

## ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ КОНЦЕНТРАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЙ В КОНСТРУКЦИЯХ ИЗ ПОЛИМЕРНО-КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. А. ФИЛИПЕНКО, канд. техн. наук, О. Н. БУДАДИН, д-р. техн. наук, Р. К. ХУЗИН, инж.  
(ОАО «Центр. науч.-исслед. ин-т специального машиностроения», г. Хотьково, РФ)

*Показана возможность прогнозирования ресурса безопасной эксплуатации конструкций из полимерно-конструкционных материалов в процессе их реальной эксплуатации с помощью теплового метода контроля.*

*Shown is the possibility of prediction of the residual safe operating life of structures from polymer-structural materials during their actual service using thermal inspection method.*

При механическом нагружении в местах концентрации напряжений может происходить пластическая деформация, сопровождающаяся выделением тепла [1–6]. В сложных композитных конструкциях при их нагружении возникают микроразрушения в элементах структуры, вызывающие выделение энергии. Кроме того, в случае дефектов типа нарушений сплошности, например, трещиноподобных дефектов, когда напряжение сингулярно возрастает при приближении к вершине дефекта, область пластической деформации существует даже при сколь угодно малых напряжениях в конструкции [6].

Распространение тепла в конструкции приводит к тому, что на ее поверхности возникает сложное распределение температурного поля [7]. Зафиксировав это распределение и выделив его на фоне структурной неоднородности и помех, можно определить местоположение проекции концентратора напряжения на поверхность контроля, а решив обратную задачу нестационарной теплопроводности [8], можно восстановить распределение источников тепла, а следовательно, и определить геометрические координаты внутреннего положения и размер дефекта. Этот подход был положен в основу методики диагностики технического состояния конструкций из полимерно-конструктивных материалов (ПКМ) тепловым методом.

Решена задача моделирования температурного поля в изделии с концентратором напряжения, образовавшегося на дефекте в виде трещины при механическом нагружении контролируемого изделия. Выведены соотношения между режимами механического нагружения и количеством выделяемого тепла в области концентратора напряжения, что позволяет:

– определять оптимальные режимы механического нагружения с точки зрения максимальной выявляемости внутренних концентраторов напряжения;

– оценивать возможность обнаружения областей концентраторов напряжений и дефектов по анализу температурных полей;

– определять оптимальный состав программно-аппаратных средств для проведения контроля.

На основании проведенного моделирования разработана методика теплового контроля концентраторов напряжения в изделии, образовавшегося на дефекте типа нарушения сплошности (трещины).

Показано, что изменение температурного поля в области дефекта может быть достоверно зарегистрировано существующей тепловизионной техникой, в том числе получено соотношение, связывающее пространственную разрешающую

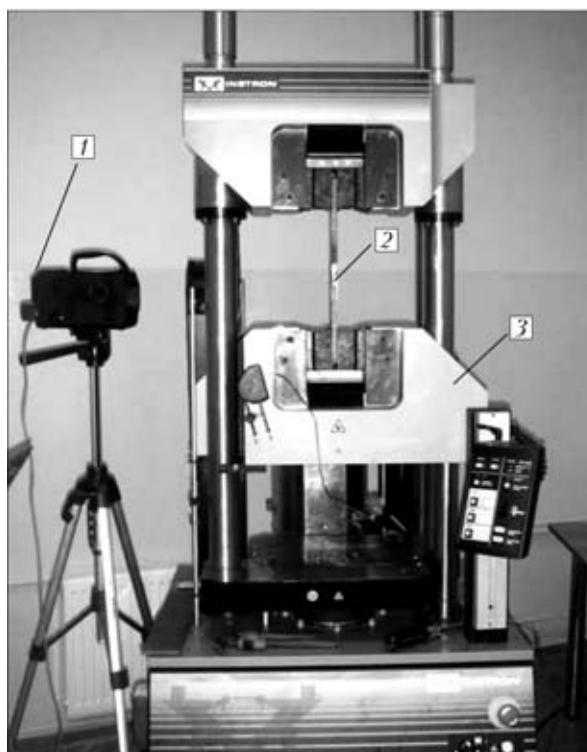


Рис. 1. Экспериментальная установка для проведения эксперимента: 1 — тепловизионная система; 2 — образец; 3 — установка для статического и динамического нагружения образцов

