

АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ВЕРШИНЕ ТРЕЩИНЫ

*Паксютов Владимир Владимирович, Колмыкова Анастасия Николаевна,
студенты 2-го курса факультета «Мосты и тоннели»
Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск
(Научный руководитель – Соловьев Л.Ю., канд. техн. наук, доцент)*

В ходе эксплуатации элемент металлоконструкции подвергается многократной периодически изменяющейся нагрузке, вследствие чего возникает явление усталостного разрушения. Данное явление выражается в образовании трещин на поверхности материала. Основной задачей контроля деформированного элемента является выявление устойчивости трещины, а вследствие определение ресурса элемента конструкции.

Целью данной работы является рассмотрение одного из методов контроля, основанного на анализе теплового излучения, выделяемого при деформациях в вершине трещины [1].

Начать стоит с определения условия, при котором трещина теряет устойчивость. Согласно предположению Ирвина, развитие трещины наблюдается при выполнении следующего неравенства [2]:

$$K \geq K_c$$

K – коэффициент интенсивности напряжения (КИН), K_c – критическое значение коэффициента интенсивности напряжения.

В общем случае КИН имеет вид: $K = f \cdot \sigma \cdot \sqrt{\pi l_t}$

l_t – эффективная полудлина трещины;

σ – напряжение;

f – некоторый поправочный коэффициент;

Из этого следует, что при достижении напряжения критического значения, т. е. $\sigma \geq \sigma_{кр}$, трещина теряет устойчивость.

Критическим напряжением будем считать значение напряжения, при котором в вершине трещины образуется пластическая зона. (Рисунок).

Образование пластической зоны обусловлено концентрацией напряжений на конце трещины, и перехода деформаций из зоны упругих в пластичные.

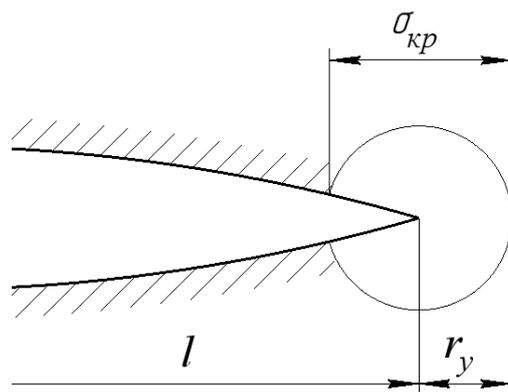


Рисунок 1 – Модель образования пластической зоны в вершине трещины

Из условия следует, что $\sigma_{кр} = \sigma_T$, где σ_T – предел текучести.

Помимо этого, важным эффектом является нагрев пластической зоны при приложении нагрузки, вследствие перехода механической энергии в тепловую [4].

То есть при пластических деформациях наблюдается эффект разогрев материала в вершине трещины.

Если циклические значения циклических напряжений малы, то деформацию в вершине трещины можно считать упругой, поэтому такое состояние можно считать равновесным.

Из теории термодинамических равновесных процессов следует, что в случае упругой деформации: при растяжении идет поглощение тепла, при сжатии – выделение, данное явление было назван термоупругим эффектом:

$$\Delta T = -\frac{\alpha}{\rho \cdot C_V} T \cdot J_1$$

ΔT – изменение температуры; α – коэффициент температурного расширения; ρ – плотность; C_V – удельная теплоемкость при постоянном объеме; T – абсолютная температура; J_1 – первый инвариант тензора напряжений

Вышеописанные явления лежат в основе метода анализа теплового излучения. Метод состоит в определении разности ΔT_i между температурным излучением на участке с трещиной и бездефектного участка, при циклическом нагружении образца.

Если при циклических нагрузках, одинаковой амплитуды, значение ΔT_i остается постоянным,

$$\Delta T_i = const.,$$

то деформация является упругой. В этом случае напряжение у вершины трещины меньше критического, т. е. $\sigma < \sigma_{кр}$. Следовательно, можно утверждать, что трещина находится в состоянии равновесия.

Если же:

$$\Delta T_{i-1} - \Delta T_i = -\delta T_i,$$

т. е. под воздействием циклической нагрузки происходит нагрев зоны в вершине и увеличение интенсивности инфракрасного излучения. Следовательно, в данной зоне значение напряжений стало больше критического, т. е. $\sigma \geq \sigma_{кр}$. В этом случае деформируемая зона является пластичной, а трещина теряет устойчивость.

