

Программа
итерационной обработки
результатов испытаний образцов
на скорость роста трещины усталости



Версия 1.01 Теория

Авторы:

Перепелица Д.Д.
Потапов С.Д.

Июнь, 2024

Содержание

1 Обзор методики итерационной обработки.....	3
2 Определение критериев	4
2.1 Критерий «количество циклов в верхней границе»	4
2.2 Критерий «коэффициент корреляции»	4
2.3 Критерий «количество циклов во всех точках»	4
2.4 Критерий «уравнение Пэриса»	4
3 Величина размаха КИН.....	5
3.1 Вычисление размаха КИН для компактного образца на внецентренное растяжение.....	5
3.2 Вычисление размаха КИН для прямоугольного образца на трехточечный изгиб	5
4 Определение скорости роста трещины усталости.....	7

1 Обзор методики итерационной обработки

Программное обеспечение разработано для определения свойств трещиностойкости – коэффициентов C и n уравнения Пэриса

$$V = C \cdot (\Delta K)^n,$$

где V – скорость роста трещины усталости; ΔK – размах коэффициента интенсивности напряжений (КИН). Свойства трещиностойкости определяются по результатам циклических испытаний образцов.

В программном обеспечении реализован итерационный метод обработки результатов испытаний образцов на скорость роста трещины усталости, подробно изложенный в статьях и патенте:

- Потапов С.Д., Перепелица Д.Д. Способ обработки результатов испытаний образцов на трещиностойкость с целью определения коэффициентов уравнения Пэриса // Вестник Московского авиационного института. 2010. Т.17. №6. С.49-54.
- Потапов С.Д., Перепелица Д.Д. Способ обработки результатов испытаний образцов на скорость роста трещины при постоянной амплитуде нагружения // Вестник Московского авиационного института. 2012. Т. 19. №6. С.94-100.
- Патент на изобретение №2469290. Способ определения скорости роста трещины от циклических нагрузок. Потапов С.Д., Перепелица Д.Д.

2 Определение критериев

В программном обеспечении предусмотрено пять критериев завершения расчета: «количество циклов в верхней границе», «коэффициент корреляции», «количество циклов во всех точках», «уравнение Пэриса» и минимальное количество точек (замеров).

2.1 Критерий «количество циклов в верхней границе»

Критерий «количество циклов в верхней границе» определяется по формуле

$$P = 1 - \frac{|N_{\text{экс}} - \hat{N}|}{N_{\text{экс}}},$$

где $N_{\text{экс}}$ – экспериментальное значение количества циклов, за которое трещина развивалась в заданных границах, \hat{N} – расчетное значение количества циклов, за которое трещина развивалась в заданных границах.

2.2 Критерий «коэффициент корреляции»

Критерий «коэффициент корреляции» определяется по формуле

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (N_i - \hat{N}_i)^2}{\sum (N_i - \bar{N})^2},$$

где N_i – экспериментальные значения количества циклов нагружения в i -ой точке (замере); \hat{N}_i – расчетные значения количества циклов нагружения в i -ой точке (замере); $\bar{N}_{\text{экс}}$ – средняя величина экспериментальных значений количества циклов; i -ая точка (замер) – номер точки (замера) в заданных границах.

2.3 Критерий «количество циклов во всех точках»

Критерий «количество циклов во всех точках» определяется по формуле

$$P_{\min} = \min\{P_i\},$$

где P_i – определяется по критерию «количество циклов в верхней границе» в i -ой точке (замере); i -ая точка (замер) – номер точки (замера) в заданных границах.

2.4 Критерий «уравнение Пэриса»

Критерий «уравнение Пэриса» определяется по формуле

$$coefficient = 1 - \max\left(\frac{|\log_{\Delta K_i} \frac{V_i}{\hat{C}} - \hat{n}|}{\log_{\Delta K_i} \frac{V_i}{\hat{C}}}\right),$$

где \hat{C} и \hat{n} – расчетные значения коэффициентов уравнения Пэриса, ΔK_i – экспериментальные значения размаха КИН i -ой точке (замере); V_i – экспериментальные значения СРТУ в i -ой точке (замере); i -ая точка (замер) – номер точки (замера) в заданных границах.

