

УДК 621.873

А.Е.Хвостов (асп., каф. ТТС), К.П.Манжула, д.т.н., проф.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РОСТА ТРЕЩИНЫ В УГЛОВОМ СВАРНОМ СОЕДИНЕНИИ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ИЗГИБЕ

Данная работа посвящена численному исследованию напряженно-деформированного состояния и трещиностойкости сварных соединений с угловыми швами при наличии в них непроваров, нагруженных поперечным изгибом. В качестве объекта исследования был выбран сварной узел, моделирующий соединение элементов в балочных конструкциях, в наборе корпуса судна. Размеры и схема нагружения узла представлены на рис.1. Узел нагружен силой Q , создающей в сечении с конструктивно-технологическим непроваром в сечении Б-Б изгибающий момент и перерезывающую силу. Размеры катетов сварного шва составляли 5 мм.

Для определения полей напряжений использовался метод конечных элементов (МКЭ), реализованный в системе КЭ моделирования ANSYS/Multiphysics. В конечно-элементной модели использовались плоские треугольные 6-узловые и четырехугольные 8-узловые конечные элементы. Непровар и развивающаяся из него усталостная трещина моделировались математическим разрезом, в вершинах которого располагались два ряда сингулярных элементов. Размер сингулярных конечных элементов составлял 0,1мм. По мере удаления от вершины трещины размеры КЭ увеличивались. Среднее число конечных элементов составляло около 15 000 в зависимости от шага развития трещины.

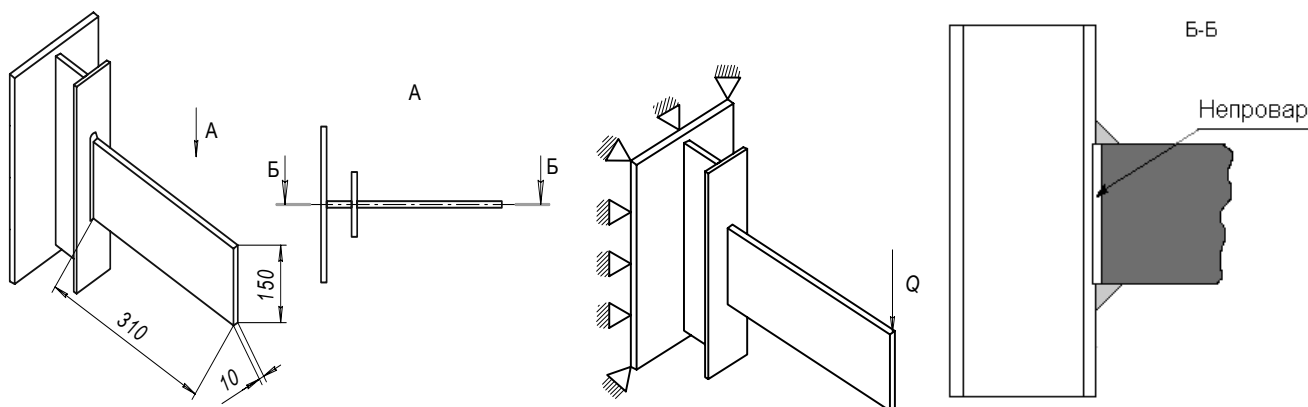


Рис. 1. Эскиз сварного узла и схема его нагружения

В конечно-элементной модели было учтено влияние контакта и трения берегов трещины друг о друга введением специальных конечных элементов. Значение коэффициента трения составляло 0,15. Фактическая жесткость сварного соединения с учетом фланговых швов моделировалась в плоской модели введением балочных элементов, стягивающих берега непровара. Суммарная площадь поперечного сечения балочных элементов эквивалентна площади фланговых швов сварного соединения.

