

A. B. Egorov, O. O. Petrova, V. V. Polyakov

Использование измерений тепловой эмиссии при диагностике деформационного поведения материалов

A. V. Egorov, O. O. Petrova, V. V. Polyakov

Application of Thermal Emission Measurements to Define Deformation Behavior of Materials

Проведено экспериментальное исследование особенностей изменения температуры на поверхности деформируемого материала в процессе деформационного упрочнения. Выявлены температурные особенности формирования областей пластического течения и разрушения в условиях статического нагружения. Полученные данные могут быть использованы при диагностике деформационного поведения материалов.

Ключевые слова: тепловая эмиссия, статическое растяжение, пластическая деформация.

В современной технике все большая роль отводится диагностике материалов и конструкций, эксплуатируемых в условиях переменных механических полей. В связи с этим существенно возрастает значение методов диагностики процессов деформации, обеспечивающих прогнозирование изменений структуры материала на ранних этапах разрушения. К таким методам можно отнести анализ акустической эмиссии, возникающей при локальных перестройках внутренней структуры при пластической деформации [1, 2], различные варианты вихретоковых измерений, позволяющих эффективно отслеживать развитие макроскопических дефектов [3, 4], активно развиваемый в последние годы при исследовании разрушения метод электромагнитной эмиссии [5]. В то же время в композиционных материалах, отличающихся крайне неоднородным строением, одновременно действуют различные конкурирующие механизмы пластической деформации и разрушения. Это существенно усложняет интерпретацию получаемых данных и снижает надежность и достоверность диагностики. В силу этого представляет большой интерес разработка комбинированных методов диагностики, включающих в себя измерение дополнительных информативных характеристик.

В процессах пластической деформации и разрушения релаксация упругих напряжений вызывает локальное выделение тепла, что проявляется в изменении температуры поверхности материала. Повышение температуры поверхности обусловлено теми же явлениями локальной перестройки структуры, которые вызывают акустическую или электромагнитную эмис-

The experimental research on temperature changes on the surface of the deformable material during strain hardening has revealed temperature features in a process of formation and destruction of plastic flow areas in the conditions of a static loading. The obtained data can be used to define deformation behavior of materials.

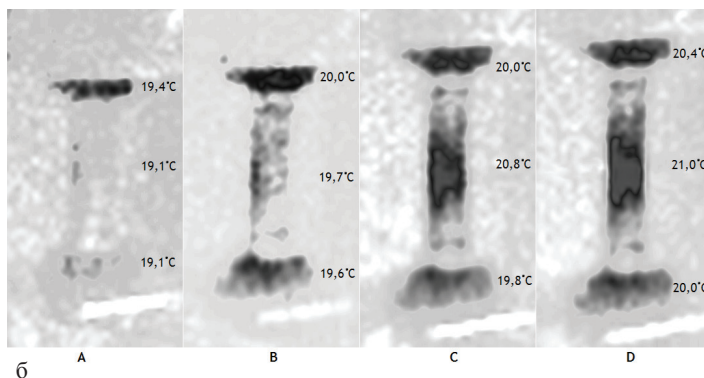
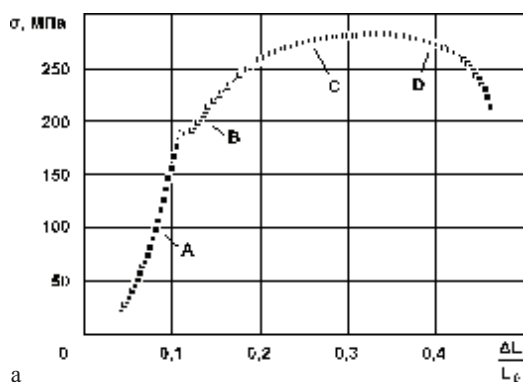
Key words: thermal emission, static distention, plastic deformation.

сии, и может рассматриваться, по аналогии с ними, как тепловая эмиссия [6]. Исследование локальных изменений температуры позволяет получить дополнительную информацию о развитии деформационного процесса и тем самым расширить возможности диагностики.