3 Величина размаха КИН

В программном обеспечении предусмотрено вычисление размаха КИН для двух образцов: компактный образец на внецентренное растяжение, прямоугольный образец на трехточечный изгиб.

3.1 Вычисление размаха КИН для компактного образца на внецентренное растяжение

Размах КИН для компактного образца на внецентренное растяжение определяется по формуле

$$\Delta K = \frac{P \cdot (1 - R)}{B \cdot W^{1/2}} f_I(\alpha), \quad \alpha = \frac{l + a_0}{W},$$

$$f_I(\alpha) = \frac{(2 + \alpha) \cdot (0,886 + 4,64 \cdot \alpha - 13,32 \cdot \alpha^2 + 14,72 \cdot \alpha^3 - 5,60 \cdot \alpha^4)}{(1 - \alpha)^{3/2}},$$

где R – коэффициент асимметрии нагружения.

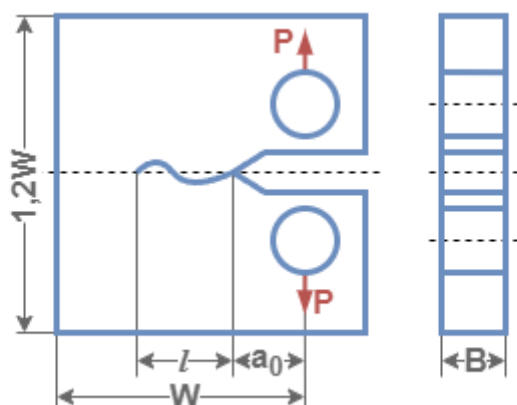


Рисунок 3.1 – Компактный образец на внецентренное растяжение

Формула для определения размаха КИН приведена в пункте 1.7 (стр.57) 1-го тома справочника по коэффициентам интенсивности напряжений, под редакцией Ю. Мураками, 1990г.

3.2 Вычисление размаха КИН для прямоугольного образца на трехточечный изгиб

Размах КИН для прямоугольного образца на трехточечный изгиб определяется по формуле

$$\Delta K = \frac{6 \cdot W \cdot P \cdot (1 - R)}{B \cdot W^2} \sqrt{\pi \cdot (l + a_0) \cdot F_I(\alpha)}, \quad \alpha = \frac{l + a_0}{W},$$

$$F_I(\alpha) = \frac{1,99 - \alpha \cdot (1 - \alpha) \cdot (2,15 - 3,93 \cdot \alpha + 2,70 \cdot \alpha^2)}{(1 + 2 \cdot \alpha) \cdot (1 - \alpha)^{3/2}},$$

где R – коэффициент асимметрии нагружения.

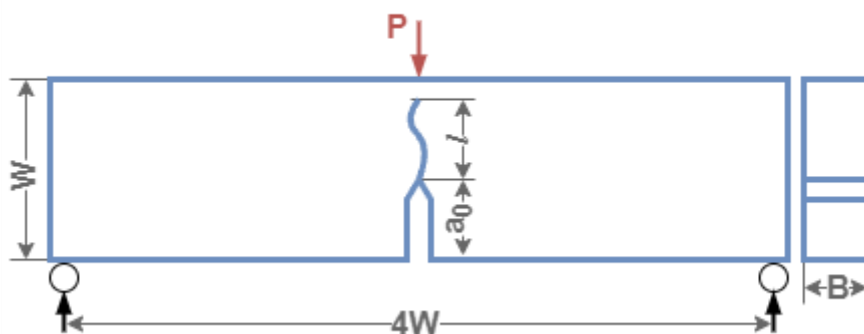


Рисунок 3.2 – Прямоугольный образец на трехточечный изгиб

Формула для определения размаха КИН приведена в пункте 1.5 (стр.54) 1-го тома справочника по коэффициентам интенсивности напряжений, под редакцией Ю. Мураками, 1990г.

4 Определение скорости роста трещины усталости

Скорость роста трещины усталости определяется с использованием полиномиального метода аппроксимации экспериментальных данных многочленом второго порядка (параболы) по набору из 7-ми последовательных точек. Формулы приведены в Appendixes X1.2 (page 29) ASTM E647-13a «Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates».