

ПАРАМЕТРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ РЕСУРС РАБОТЫ КОНСТРУКЦИЙ МАШИН, ПРИБОРОВ И АППАРАТУРЫ ХИМИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

А.И.Айнабеков, Т.А.Турмамбеков, К.С.Осжигитов, Н.Ж.Жанабай
ЮКГУ им. М. Ауезова, г. Шымкент

Одним из основных параметров, определяющих ресурс работы конструкции, являются критические значения коэффициента интенсивности напряжения.

Критическое значение коэффициента интенсивности напряжений K_{IC} , называемое часто вязкостью разрушения (fracture toughness), при определенных условиях становится не только критерием перехода трещины усталости в фазу нестабильного роста, но и критерием хрупкого или квазихрупкого разрушения, которое не обязательно должно квазироваться трещиной усталости, K_{IC} рассматривается чаще как критерий внезапного разрушения.

Внимательное изучение примеров хрупких разрушений конструкций позволило выделить по крайней мере три обстоятельства, являющиеся общим для всех случаев, а именно:

- понижение температур окружающей среды;
- особенность напряженно-деформированного состояния связи, в которой началось разрушение;
- концентрацию напряжений в месте возникновения трещины.

Возникновение и развитие усталостных трещин в любых деталях и конструкциях в значительной мере обусловлено концентрацией напряжений. В сварных соединениях, несомненно, важно учитывать также влияние сварочных остаточных напряжений, различие физико-механических свойств материалов в соединении, его ближайших окрестностях. В известной мере определение этих факторов и их учет при оценке распространения трещин в настоящее время возможны, такие исследования осуществляются, и соответствующие материалы скоро будут представлены.

В работе ограничимся однако только выявлением влияний концентрации напряжений и перераспределений сварочных остаточных напряжений на условия возникновения и распространения трещин. В качестве подходящего для анализа материала выбираем полосу с эллиптическим отверстием, подвергшуюся циклическому растяжению-сжатию с небольшой отрицательной асимметрией. Предполагается, что трещины возникают у отверстия и распространяются по оси симметрии.

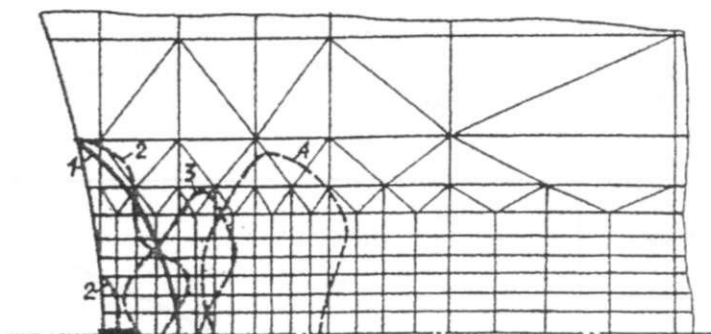
Задача заключается в расчете поля напряжений у основания концентратора, окружавшего вершину трещины по мере ее подрастания; последнее имитировалось удалением связей в узлах сетки конечных элементов. Использована программа метода конечных элементов (МКЭ), разработанная под руководством К.С. Осжигитова, в которой пластическое поведение моделируется зависимостями теории течения, а свойства характеризуются экспериментально определенной обобщенной диаграммой циклического деформирования циклически стабильного материала – малоуглеродистой стали марки С [1].

Результаты расчета – границы пластической области при циклическом нагружении полосы без трещины и для некоторых шагов при номинальных напряжениях $\Delta\sigma = 170 \text{ МПа}$ - показаны на рисунке 1.