Для частичного подтверждения метода был проведен эксперимент

В качестве экспериментального образца использовалась стальная пластина размерами 250×30×1 мм. с заранее выращенной трещиной 10 мм, для обеспечения управляемой деформации и локализации напряжений. **(Ошибка! Источник ссылки не найден.)**

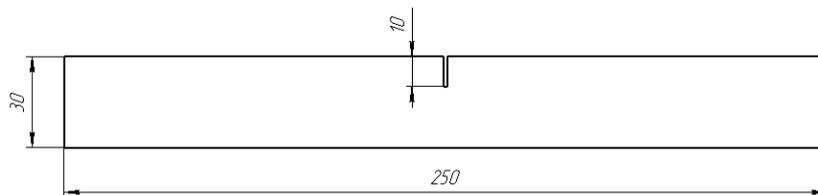


Рисунок 2 – Стальной образец

Помимо этого, для увеличения значения коэффициента спектрального излучения поверхность пластины была обработана абразивной бумагой крупной, а затем мелкой зернистости. Для исключения эффекта зеркала, поверхность рабочей зоны была покрыта графитовой, матовой смазкой.

Испытания проводились на электромеханической разрывной машине, под нагрузкой 1,5 т. и скоростью 5 мм/мин. Для регистрации инфракрасного излучения с поверхности образца использовался телевизор Fluke Ti400, с тепловой чувствительностью не менее 0,05°С. По итогу была получена термограмма растяжения стальной пластины. (Рис. 3).

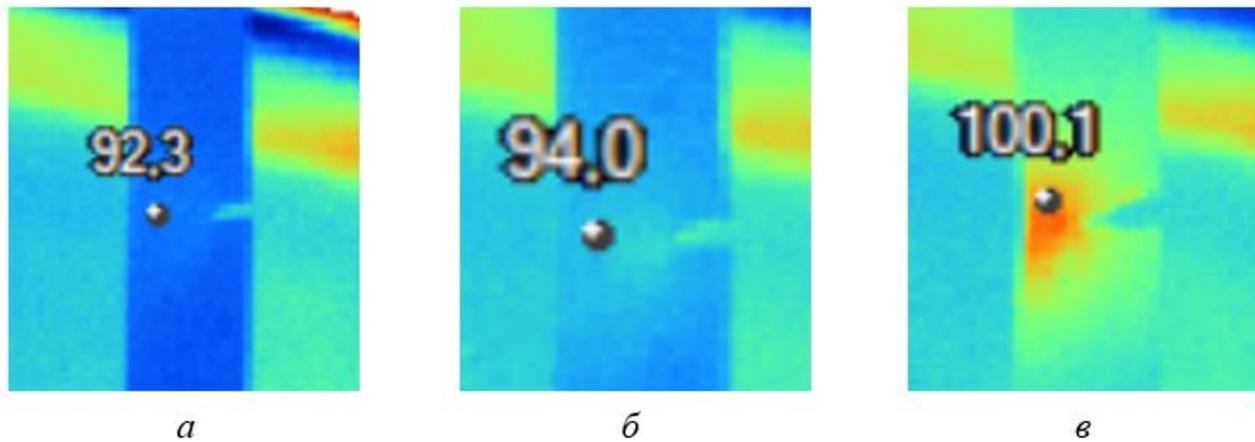


Рисунок 3 – Развитие температурного поля в вершине трещины

При постепенном увеличении нагрузки, напряжения превышают критические значения, что приводит к развитию пластической зоны в вершине трещины и потере её устойчивости.

Следствием развития пластической зоны является увеличение интенсивности инфракрасного излучения, что было зарегистрировано тепловизором.

На рисунке 3 показано постепенное развитие температурного поля в вершине, вследствие увеличения напряжения (значение температуры отображено в градусах Фаренгейта).

Данный эксперимент подтверждает теоретически ожидаемые результаты для случая напряжения превышающие критическое значение.

Метод анализа инфракрасных излучений, является прямым экспериментальным методом определения распределения температурных полей, позволяющий с высокой точностью определять положение вершин усталостных трещин.

Помимо этого, метод позволяет напрямую оценить устойчивость трещины к дальнейшему развитию. При этом метод, за счёт дистанционного диагностирования, является простым в реализации, что особенно эффективно в мостовых конструкциях.

Литература:

1. Вавилов В. П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. М. : Спектр, 2009. 544 с.
2. Пестриков В.М., Морозов Е.М. Механика разрушения твердых тел: курс лекций – СПб.: Профессия, 2002. 320 с.
3. Thompson W. (Lord Kelvin). Trans. Roy. Soc. Edinburgh, 1853, vol. 20, pp. 261.

4. К. Б. Абрамова, А. Б. Пахомов, Б. П. Перегуд, Я. П. Щербаков Инфракрасное излучение, возникающие при деформации и разрушении металлов. Журн. техн. физики. 1988. Т. 58. №4. с. 817 – 821.
5. Глушков, С. П. Экспериментальная оценка долговечности сварных металлических пролетных строений мостов методом инфракрасной термографии / С. П. Глушков, Л. Ю. Соловьев, А. Л. Соловьев // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2018. – № 2(45). – С. 63-71.