

МЕТОД ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ, МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

© 2011 Я.С. Семенов, Р.Г. Адамов

Якутский государственный инженерно-технический институт

Поступила в редакцию 21.03.2011

Предлагается новый бесконтактный метод определения зоны пластической деформации при испытаниях на предельные нагрузки оборудования, машин и механизмов. В основе метода лежит измерение размера теплового поля, проявляющегося при деформации, с помощью тепловизора, что позволяет определить предельно допустимую нагрузку на узлы оборудования, машин и механизмов. Исследуются деформационные поля полимерных материалов с помощью тепловизора при одноосном нагружении. Исследована кинетика деформации и теплового поля. Показана взаимосвязь поля деформаций и теплового поля.

Ключевые слова: *бесконтактная диагностика, тепловизор, контроль служебных свойств в машиностроении*

Исследование оборудования, машин и механизмов является очень важной проблемой, решение которой позволит экономно проектировать и применять более широкий спектр конструкционных материалов. Известно, что при нагружении в конструкционном материале происходит рассеяние механической энергии, вследствие чего работа внешних сил частично «запасается» в виде упругих деформаций и частично рассеивается в виде тепла. Рассеяние тепла происходит в области высокой пластичности, достигая максимума в зоне отрыва. Одним из успешных методов исследования и контроля может стать бесконтактный метод измерения деформаций и напряжений с помощью тепловизора [1-2]. Для оценки чувствительности исследуются полимерные материалы. Полимерные материалы широко используются в машиностроении с широким спектром назначений, благодаря многим свойствам, например, они легче, чем металлические детали, химическая и коррозионная устойчивость и т.д. [1-2].

Цель работы – исследование деформационных полей конструкционных полимерных материалов с помощью тепловизора, в том числе с концентраторами напряжений.

Материалы и методика исследований. Исследовались полимерные материалы – полиэтилены марки ПЭ80, ПЭ63, ударопрочный полистирол – УПС, полиамид – ПА, ПЭВП по ГОСТ 11262-80.

Семенов Ян Семенович, кандидат технических наук, доцент. E-mail: yansemenov@mail.ru
Адамов Радий Герасимович – заместитель заведующего кафедрой

Для экспериментального исследования кинетики деформирования и разрушения гладких образцов был использован тепловизор «ТКВр-ИФП», предельная чувствительность 0,03 К, диапазон измеряемых температур 293-318 К, пространственное разрешение не менее 0,5 мм, частота кадров – 20 кадров/с, характерная рабочая длина волны 2,9 мкм, функция анализа термограмм и т.д. Механические испытания на одноосное растяжение образцов проводились на универсальной испытательной машине «Instron-1195».

Исследования проводились на плоских образцах, изготовленных из полиэтиленов марки ПЭ80, ПЭ63, ударопрочного полистирола (УПС), полиамида (ПА). Гладкие образцы из полиэтилена марки ПЭ80 вырезались из трубы. Размеры рабочей части образцов следующие: ПЭ80 – 60,5×9×10,8 мм; УПС – 72×10×3 мм; ПА – 62×9,9×4,3 мм. Скорость нагружения для: ПЭ80, ПЭ63 – $3,3 \cdot 10^{-4}$ м·с⁻¹, УПС и ПА – $0,83 \cdot 10^{-4}$ м·с⁻¹. Кроме того, испытывались образцы с концентратором напряжения. Испытанию подвергались образцы из полимерного материала ПЭВП по ГОСТ- 11262-80, чтобы проверить чувствительность метода, т.к. обычно при разрушении полимерных материалов выделение тепла незначительно. Это образцы: а) гладкий образец; б) образец с V-образным надрезом.

