

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С КОНЦЕНТРАТОРАМИ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Е.А.Гусева¹, М.В.Константинова²

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

В программном комплексе Autodesk Inventor проведен численный анализ различных сварных конструкций содержащих концентраторы напряжений (конструктивные концентраторы и дефекты), находящихся в условиях статического нагружения. Сравнение с экспериментальными данными из литературы показывает достоверность и высокую точность построенных моделей. Проанализировано влияние на уровень напряжений угла наклона углового шва в тавровом соединении и определены варианты конструкций с концентраторами с наибольшим уровнем напряжений.

Ил. 10. Библиогр. 7 назв.

Ключевые слова: сварные конструкции; концентрация напряжений; компьютерное моделирование; численный анализ

COMPUTER MODELING OF WELDED JOINTS WITH STRESS CONCENTRATORS UNDER STATIC LOADING

E.Guseva, M.Konstantinova

National research Irkutsk state technical University,
664074, Irkutsk, Lermontov street, 83.

Autodesk Inventor software provides a numerical analysis of various welded structures containing stress concentrators (constructive concentrators and defects) under static loading conditions. Comparison with experimental data from the literature shows the reliability and high accuracy of the constructed models. The article analyzes the effect on the stress level of the angle of inclination of the angular weld in the T-joint and defines design options with concentrators with the highest stress level.

Fig. 10. Bibliography 7.

Keywords: welded structure; stress concentration; computer simulation; numerical analysis

Концентраторы напряжений всегда присутствуют в сварных соединениях. Это могут быть конструктивные концентраторы или дефекты сварного шва. Концентраторы оказывают значительное влияние на статическую прочность сварных соединений, особенно при использовании для них хрупких материалов. На усталостную прочность при действии циклических нагрузок концентраторы напряжений оказывают определяющее влияние. Вывести аналитические зависимости для расчета прочности сварных конструкций, особенно содержащих дефекты, сложно, часто невозможно. Использование численного моделирования [1–7] позволяет проводить анализ концентрации напряжений сварных конструкций любой сложности в случаях, когда проведение сложного и дорогого натурального эксперимента затруднено или невозможно.

Под концентрацией напряжений понимается резкое местное изменение поля напряжений в деформируемом теле. Концентрация напряжений характеризуется теоретическим коэффициентом концентрации напряжений – отношением максимального напряжения σ в области концентратора к номинальному напряжению σ_n (вычисленному в предположении отсутствия концентратора):

$$\alpha_{\sigma} = \frac{\sigma}{\sigma_n}. \quad (1)$$

В данной работе с помощью компьютерного моделирования были проведены исследования некоторых сварных соединений, содержащих концентраторы напряжений. Были рассмотрены конструктивные концентраторы, а также дефекты, полученные при сварке. Моделирование проводилось в программном комплексе Autodesk Inventor. Во всех моделях свойства материала принимались одинаковые для шва и основного материала. На первом этапе исследования были подготовлены конечно-

¹ Гусева Елена Александровна, магистрант кафедры машиностроительных технологий и материалов,
e-mail: el.guseva@rambler.ru

Guseva Elena., graduate student of Department of mechanical engineering technologies and materials,
e-mail: el.guseva@rambler.ru

² Константинова Марина Витальевна, доцент кафедры машиностроительных технологий и материалов,
e-mail: mavikonst@mail.ru

Konstantinova Marina, associate professor of mechanical engineering technologies and materials,
e-mail: mavikonst@mail.ru

элементные модели сварных соединений с концентраторами напряжений (конструктивными и дефектами). На рисунках 1-4 представлены конечноэлементные модели соединений пластин стыковым швом. На рис. 1 представлен шов без дефектов.

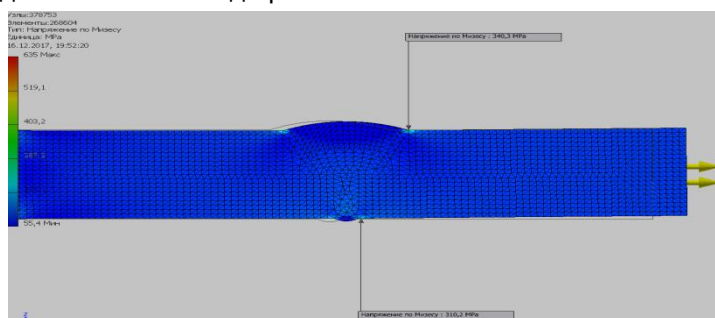


Рис. 1. Конечноэлементная модель стыкового шва без дефектов

На рис. 2, 3 и 4 – швы с подрезами, непроваром и прожогом соответственно. Материал – сталь (модуль упругости $E=2,1 \times 10^5$ МПа, плотность $7,85 \text{ г/см}^3$, коэффициент Пуассона – 0,3). Толщина пластины – 2 мм, нагрузка растягивающая – 200 МПа.