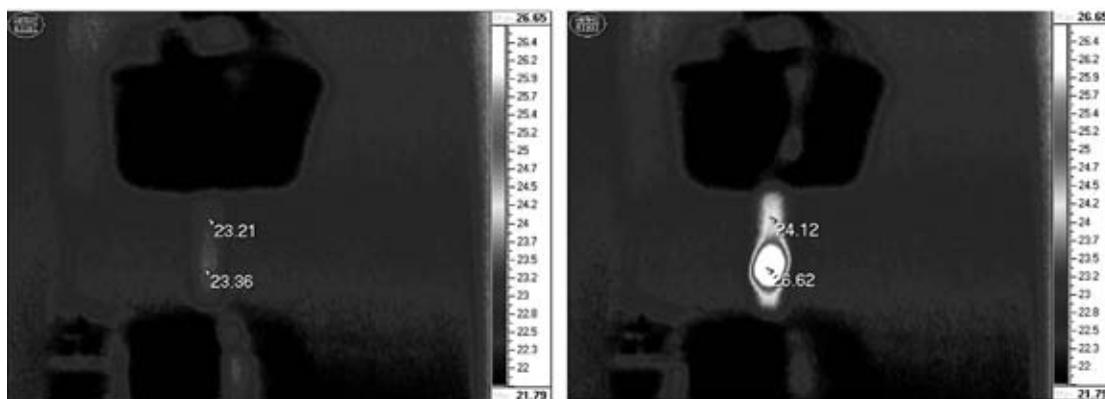


Рис. 2. Последовательность термограмм поверхности образца в процессе его нагружения

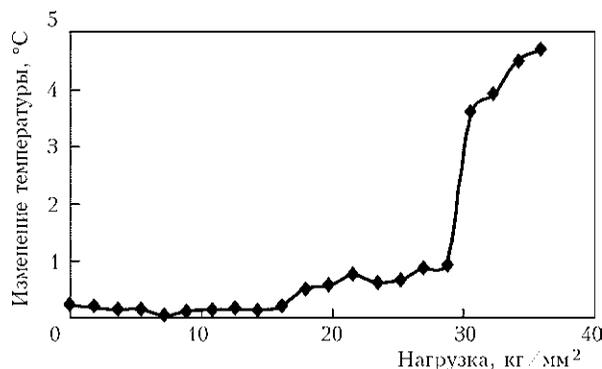


Рис. 3. Перепад температуры в области концентратора напряжения

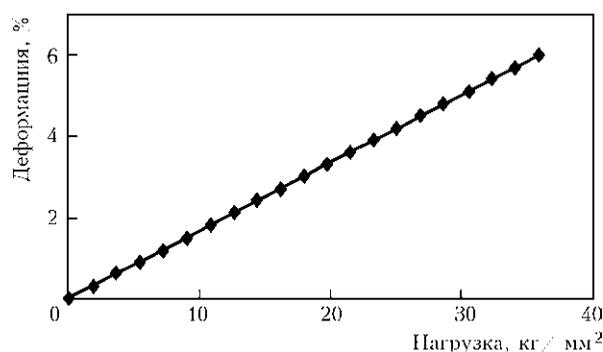


Рис. 4. Зависимость величины деформации от нагрузки

способность теплового контроля со скоростью нагружения исследуемого объекта, и, наконец, описан метод определения истинного размера области концентрации напряжений, исходя из размера нагретой области.

Экспериментальные исследования проведены на образцах из ПКМ.

На рис. 1 показана экспериментальная установка для исследования теплового поля образцов из ПКМ при их циклическом нагружении.

На рис. 2 представлена последовательность термограмм поверхности образца в процессе его нагружения. Видно, что в соответствии с увеличением величины нагружения величина температурной аномалии, в области внутреннего концентратора напряжения возрастает.

На рис. 3, 4 приведены некоторые результаты обработки экспериментальных данных.

Проведенные исследования показали, что тепловым методом возможно определять местонахождение внутренних концентраторов напряжения в конструкциях из ПКМ и прогнозировать предельную величину нагружения либо количес-

тво циклов нагружения не доводя изделие до разрушения. Это дает возможность прогнозирования ресурса безопасной эксплуатации конструкций из ПКМ в процессе их реальной эксплуатации.

Авторы выражают благодарность инженеру Гульбису М. А. за работу по проведению экспериментов.

1. *Rittel D.* Thermomechanical aspects of dynamic crack initiation // Intern. J. of Fracture. — 1999. — **99**. — P. 202–212.
2. *Dunaev I. M., Dunaev V. I.* Thermomechanics of brittle fracture // Ibid. — 2004. — **128**. — P. 81–93.
3. *Matvienko Y. G.* Local fracture criterion to describe failure assessment diagrams for a body with a crack/notch // Ibid. — 2003. — **124**. — P. 107–112.
4. *Rittel D.* An investigation of the heat generated during cyclic loading of two glassy polymers. Part I: Experimental // Mechanics of Materials. — 2000. — **32**. — P. 131–147.
5. *Rittel D., Rabin Y.* An investigation of the heat generated during cyclic loading of two glassy polymers. Pt II: Thermal analysis // Ibid. — 2000. — **32**. — P. 149–159.
6. *Матвиенко Ю. Г.* Модели и критерии механики разрушения. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. — С. 212.
7. *Rabin Y., Rittel D.* Infrared temperature sensing of mechanically loaded specimens: thermal analysis // Experimental Mechanics. — 2000. — **40**. — P. 1–6.
8. *Тепловой неразрушающий контроль изделий / О. Н. Будадин, А. И. Потапов, В. И. Колганов и др.* — М.: Наука, 2002. — 472 с.

Поступила в редакцию  
23.02.2011