Была определена реальная траектория развития трещины пошаговым методом. Величина и направление следующего шага трещины определялись на основании анализа размеров зоны пластичности и полей нормальных растягивающих напряжений $\sigma_{\theta\theta}$ вблизи

вершины трещины. Проведены 3 серии расчетов МКЭ с различным значением нагрузки $Q = 10\text{кН}$; $14,2\text{кН}$ и 19кН . Задача решалась в упругой и упругопластической постановке. В качестве материала была выбрана сталь АН32 (ship structural mild steel). Параметры материала: модуль упругости $E = 2,06 \cdot 10^5 \text{ МПа}$; коэффициент Пуассона $\mu = 0,30$; предел текучести $\sigma_{0,2} = 294 \text{ МПа}$; предел прочности $\sigma_B = 490 \text{ МПа}$. Диаграмма деформационного упрочнения данной стали представлена на рис. 2. На каждом шаге развития трещины для каждого уровня нагрузки определялись размеры пластической зоны (см. рис. 3).

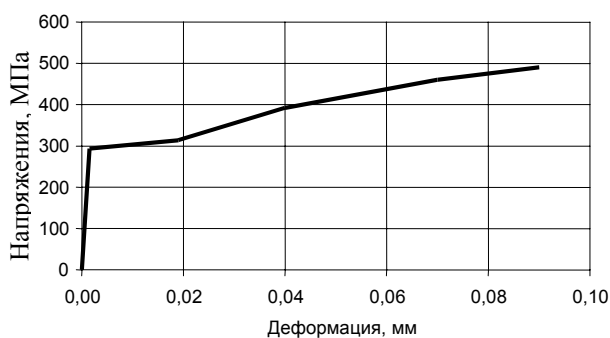


Рис. 2. Диаграмма деформационного упрочнения

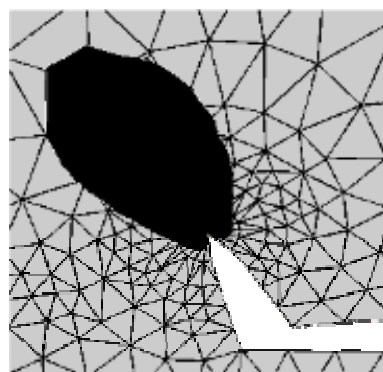


Рис. 3. Зона пластичности в вершине трещины

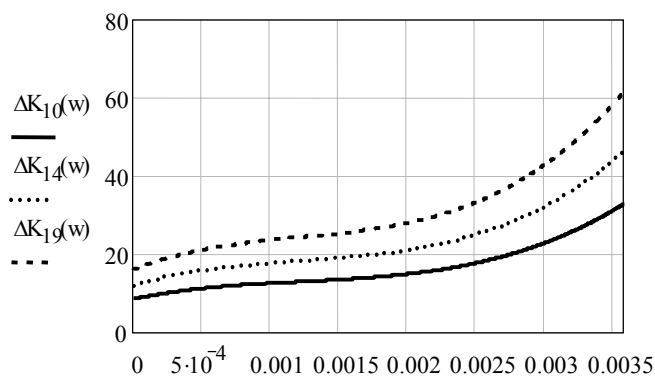


Рис. 4 Графики зависимостей КИН от длины трещины при различных уровнях нагружения

При упругом решении на каждом шаге развития трещины определялись значения коэффициентов интенсивности напряжений (КИН). Аппроксимацией данных были получены выражения для эквивалентного значения КИН $[\text{МПа} \cdot \sqrt{\text{м}}]$ в зависимости от длины образовавшейся трещины w , $[\text{м}]$. Эквивалентное значение КИН определялось по формуле $K_i = \sqrt{K_{II} + K_{III}}$, где i – значение нагрузки Q в кН.

$$K_{10}(w) = 8,427 + 7,309 \cdot 10^3 w - 4,489 \cdot 10^6 w^2 + 1,214 \cdot 10^9 w^3;$$

$$K_{14}(w) = 11,951 + 1,031 \cdot 10^3 w - 6,329 \cdot 10^6 w^2 + 1,711 \cdot 10^9 w^3;$$

$$K_{19}(w) = 15,944 + 1,368 \cdot 10^3 w - 8,388 \cdot 10^6 w^2 + 2,266 \cdot 10^9 w^3.$$

Сравнение полученных результатов с экспериментальными данными показало, удовлетворительную сходимость только в малоцикловой области. Это объясняется тем, что в исследованиях непровар рассматривался как математический разрез, то есть, являлся начальной макротрещиной (длительность зарождения макротрещины принималась нулевой).

В действительности стадия зарождения макротрещины может составлять значительную долю общей долговечности соединения.