

УДК 621.873

А.Е. Хвостов (6 курс, каф. ПТСМ), К.П. Манжула, д.т.н., проф.

КОЭФФИЦИЕНТЫ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ С КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ДЕФЕКТАМИ

Во многих конструкциях машин уже в процессе изготовления и конструирования появляются дефекты, которые можно рассматривать как некоторые эквивалентные трещины по их влиянию на конструктивную прочность. Так, в узлах сварных конструкций к таким дефектам могут быть отнесены непровары, горячие и холодные трещины, шлаковые включения; а также дефекты, появляющиеся при нарушении технологии термической обработки. Оценка трещиностойкости (долговечности, живучести) таких узлов в условиях эксплуатации на стадии развития трещины от начального дефекта до окончательного разрушения имеет большое значение, так как именно она в основном определяет ресурс сварных конструкций.

Напряженно-деформированное состояние в окрестности вершины дефекта-трещины при упругих деформациях определяется только одним параметром – коэффициентом интенсивности напряжений (КИН). Величина этого коэффициента зависит от формы и размеров тела и трещины, а также от вида нагружения. В настоящей работе используется прямой метод расчета, в котором КИН находится путем анализа полей напряжений вблизи вершины трещины, полученных при помощи метода конечных элементов (МКЭ). Для реализации МКЭ используется система конечно-элементного анализа физических процессов ANSYS 5.5.1.

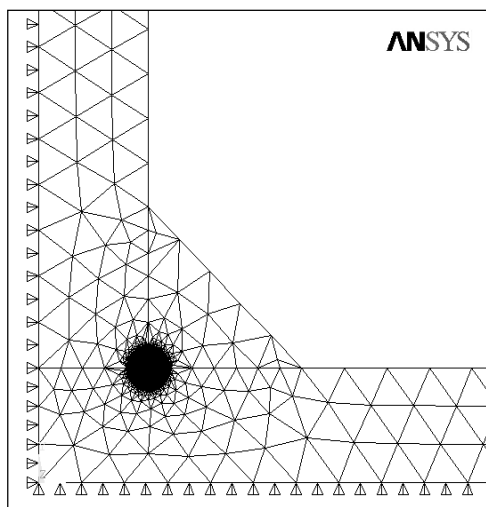


Рис. 1 Расчетная конечно-элементная модель сварного соединения (фрагмент)

На данном этапе работ ставилась цель исследования реальной траектории развития трещины от конструктивного непровара в крестовом сварном соединении, определения фактического напряженно-деформированного состояния в вершине трещины в процессе ее развития, проведения К-тарировки и построения расчетных зависимостей для оценки КИН от длины трещины в рассматриваемом соединении, прямой оценки КИН с помощью сингулярных элементов в вершине трещины.

При расчете МКЭ применялась плоская модель. Было проведено моделирование развития трещины в сварном соединении со следующими параметрами: толщина стенки 10мм, катеты швов 7мм. Значение растягивающей распределенной нагрузки 100МПа.

Рассматривалось два варианта топологии сетки конечных элементов в окрестности вершины трещины. В первом варианте использовались треугольные конечные элементы по всему полю модели. Размер конечного элемента у вершины трещины составлял 0,010мм. Разбивка окрестности вершины трещины с таким размером элементов распространялась на глубину 2мм.

Моделирование проводилось в несколько этапов. На первом этапе была создана КЭ модель соединения с непроваром, представляющая собой $\frac{1}{4}$ часть крестового соединения (рис.1). После расчета и анализа полей напряжений вблизи вершины трещины определялись наибольшие нормальные к траектории развития трещины напряжения и их направление. На

основании этого строилась «шаговая» трещина и конечно-элементный расчет повторялся. Размер «шага» составлял $\sim 0,4$ мм.