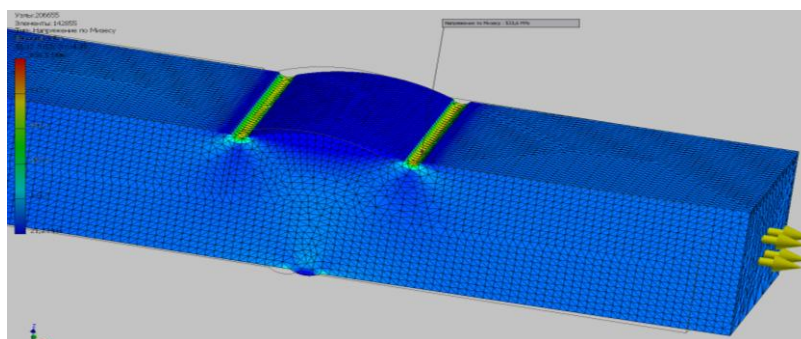


Рис. 2. Конечноэлементная модель стыкового шва с подрезами

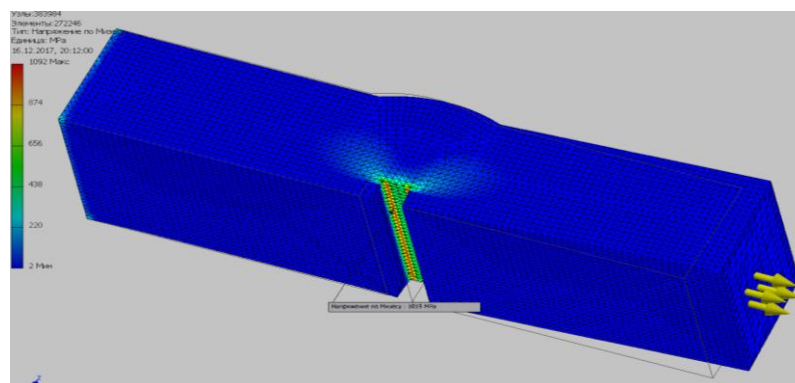


Рис. 3. Конечноэлементная модель стыкового шва с непроваром

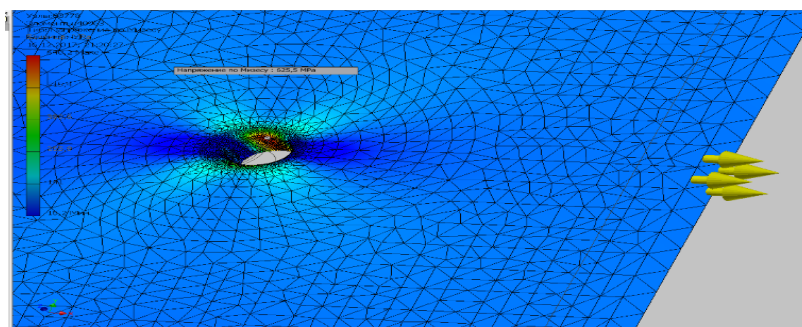


Рис. 4. Конечноэлементная модель стыкового шва с прожогом

В таблице представлены значения теоретического коэффициента концентрации напряжений для всех рассмотренных случаев.

Значения теоретического коэффициента концентрации напряжений

№ п/п	Вид сварного соединения	α_σ
1	Без дефектов	1.7
2	С подрезами	2.7
3	С непроваром	5.1
4	С прожогом	3.1

Следующим этапом исследований был анализ статического НДС таврового соединения. Геометрия соединения представлена на рис. 5. Материал – сталь, нагрузка растягивающая 200 МПа.