Как видно, по мере подрастания трещины у ее вершины формируется собственная пластическая зона, на определенном этапе отрывающаяся от исходной. Для нахождения коэффициентов интенсивности использованы поле напряжений и понятие эффективных длин трещины (по Ирвину), включающий в себя фактическую длину трещины a и половину рассчитанной глубины пластической зоны $r_p = R_p / 2$; $a_c = a + R_p / 2 = a + r_p$, коэффициенты интенсивности найдены экстраполяцией к условной вершине трещины:

$$\Delta K = \lim \Delta\sigma (2\pi a_c)^{1/2} \quad (1)$$

где $r_c = r - r_p$ - эффективное расстояние до вершины от точки, для которой определен размах наибольшего главного напряжения $\Delta\sigma$. Прием нахождения ΔK для некоторых ступеней продвижения трещин ($a=0,2\text{мм}$; $0,6\text{мм}$ и $1,0\text{мм}$) показан на рисунке 2. Обратим внимание на то, что в каждом случае имеется весьма ограниченная область значений r_c , которую можно считать отражающей «упругие» закономерности поля напряжений перед вершиной трещины и для определения ΔK .



1 – без трещины; 2 – трещина длиной 0,2 мм;
3 – трещина длиной 0,6 мм; 4 – трещина длиной 1,0 мм.

Рисунок 1 - Контуры пластической зоны у основания концентратора

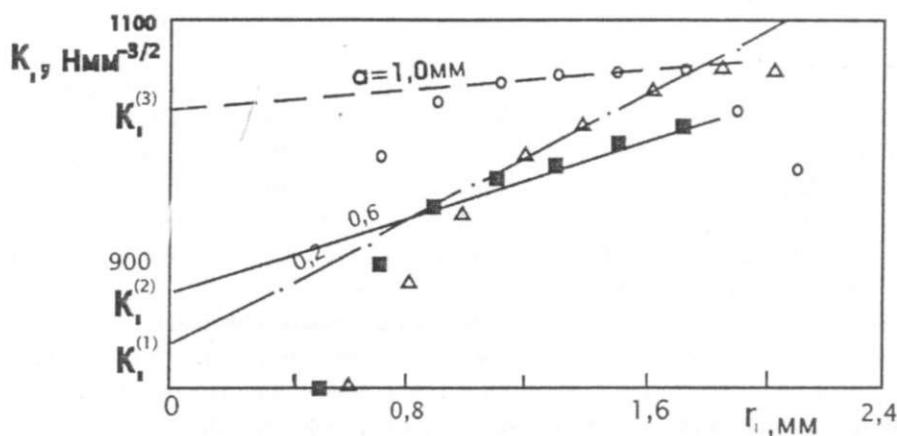


Рисунок 2 - Значение коэффициентов интенсивности напряжений экстраполяцией к условной вершине трещины

Кроме того, для отыскания коэффициентов интенсивности воспользуемся приближенным способом [2], [3], согласно которому коэффициент интенсивности определяется значением его для бесконечной пластины с центральной сквозной трещиной с поправками, отражающими влияние концентраций напряжений и пластичности материала:

$$\Delta K = \Delta\sigma\sqrt{\pi a} \cdot M_p(a)M_c(a), \quad (2)$$

где $M_p(a)$ - «пластическая» поправка, об определении которой речь пойдет ниже; $M_c(a)$ - влияние местного повышения напряжений у концентратора; эта поправка приближенно характеризуется зависимостью, найденной по полю напряжений у отверстия без трещины при упругом деформировании материала:

$$M_c(a) = 1 + (K_t - 1)/(1 + 0,083a)^5, \quad (3)$$

где K_t - теоретический коэффициент концентрации напряжений; в данном случае $K_t = 2,90$.

За основу для определения пластической поправки можно взять известную поправку Ирвина-Райса, однако для трещины, растущей под влиянием местного повышения напряжений, номинальное напряжение не полностью отвечает условиям у вершины трещины. Поэтому приближенно примем поправку в виде:

$$M_p(a) = \left(1 + \zeta (M_c(a) \sigma / \sigma_T)^2\right)^{1/2}, \quad (4)$$

коэффициент ζ в которой по данным расчетных оценок пластической зоны равен 0,25.

Подставляя (3) и (4) в формулу (2), найдем значения коэффициентов интенсивности. Результаты расчета показаны на рисунке 3.