Результаты экспериментов. Типичные результаты испытаний приведены на рис. 1 для гладкого образца, где дано тепловое изображение образца в инфракрасных лучах, шкала температур, таблица со значениями температур в отмеченных точках и график распределения температур по длине образца. Как и следовало

ожидать в зоне пластической деформации, имеет место значительное повышение температуры, длину которой обозначим буквой *a*, ширину образца буквой *b*, толщину буквой *h*. В ходе проведения экспериментов анализировалось тепловое изображение образца в реальном времени с последующим отображением в виде графиков распределения температуры вдоль вертикальной осевой линии образца в различные моменты времени, изменения температуры со временем для выбранной точки, а также графики изменений во времени максимальной $T_{\text{макс}}$, минимальной $T_{\text{мин}}$ и средней $T_{\text{ср}}$ температур на выделенном участке поверхности образца. Типичные результаты испытаний приведены на рис. 1 для гладкого образца, где дано тепловое изображение образца в инфракрасных лучах, шкала температур, таблица со значениями температур в отмеченных точках и график распределения температур по длине образца. Как и следовало ожидать в зоне пластической деформации, имеет место значительное повышение температуры. На рис. 2 приведены типичные результаты испытаний образца с острым V-образным надрезом. Все обозначения выходных данных такие же, как и у гладкого образца. Уменьшение диссипационного объема при наличии надреза ясно видно при сравнении результатов приведенных на рис. 1-2, что происходит из-за концентрации напряжений на кончике надреза [3-4].

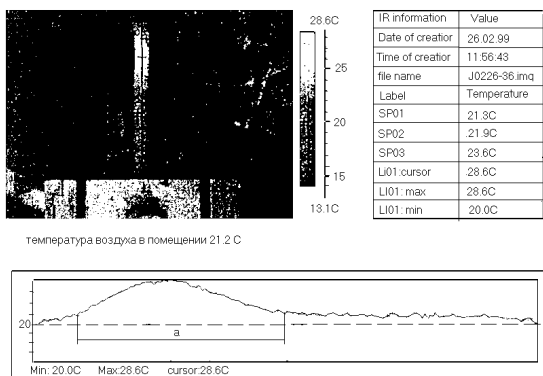


Рис.1. Растяжение гладкого образца. Шкала температур. Таблица с исходными данными и значениями температур в отмеченных точках. График изменения температуры

Эти данные позволяют с достаточной точностью и высокой экспрессностью определить диссипативный объем (ослабленный узел), который содержит все виды поглощенной энергии в зоне пластической деформации. При этом в конструкторских расчетах можно будет учитывать и узлы концентрации напряжений, такие как сварочные швы, болтовые соединения, зоны углового перехода и т.д. Кроме того,

такие исследования актуальны при исследовании опытных образцов.

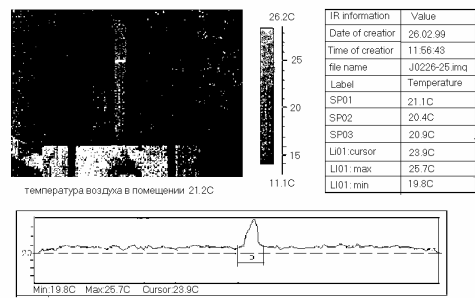


Рис. 2. Растяжение образца с острым надрезом. Шкала температур. Таблица с исходными данными и значениями температур в отмеченных точках. График изменения температуры

На рис. 3 представлены термограммы гладкого образца из ПЭ80, характеризующие кинетику развития теплового поля по образцу и соответствующие различным стадиям деформирования. Динамика развития максимальной температуры в зависимости от времени дана на рис. 4. Анализ термограмм показал следующее. Деформирование в начальной области упругой сопровождается падением его температуры из-за релаксационных процессов по снятию внутренних напряжений (рис. 4, 5, 6). Аналогичное снижение температуры было показано калориметрическим методом в работе [5], которое авторы также отнесли к релаксационным процессам. Характер изменения теплового режима образцов из УПС совершенно другой по сравнению с ПЭ80, что отражается на графиках изменения температуры (рис. 4 и 5). При упругом деформировании снижается температура из-за релаксации внутренних напряжений (точка А). Снижение температуры на начальном этапе нагружения авторы работы [5] также объясняли релаксационными процессами.

