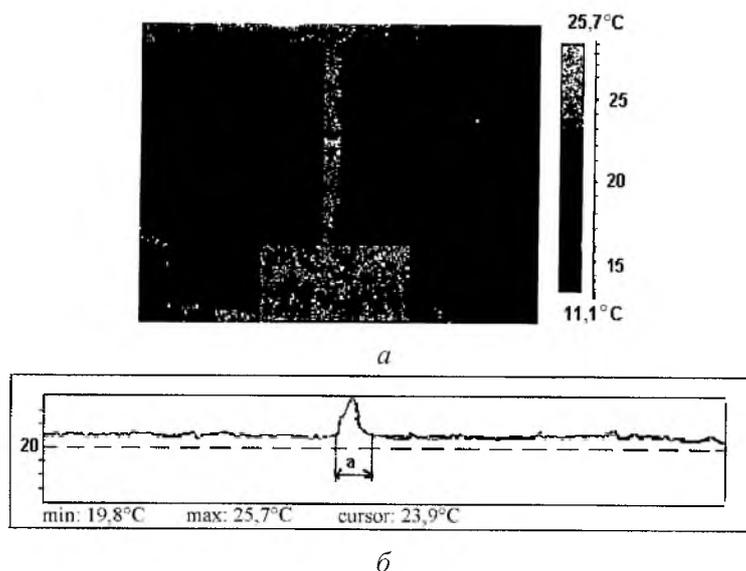


Рис. 2. Тепловое изображение образца с острым надрезом (а) и график изменения температуры по его длине (б).

Эти данные позволяют с достаточной точностью и ускоренным методом определить диссипационный объем, который содержит все виды поглощенной энергии в зоне пластической деформации.

Зная диссипационный объем, можно оценить энергозатраты приложенных внешних сил. Релаксационный процесс у вязкопластических упругих материалов можно описать с помощью соотношения [1, 2]

$$P = P_0 \exp(-t/\tau), \quad (1)$$

где τ – время релаксации материала; t – текущее время; P_0 – начальное напряжение. Время релаксации связано с разрывом и изменением химических связей, в результате которого выделяется тепло.

Из-за гетерофазности материала время релаксации имеет множество значений и представляется некоторым спектром. Этот спектр времени релаксации можно представить гауссовой кривой, т.е.

$$\tau = A \exp[(t - \tau_0) / \tau_0]^2, \quad (2)$$

где A – некоторая постоянная исследуемого материала; τ_0 – время релаксации “чистого” материала.

Как вязкоупругая, так и пластическая деформации приводят к выделению тепла. Известно [5], что на одну связь выделяется тепловая энергия, равная $E = kT$. Рассчитав объем (рис. 1, 2) области деформаций (изменения температуры) и умножив на число Авогадро, для тепловой энергии получим

$$E_T = k\Delta T N_A abh, \quad (3)$$

где k – постоянная Больцмана; N_A – число Авогадро; a, b, h – параметры зоны пластичности; ΔT – приращение температуры. В нашем случае тепловая энергия равна 4,35 кДж для гладкого образца и 0,7 кДж для образца с острым надрезом.

Таким образом, можно определить затраты энергии разрушения на выделение тепловой энергии. Данная разработка в настоящее время проходит внедрение для реальных конструкционных материалов и деталей машин.

Резюме

Запропоновано новий безконтактний метод визначення зони пластичної деформації при випробуваннях на руйнування конструкційних матеріалів. Метод базується на вимірюванні за допомогою тепловізора розміру теплового поля, що проявляється при деформації.

1. *Вязкоупругая* релаксация в полимерах. – М.: Мир, 1974. – 347 с.
2. *Фридман Я. Б.* Механические свойства металлов. Деформация и разрушение. – М.: Машиностроение, 1974. – Ч. 1. – 472 с.

3. Белкин А. М., Вишневский А. П., Рулев В. И. Чувствительность к концентрации напряжений конструкционных сталей в различных структурных состояниях // *Металловедение и терм. обраб. металлов.* – 1989. – № 1. – С. 34 – 39.
4. Новопашин М. Д., Сукнев С. В., Иванов А. М. Упругопластическое деформирование и предельное состояние элементов конструкций с концентраторами напряжений. – Новосибирск: Наука, 1995. – 112 с.
5. Базаров В. П. Термодинамика. – М.: Наука, 1989. – 593 с.

Поступила 03. 04. 2002