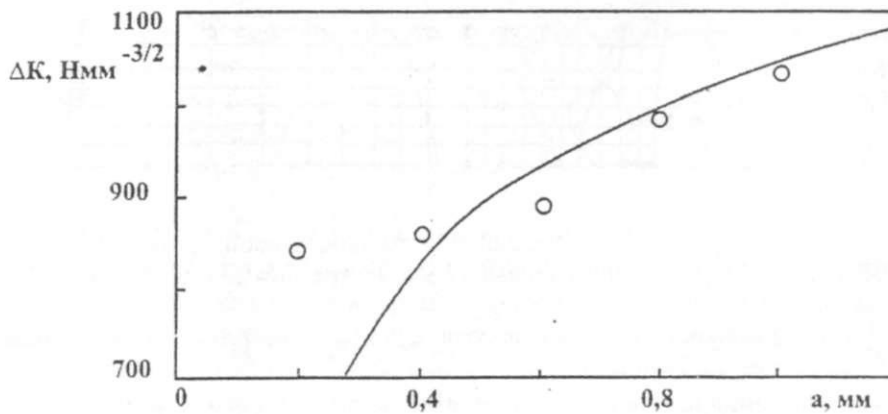


Рисунок 3 - Сравнение коэффициентов интенсивности напряжений

Круговые индексы отвечают коэффициентам интенсивности, определенным по экстраполяции к условной вершине трещины. Как видно, только для весьма короткой трещины, длина которой равна примерно половине углубления исходной (без трещины) пластической зоны и меньше, оценки ΔK расходятся, а с увеличением a различия коэффициентов интенсивности, определенных двумя способами, становятся незначительными. Таким образом, когда трещины пересекают границу «циклической» пластической зоны, сложившейся до возникновения трещины, она становится «рассчитываемой».

Следовательно, если предположить, что с помощью деформационного критерия инкубационной стадии определяется количество нагружений конструктивного элемента до момента прорастания трещины внутри циклической пластической зоны, что вполне подтверждается наблюдениями, то дальнейшее распространение трещины усталости можно удовлетворительно анализировать с использованием аппарата линейной механики разрушения. Граница пластической области ориентировочно описывается условием $\Delta\sigma = 0,5(\sigma_T + \sigma_{-1})$ по формуле (3) при заданном номинальном напряжении. Так, в рассматриваемом примере при $\sigma_T = 230 \text{ МПа}$ и $\sigma_{-1} = 0,4 \cdot \sigma_b = 160 \text{ МПа}$ по этому условию углубление пластической области оказывается равным $R_p = 0,9 \text{ мм}$, а решение МКЭ дает $0,8 \text{ мм}$.

Таким образом, при неоднородном напряженном состоянии, обусловленном концентрацией напряжений около отверстия, необходимо отказаться при расчете коэффициентов интенсивности напряжений от «быстрых» методов и определять ΔK при пошаговом подрастании трещины экстраполяцией к вершине трещины в состоянии стабилизированного циклического упругопластического деформирования:

$$\Delta K = \lim_{r_c \rightarrow 0} \sigma(r_c) \cdot (2\pi r_c)^{1/2}, \quad (5)$$

где $\sigma(r_c)$ - размах напряжений в площадках, совпадающих с ожидаемой траекторией трещины; r_c - расстояние от вершины трещины середины конечного элемента, учитывающее влияние пластической зоны у кончика трещины.

Как следует из формулы (5), коэффициент интенсивности может быть определен, если известны напряжения в произвольной точке тела на малом расстоянии r_c перед фронтом трещины. Общий прием нахождения K заключается в определении напряжений $\sigma_y(r_c)$ в нескольких точках перед трещиной по ее траектории, вычислении $K_i(r_c)$, где r_c - расстояние от вершины трещины и экстраполяции найденных значений к $r_c = 0$, как показано на рисунке 4.

