

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕТИКИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ПО ИНФРАКРАСНОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ

А.М. Иванов, Е.С. Лукин

*Институт физико-технических проблем Севера СО РАН,  
677891, Россия, Якутск, ул. Октябрьская, 1  
[a.m.ivanov@sci.yakutia.ru](mailto:a.m.ivanov@sci.yakutia.ru)  
[lukinmail@mail.ru](mailto:lukinmail@mail.ru)*

Рассматривается методика исследования особенностей в кинетике деформирования и разрушения пластичных материалов на основе анализа динамики развития тепловой картины в инфракрасном излучении и изменения температуры образца. Показано, что изменение температуры образца является признаком начала наступления переходных моментов в состоянии материала. Методика позволяет однозначно определять механические характеристики материалов.

Решение проблемы обеспечения необходимой прочности материалов затрагивает вопросы развития представлений о процессах деформирования и разрушения на стадии упрочнения и разупрочнения. Деформирование и разрушение пластичных материалов представляет собой развивающийся во времени сложный процесс. Знание особенностей этого процесса может служить основой для совершенствования феноменологических подходов к их описанию с позиций теории повреждаемости.

Интерес представляет исследование кинетики упругопластического деформирования, зарождения и роста пор, образования и развития макротрещины в зоне локализации деформаций, обусловленной образованием в образце «шейки». Большое значение в решении данной проблемы имеет выбор экспериментального метода. В дополнение к анализу диаграммы деформаций используется целый комплекс экспериментальных методов: металлографический, рентгеноструктурный, электронно-фрактографический и метод микротвердости [1-4].

В настоящей работе предлагается методика изучения особенностей в кинетике деформирования и разрушения пластичных материалов на основе анализа динамики развития тепловой картины в инфракрасном (ИК) излучении и изменения температуры образца.

Испытания образцов проводились на универсальной разрывной машине «Instron-1195». Скорость нагружения – 2 мм/мин. Диаграмма напряжений стали 18Г2С представлена на рис. 1 (кривая 1). Здесь  $\sigma$  – условное напряжение;  $\delta$  – удлинение.

Методика исследования заключается в следующем. Одновременно с записью машинной диаграммы растяжения образца производится непрерывная запись на видеоманитофон тепловой картины в ИК излучении с выделенного рабочего участка с использованием тепловизора «Thermovision 550» фирмы «Agema» с точностью определения температуры  $\pm 0,1$  К. На рис. 2 представлена картина инфракрасного излучения, со-

ответствующая стадии развитой «шейки» растягиваемого образца. Тепловизор также позволяет фиксировать максимальную температуру в какой-нибудь точке на выделенном участке. График зависимости изменения температуры  $\Delta T$  образца из стали 18Г2С от удлинения  $\delta$  приведен на рис. 1 (кривая 2).