По результатам моделирования были получены следующие данные. Значения КИН изменяются в зависимости от этапа развития трещины: K_I - от 10,1 до 33,6 МПа $\cdot\sqrt{м}$; K_{II} - от 1,63 до 11,92 МПа $\cdot\sqrt{м}$. По результатам моделирования на каждом этапе проводилась К-тарировка и определялась весовая (поправочная) функция, учитывающая влияние граничных размеров на КИН. Выражение аппроксимирующей функции получено в виде

$$Y=1,29(a/w)^4-1,29(a/w)^3+0,821(a/w)^2+0,104(a/w)+0,789.$$

График зависимости поправочной функции от отношения размера трещины a к общему размеру дефекта w представлен на рис. 2. Общий размер трещины на каждом этапе расчета определялся как

$$w = w_0 + 2a,$$

где w_0 - размер начального дефекта (непровара); a – половинная длина трещины в сварном шве на данном этапе развития трещины. При этом считалось, что трещина имеет две вершины и симметрична относительно вертикальной оси.

Во втором варианте топология сетки конечных элементов представляла два слоя сингулярных элементов в вершине трещины и треугольные элементы различных размеров в остальной части конструкции. Введение сингулярных элементов позволило провести прямую оценку КИН вблизи вершины трещины. Расхождение полученных результатов с результатами, полученными при проведении К-тарировки, составило не более 1,5%.

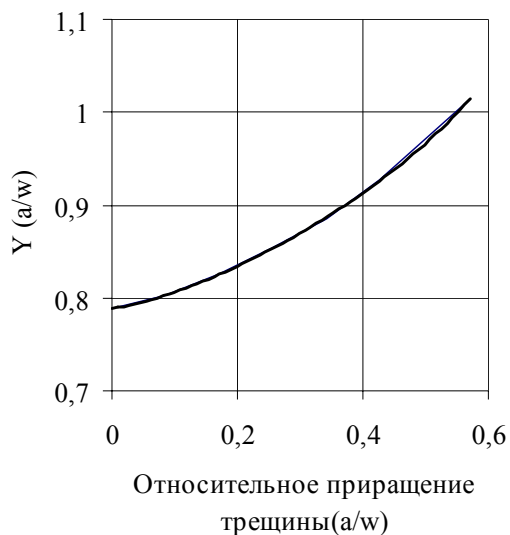


Рис.2.

Зависимость поправочной функции от относительного удлинения трещины

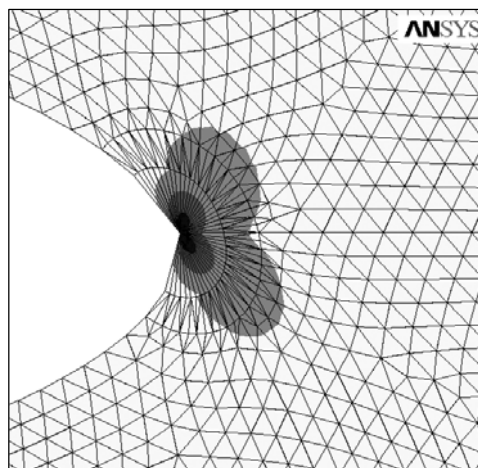


Рис. 3. Фрагмент результатов расчета (поля напряжений σ_1 вблизи вершины трещины)

На следующем этапе исследований был проведен анализ полей напряжений в вершинах конструктивного непровара, образующегося при приварке продольного ребра к листу (вершины непровара у фланговых швов). Размер дефекта составлял 200мм. Узел представлял собой пояс с двумя стенками, одна из которых (нижняя) подкреплялась ребром жесткости.

Плоская модель представляла собой продольное сечение с полной трещиной. Топология конечно-элементной сетки для каждой вершины трещины содержала сингулярные элементы. Наличие ребра жесткости учитывалось увеличением модуля упругости материала соответствующих элементов.

Схема нагружения включала приложение растягивающей распределенной нагрузки, а также комбинации растягивающей и сдвиговой распределенных нагрузок. При введении сдвиговой нагрузки в расчетной модели было учтено влияние трения берегов трещины. В результате исследований при комбинации растягивающей и сдвиговой нагрузок были получены значения $K_I = 27,5$ МПа $\cdot\sqrt{м}$; $K_{II} = 62,5$ МПа $\cdot\sqrt{м}$.