

УДК 539.3

А.С.Алексашкин (6 курс, каф. МПУ), А.С.Семёнов, к.ф.-м.н., доц.

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СВАРНОГО ШВА

Сварка является одним из ведущих технологических процессов создания материальной основы современной цивилизации. Более половины валового национального продукта промышленно развитых стран создается с помощью сварки и родственных технологий. До 2/3 мирового потребления стального проката идет на производство сварных конструкций и сооружений. В данной работе исследуется напряжённо-деформированное состояние (НДС) сварных швов для ряда характерных конструктивных элементов средствами конечно-элементного (КЭ) анализа в программной системе ANSYS.

Результаты КЭ исследования напряженного состояния одного из простейших вариантов сварного шва в тавровом соединении (рис. 1) представлены на рис. 2. В силу наличия вертикальной оси симметрии моделировалась половина конструкции. Рассматривается одноосное растяжение образца распределённой силой, направленной вдоль горизонтальной оси. Первоначально задача решалась в упругой постановке при одинаковых характеристиках основного материала и материала сварного шва (сталь, $E = 2.1 \cdot 10^{11}$ Па, $\nu = 0.3$). КЭ модель (см. рис. 1), состоящая из 3027 элементов, содержащая 9362 узла,

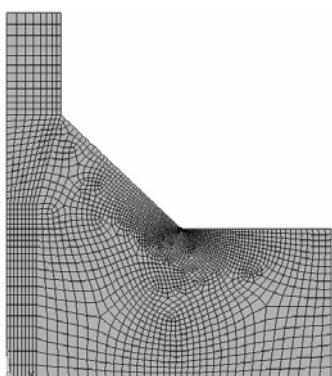


Рис. 1



Рис. 2

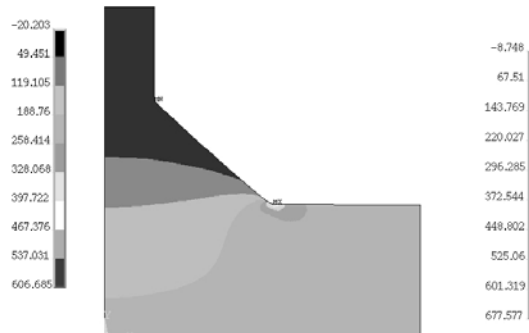


Рис. 3

показала хорошую точность при исследовании практической сходимости (результаты для данной модели отличаются от результатов, полученных при использовании модели с вдвое большим числом степеней свободы, менее чем на 0.1%). Как видно из рис. 2, максимальные значения компоненты напряжений σ_x достигаются в зоне скругления, где наблюдается концентратор напряжений. Коэффициент концентрации напряжений в данном случае составил $K = 2.43$. Было проведено сравнение полученного численного результата для K с упрощенной аналитической оценкой для тавровой конструкции [1]:

$$K = 1.9 + 0.008 \frac{S + S_1}{2R} - 5.1 \frac{R}{S} q^{1.5} + 1.8 \left(\frac{R}{S} \right)^n (3.8q - 1.43) \cdot \left(\frac{S_1 + 2K_r}{S} \right)^{0.25}, \quad (1)$$

где q , n , S и S_1 – геометрические параметры модели, K_r – горизонтальная толщина сварного шва, R – радиус скругления в зоне концентратора. Значение коэффициента концентрации по (1) составило $K = 2.52$. Отличие между аналитическим и КЭ решениями не превышает 3.5%.

Данная задача решалась в той же постановке и для двутаврового соединения. В силу симметрии моделировалась четверть конструкции. На рис. 3 представлено поле компоненты

тензора напряжений σ_x . Значение коэффициента концентрации в данном случае возросло до $K = 2.71$. Обе задачи решались в предположении о плоском деформированном состоянии.

Вопрос о влиянии непровара имеет большое значение для практики. Результаты КЭ моделирования показали, что центральный непровар, характерные размеры которого не превышают 10% характерного размера конструкции, практически не изменяет максимального значения напряжений, но влияет на качественный характер поля напряжений – вокруг непровара возникает ‘зона разгрузки’.