Наиболее значительные изменения температуры наблюдаются, как известно, в усталостных испытаниях при циклическом нагружении и в условиях динамических нагрузок [7, 8]. В то же время современные устройства позволяют достаточно надежно фиксировать относительно небольшие локальные изменения температуры, происходящие при статических испытаниях по традиционной схеме статического растяжения. В настоящей работе были проведены измерения тепловой эмиссии при статическом растяжении металлических образцов, изготовленных из стали марки Ст10. Выбор материала обусловлен его широким распространением в промышленности и высокой изученностью деформационного поведения. При измерениях использовался автоматизированный измерительно-вычислительный комплекс на основе модернизированной испытательной машины 2167P-50 с пониженным уровнем импульсных помех. Образцы для испытаний имели форму плоских стержней длиной 80 мм и сечением 15х3 мм, испытания проводились при комнатной температуре. Распределение температуры по плоской поверхности рабочей части образцов находилось с помощью измерительного тепловизора Testo881-1, обеспечивавшего точность определения температуры (температурную чувствительность) до 50 мК при 30 °С,

частоту измерений $\sim 0,1$ с (частота смены кадров 9 Гц), с выделением локальных областей размером до 1 мм (при расположении тепловизора на расстоянии $\sim 0,5$ м от образца). Одновременно с измерени-

ем температуры определялись параметры экспериментальной кривой деформационного упрочнения, представлявшиеся в виде зависимости «напряжение σ — относительное удлинение $\Delta L/L_0$ ».



Распределение температур на рабочей поверхности образца стали при статическом растяжении: а — кривая деформационного упрочнения; б — температура поверхности образцов для участков **A, B, C, D** кривой деформационного упрочнения

На рисунке *а* представлена типичная кривая деформационного упрочнения с выделенными на основных стадиях деформирования участками **A, B, C** и **D**. На рисунке *б* приведены термограммы, отображающие соответствующие этим участкам изображения распределений температуры по рабочей поверхности образца, непосредственно снятые с измерительного устройства. Более темные участки на термограммах соответствуют более высокой температуре, изменение геометрических размеров изображений обусловлено удлинением образца и его сужением (образованием «шейки» в центральной части).

Как видно из рисунка, на линейном (упругом) участке **A** кривой « σ — $\Delta L/L_0$ » температура поверхности практически не изменяется. При достижении участка текучести **B**, отчетливо выявляющегося на кривой деформационного упрочнения, температура в области крепления и в центральной части образца повышается примерно на $0,5$ °C. Очевидно, что это повышение обусловлено процессами пластической деформации, при этом представленные данные позволяют наглядно визуализировать области зарож-

дения этих процессов. На участке значительной пластической деформации **C** наблюдается быстрый рост температуры в центральной части образца. Это означает, что локальная перестройка структуры (вызываемая мощным движением ансамблей дислокаций и других дефектов) сосредоточивается исключительно в центральной части. Изображение на рисунке *б*, соответствующее участку **C** кривой деформационного упрочнения, отчетливо показывает особенности формирования, локализацию и размер области предразрушения. Участку **D** на стадии разрушения отвечает значительное, достигающее 2 °C, повышение температуры в зоне «шейки» и области предстоящего разрыва образца. Таким образом, измерения параметров тепловой эмиссии позволяют выявить особенности формирования областей пластической деформации, предразрушения и разрушения и их эволюцию в процессе механического нагружения материала.

Приведенные результаты свидетельствуют о перспективности использования локальных измерений температуры поверхности в задачах диагностики пластической деформации и разрушения.

Библиографический список

1. Егоров А. В., Поляков В. В. Применение метода акустической эмиссии к исследованию деформационного поведения структурно-неоднородных материалов. — Барнаул, 2008.
2. Буйло С. И. Физико-механические и статистические аспекты повышения достоверности результатов акустико-эмиссионного контроля и диагностики. — Ростов н/Д, 2008.
3. Неразрушающий контроль: справочник: в 7 т. / под общ. ред. В. В. Клюева. Т. 2, кн. 2: Вихретоковый кон-

троль / Ю. К. Федосенко, В. Г. Герасимов, А. Д. Покровский и др. — М., 2003.

4. Егоров А. В., Поляков В. В., Иваков С. В. Измерительно-вычислительный комплекс для определения удельной электропроводности и магнитной проницаемости методом вихревых токов // Ползуновский вестник. — 2010. — № 2.

5. Поляков В. В., Егоров А. В., Салита Д. С. Применение метода электромагнитной эмиссии к исследованию на-

номатериалов // Развитие нанотехнологий: задачи международных и региональных научно-образовательных и научно-производственных центров: тез. докл. Первой Международн. конф. — Барнаул, 2012.

6. Поляков В. В., Егоров А. В. Диагностика разрушения композиционных материалов с помощью комбинированных измерений акустической, электромагнитной и тепловой эмиссий // Тезисы докладов IX Международной конференции по гидроавиации. — М., 2012.

7. Мойсейчик Е. К., Мойсейчик Е. А. Инфракрасная термография растянутых стальных элементов с конструктивно-технологическими дефектами // Неразрушающий контроль и диагностика. — 2012. — № 1.

8. Плехов О. А. Использование высокоскоростной инфракрасной термографии при проведении стандартных механических испытаний // Прикладная оптика — 2010: сб. тр. 9-й Международн. конф. — СПб., 2010.