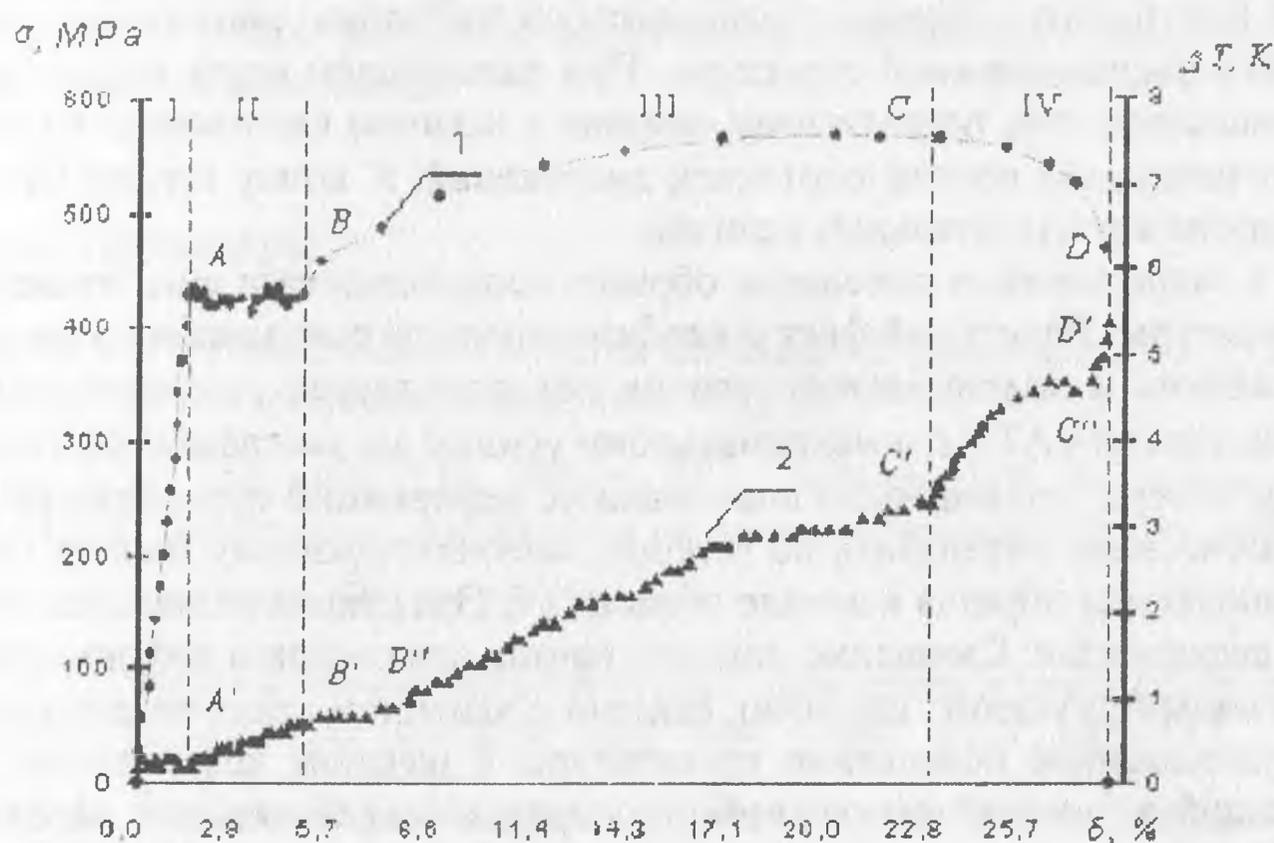


Рис. 1.

Анализ развития тепловой картины в ИК излучении в реальном времени, диаграммы изменения температуры образца при одноосном растяжении и экспериментальных данных других исследователей для этого класса материалов, а также учет известных механизмов деформирования и разрушения позволили оценить реальное поведение образца на различных стадиях деформации.

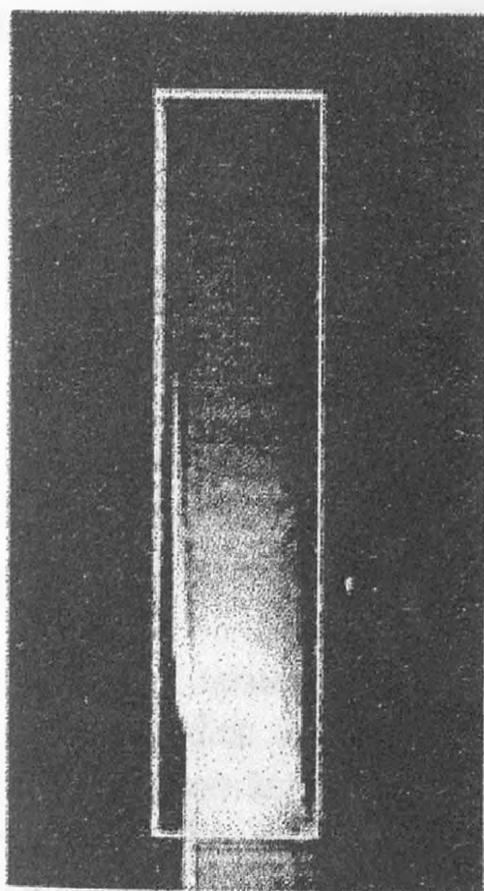


Рис. 2.

Процессы деформирования и разрушения сопровождаются выделением теплового и нетеплового излучений. Согласно предложенному механизму физических процессов, определяющих образование микротрещин, в работе [5] температурный разогрев образца связывают с пробоем водорода, заполнившего микротрещины под давлением  $\sim 10^2$  атм. Связь ИК свечения с разогревом металла в процессе накопления микронарушений или локальной пластической деформации предложена в работе [6].

На упругой стадии деформирования I (рис. 1) изменений на тепловой картине не наблюдается, при этом температура образца остается неизменной.

С наступлением физического предела текучести происходит повышение температуры (стадия II), а на картине ИК-излучения видно распространение фронта тепловой волны, который достигает противоположного края образца примерно в конце площадки текучести. Рассеяние энергии в тепло связано с появлением пла-

стических деформаций, которые объясняются на основе известных представлений теории дислокаций [1]. Интенсивное размножение и движение дислокаций с преодолением барьеров сопровождается повышением температуры образца.

В начале области III, соответствующей повышению усилия, наблюдается некоторая стабилизация температуры образца (до точки  $B''$ ). Это явление, вероятно, соответствует наступлению некоторого временного равновесного состояния, связанного с завершением перестройки дислокационной структуры. При дальнейшем росте усилия температура вновь повышается, что, по-видимому, связано с началом скольжения по вторичным системам, значительным ростом плотности дислокаций. К концу стадии III плотность дислокаций достигает значительных величин.