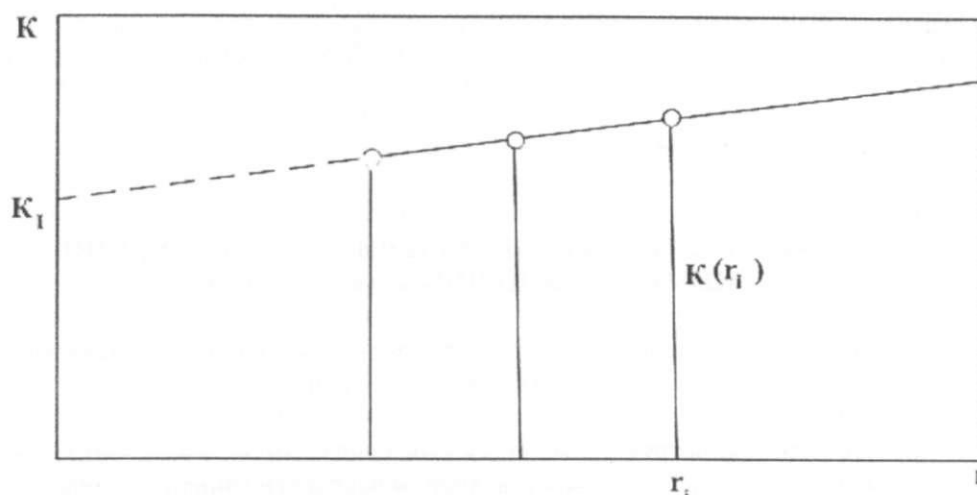


Рисунок 4 - Схема нахождения коэффициента интенсивности напряжений

Для расчета K_I может использоваться любой метод определения напряженного состояния тела с трещиной: экспериментальный (метод фотоупругости, оптически активных покрытий, муара, электротензометрии, хрупких лаков и т.д.), теоретический (метод сеток, конечных элементов, граничных интегральных уравнений и др.). Точность определения коэффициента интенсивности напряжений при использовании какого-либо из названных методов зависит от точности измерения или точности теоретического решения в связи с принятой математической моделью. Так, измерение деформаций материала перед трещиной позволит найти K_I тем точнее, чем меньше база тензорезисторов и чем ближе они располагаются перед вершиной трещины; точность решения задачи методом конечных элементов (МКЭ) зависит от размеров элементов и от принятой физической модели материала.

В работе для определения напряженного состояния с трещиной использован численный метод конечных элементов. Поскольку непосредственно у вершины происходит пластическое деформирование материала, можно использовать обычные конечные элементы, поле напряжений которых принимается без учета особенностей. Коэффициенты интенсивности напряжений определены при известных значениях $\sigma_y(r_c)$ экстраполяцией к вершине трещины. Для такого решения требуется, однако, многократное решение задачи методом конечных элементов (МКЭ).

Литература

- 1 Айнабеков А.И., Осжигитов К.С., Садыков Ж.А., Найзабеков А. Практические приемы получения диаграмм циклического деформирования. //Поиск.-2003.- №3.- С. 257 - 263.
- 2 Maddox S.J. An analysis of fatigue cracks in fillet welded joints. - International Journal of Fatigue, Vol. 11, №2, 1975.-P.221-243.

- 3 Петинов С.В., Летова Т.И. Об оценке прочности судовых конструкций по причинам усталостного повреждения. // Научно-технический сборник Регистра СССР, 1983, вып 13.-С. 8-16.

Қорытынды

Ортасында эллипс кескінді тесігі бар жалпак тілікті шектелген элементтер тәсілін қолдану арқылы цикликалық жүктенуінің серпімді-пластикалық шешімін пайдаланып кернеу шоғырлануының каркындылық коэффициенті табылған. Біркелкі емес кернеулі жағдайда пайдаланылатын кернеудің каркындылық коэффициентін табу әдісі ұсынылған.

Summary

Factor of intensity of pressure(voltage) of a crack of weariness for definition her(it) at cyclic is found from the decision cyclic of a task for a strip with an aperture by a method of final elements. At the non-uniform intense condition the reception of definition of factor of intensity of pressure(voltage) is offered at step-by-step of a crack to top of a crack.