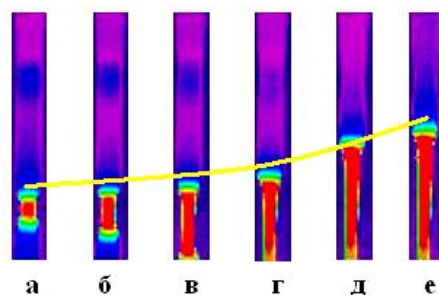


Рис. 3. Термограммы образца из полиэтилена ПЭ80 в различные моменты времени: а – 94 сек., б – 110 сек., в – 145 сек., г – 245 сек., д – 499 сек., е – 562 сек. Темный цвет – зона максимальных деформации

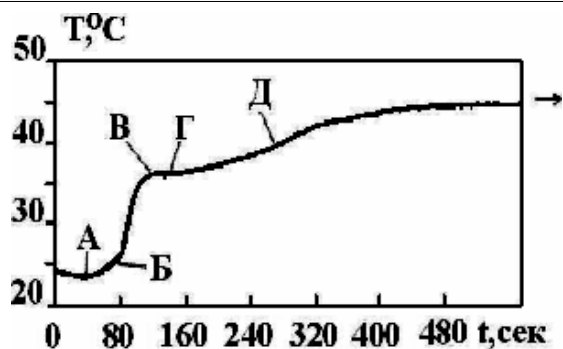


Рис. 4. Изменение максимальной температуры в зависимости от времени с выделенного участка образца из полиэтилена марки ПЭ80 в процессе деформирования

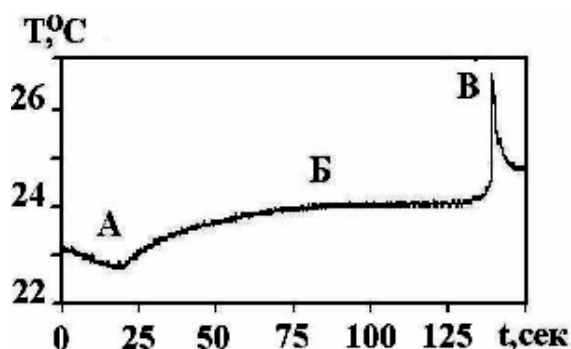


Рис. 5. Изменение максимальной температуры с выделенного участка образца из ударопрочного полистирола (УПС)

Дальнейшее повышение температуры идет с нарастанием в соответствии с деформацией. Перед разрывом происходит резкий скачок температуры (рис. 5). При этом постоянное значение максимальной температуры соответствует неизменной величине усилия.

Полиамид (ПА). Разогрев данного материала, так же как и для УПС, локализуется в месте будущего разрыва (рис. 4). Вначале происходит снижение температуры образца из-за релаксации внутренних напряжений (до точки А), а затем нагрев всего образца. Но поскольку данный материал более жесткий, локальный нагрев наступает незадолго до разрыва образца (рис. 5).

В целом для полимерных материалов можно указать возможные причины возникновения достаточно высоких внутренних напряжений, возникающих при изготовлении экспериментальных ГОСТ-образцов: процесс изготовления пластин на термопрессе; вырезка из пластины ГОСТ-образцов; возможно, структура процесса полимеризации или деструкции.

Анализ кривых напряжение-время и температура-время (рис. 6), показывает, что внутренние напряжения по своей величине не превышают величину упругих напряжений и при

суммировании с внешним напряжением происходит их релаксация [7].

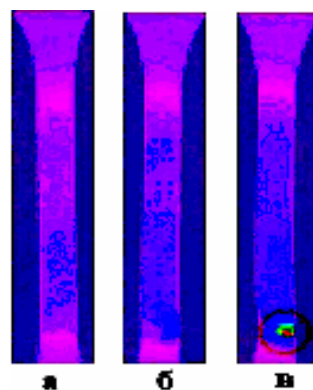


Рис. 6. Термограммы образца из полиамида (ПА) в различные моменты времени: а – 156 сек.; б – 167 сек.; в – 170 (перед разрушением виден очаг разрушения с большими деформациями – темный цвет).