Переход в закритическое поведение образца сопровождается еще большим увеличением температуры. Известный факт о необязательности совпадения точек начала образования «шейки» и максимального усилия подтверждается несоответствием точки перегиба  $C'$  на кривой « $\Delta T - \delta$ » максимальному усилию на диаграмме растяжения. Поэтому, начало потери устойчивости пластических деформаций при образовании «шейки» более обоснованно определять по усилию, соответствующему началу резкого повышения температуры образца в начале области IV. Эта стадия отличается повышением скорости деформаций. Смещение момента начала локализации деформаций относительно максимального усилия, вероятно, связано с влиянием каких-то дополнительных факторов. Существенное повышение температуры с началом локализации пластических деформаций в «шейке» растягиваемого образца сопровождается зарождением и ростом пор. На этой стадии происходит слияние пор в центральной области «шейки».

Начало разрушения, соответствующее образованию внутренних трещин при интенсивном слиянии центральных пор, в работах ряда исследователей [2,3] устанавливается путем анализа микроструктуры. Такой подход трудоемкий. Образование зародышевой трещины, т.е. начало разрушения достаточно просто можно определить по характерному перегибу на кривой « $\Delta T - \delta$ » на стадии IV. На этом локальном участке диаграммы слияние трещин, вероятно, сопровождается интенсивной деформацией перемычек между ними. Рост магистральной трещины характеризуется большой крутизной кривой « $\Delta T - \delta$ » после точки перегиба  $C''$ . Разделение образца на части сопровождается яркой вспышкой ИК излучения и скачком температуры.

Таким образом, существенное изменение температуры служит признаком начала наступления переходных моментов в состоянии материала (интенсивное развитие дислокаций, появление пор и образование трещины). Этот эффект, в свою очередь дает возможность однозначного, физически обоснованного определения механических характеристик материалов. Физический предел текучести для данного образца, установленный по моменту начала повышения температуры в начале стадии II (точка  $C'$ ), составил 413,6 МПа, в то время как при испытании партии образцов по ГОСТ для стали 18Г2С было получено  $\sigma_T = 406,5$  МПа. Следует отметить, что установление момента перехода из упругого состояния в пластическое по этой температурной особенности особенно важно для материалов, не имеющих площадки текучести.

Следует рассмотреть ещё одну возможность использования диаграммы « $\Delta T - \delta$ ». Поскольку тепловой эффект связан с процессами, происходящими при деформировании и разрушении образца, то возможна качественная оценка поврежденности материала. Изменение наклона кривой « $\Delta T - \delta$ » и рост абсолютных значений  $\Delta T$  позволяет предположить, что эти параметры каким-то образом характеризуют накопление и развитие дефектов в материале.

Таким образом, данная методика исследования с использованием ИК излучения в комплексе с другими методами открывает дополнительную возможность изучения особенностей процессов деформации и разрушения материалов. Динамика изменения картины температурного поля в ИК излучении позволяет визуально наблюдать за кинети-

кой развития пластических деформаций. Особенности, выявленные с применением данной методики, могут быть использованы при развитии представлений о деформациях и разрушении. Они также могут быть учтены при разработке модели упруго-вязкопластического тела, для которого характерны локализация пластических деформаций, наличие внутренних дефектов вследствие зарождения, роста и слияния пор, а также возможность учета эволюции дефектной структуры. Следует отметить и прикладное значение данной методики: возможность однозначного определения механических характеристик материалов.

### Список литературы

1. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов. В двух частях. Ч. 1. Деформация и разрушение. М.: Машиностроение, 1974. 472 с.
2. Лебедев А.А., Марусий О.И., Чаусов Н.Г., Зайцева Л.В. Исследование кинетики разрушения пластичных материалов на заключительной стадии деформирования // Пробл. прочн. 1982. № 1. С.12 - 18.
3. Пежина П. Моделирование закритического поведения и разрушения диссипативного твердого тела // Теор. осн. инж. расч. 1984. Т.106. №4. С.107 - 117.
4. Васин Р.А., Еникеев Ф.У., Мазурский М.И. О материалах с падающей диаграммой // Изв. РАН: Мех. тверд. тела. 1995. №2. С.181 - 182.
5. Михайлова Г.В., Зуев Б.К., Новиков Н.П., Севастьянов В.С., Абдульманов И.Г., Киселев В.А., Кунин Л.Л., Чурсин А.С. Некоторые особенности физических процессов механического разрушения // Докл. АН СССР. 1987. Т.295. № 6. С.1324 - 1329.
6. Абрамова К.Б., Пахомов А.Б., Перегуд Б.П., Щербаков И.П. Инфракрасное излучение, возникающее при деформации и разрушении металлов // Журн. техн. физ. 1988. Т.58. Вып.4. С.817 - 821.