Задача определения НДС сварного шва решалась также в упруго-пластической постановке. Использовались материалы со следующими характеристиками: для таврового соединения – сталь ГС16 (предел текучести $\sigma_T = 295$ МПа, предел кратковременной

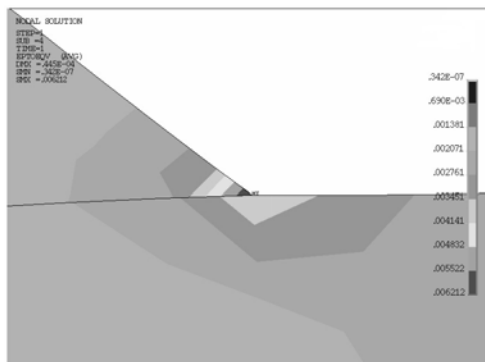


Рис. 4

прочности $\sigma_B = 470$ МПа, модуль упругости $H = 833$ МПа), для сварного шва – сталь 10ХСНД (предел текучести $\sigma_T = 390$ МПа, предел прочности $\sigma_B = 530$ МПа, модуль упругости $H = 737$ МПа). Первая модель не содержала скруглений в зоне концентратора напряжений и непровара. Созданная КЭ модель состояла из 2396 элементов, насчитывала 7473 узла. На рис. 4 представлено распределение интенсивности напряжений в зоне стыка сварного шва и тавра. Остаточные деформации локализируются вблизи геометрического концентратора.

Вторая модель содержала технологическую проточку в месте стыковки шва и тавра и отверстие в центре конструкции, моделирующее непровар. КЭ модель данной конструкции, состоящая из 4946 элементов, содержащая 15241 узел, представлена на рис. 5. На рис. 6 показано распределение значений σ_x компоненты тензора напряжений. Как видно из рис. 6, наибольшие напряжения достигаются вблизи выточки. В окрестности непровара напряжения невелики. На рис. 7 представлено распределение значений пластических деформаций. Они локализованы вблизи технологической выточки.

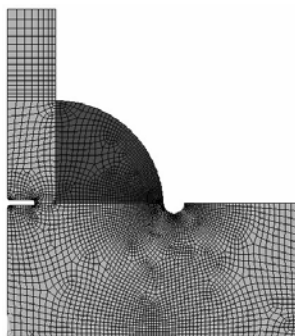


Рис. 5

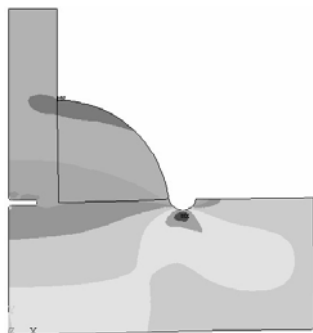


Рис. 6

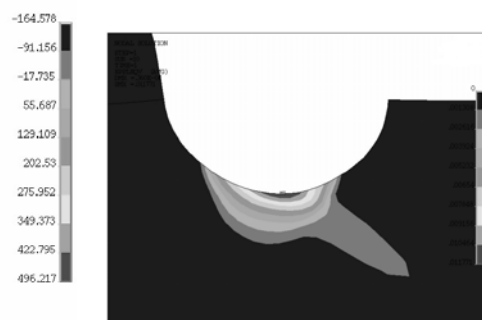


Рис. 7

В результате проведенных исследований установлено, что в рассматриваемых тавровых конструкциях непровар при горизонтальном растяжении не опасен и даже создаёт зону разгрузки, а малый радиус скругления в месте соединения сварного шва и тавра или технологическая выточка создают опасно высокую концентрацию напряжений, которая даже в упруго-пластическом расчете может превышать значение $K = 1.8$. В дальнейшем предполагается провести учет остаточных напряжений на основе прямого математического моделирования процесса сварки и выполнить сравнение с экспериментальными данными.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Манчжула К.П., Петин С.В. Прочность и долговечность конструкций при переменных нагрузках. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. – 75 с.