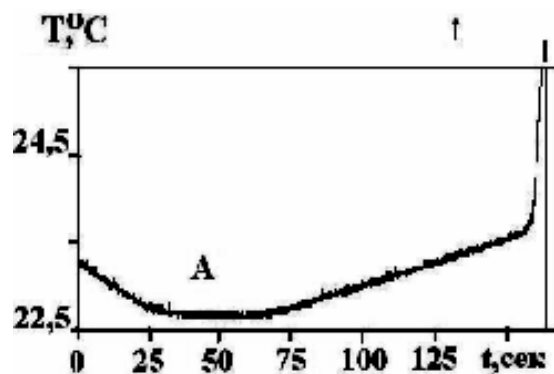


Рис. 7. Изменение максимальной температуры образца из полиамида (ПА) в процессе деформирования.

Температура начинает возрастать при появлении пластических деформаций (разрывы химических связей рис. 8).

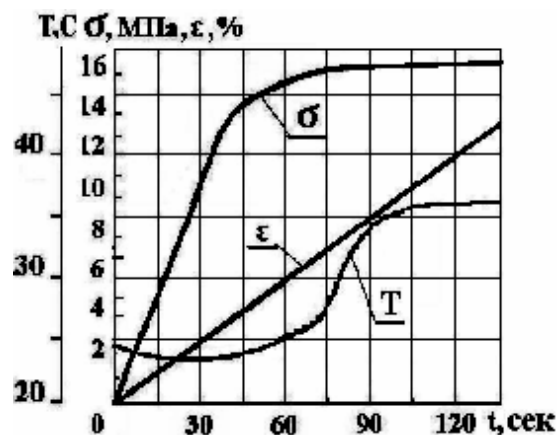


Рис. 8. Диаграммы деформирования полиэтилена ПЭ80 в зависимости от времени. Приведены кривые напряжения, относительной деформации и температуры

Выводы: применение тепловизора при исследовании деформационных явлений целесообразно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Семенов, Я.С. Определение зоны пластической деформации в вязко-пластически-упругих материалах // Докл. РАН. 2004. Т. 389, № 1.
2. Семенов, Я.С. Метод диагностики предельных нагрузок оборудования, машин и механизмов / Я.С. Семенов, А.М. Иванов, Е.С. Лукин // Машиностроитель. 2004. № 1.
3. Кайгородов, Г.К. Влияние скорости охлаждения полиэтиленового сварного шва на его прочность / Г.К. Кайгородов, В.Ю. Каргин // Трубопроводы и экология. 2001. № 2. С. 13-14.
4. Зайцев, К.И. Исследование сварного соединения полиэтиленовых труб. / К.И. Зайцев, И.Ф. Истратов, В.Ф. Ляшенко, С.С. Волков // Применение пластмасс в машиностроении. – М., 1972. С. 53-57.
5. Молчанов, Ю.М. Калориметрические исследования процесса растяжения полиэтилена / Ю.М. Молчанов, Г.А. Молчанова // Механика полимеров. 1970. № 4. С. 579-584.

DIAGNOSTIC METHOD FOR THE EQUIPMENT, MACHINES AND MECHANISMS

© 2011 Ya.S. Semenov, R.G. Adamov

Yakut State Engineer Technical Institute

The new contactless method of definition a zone of plastic deformation at equipment, machines and mechanisms tests for maximum loads is offered. At the heart of method lies measurement of size of the thermal field shown at deformation, with the help thermo imager, that allows to define maximum permissible loading on units of equipment, machines and mechanisms. Deformation fields of polymeric materials with the help thermo imager at monoaxial loading are researched. It is investigated the kinetics of deformation and thermal field. The interrelation of deformations field and thermal field is shown.

Key words: *contactless diagnostics, thermo imager, control of office properties in machine building*