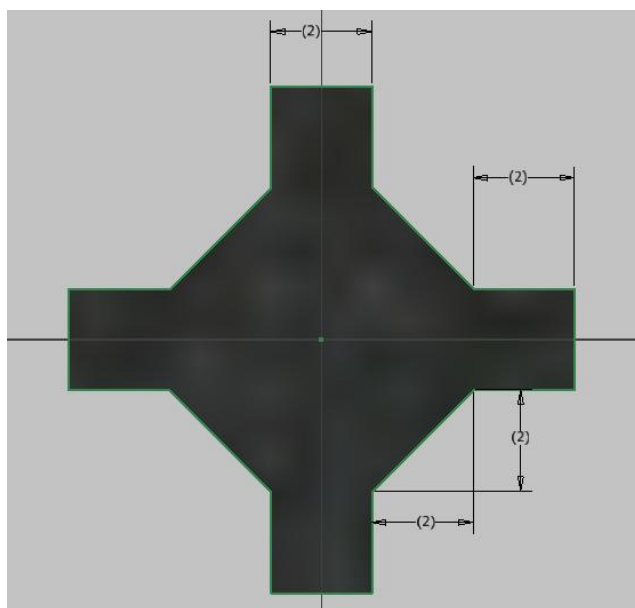


Рис. 5. Тавровое сварное соединение

На рис. 6 представлена конечноэлементная модель и результаты расчета.

На рис. 7 представлено распределение напряжений в тавровом соединении, определенное экспериментально в работе [5].

На рис. 8 показаны изополя напряжений, полученные расчетом в программном комплексе Autodesk Inventor.

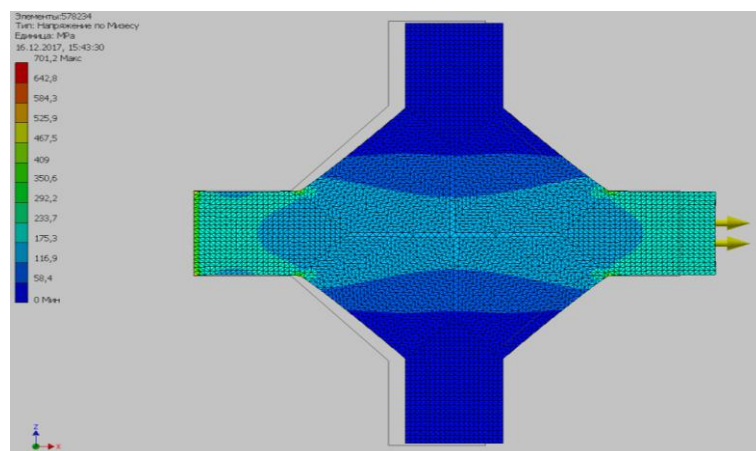


Рис. 6. Конечноэлементная модель сварного соединения в деформированном состоянии

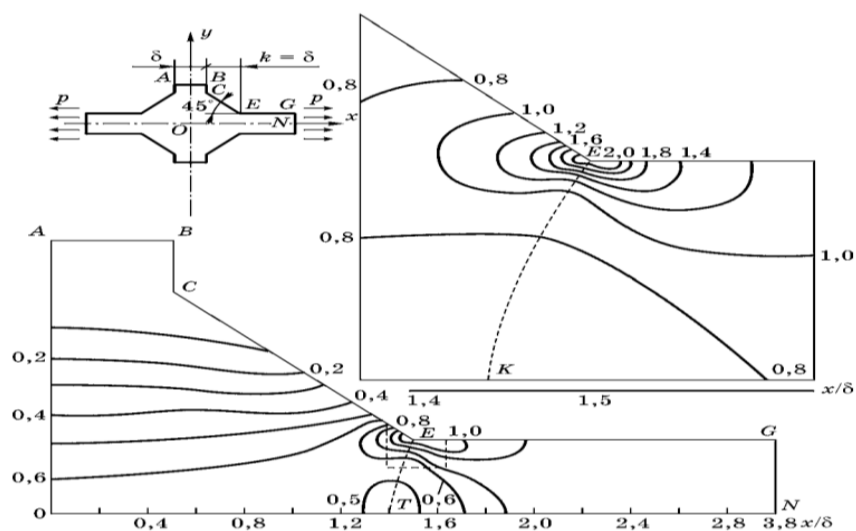


Рис. 7. Распределение напряжений в тавровом соединении [5]

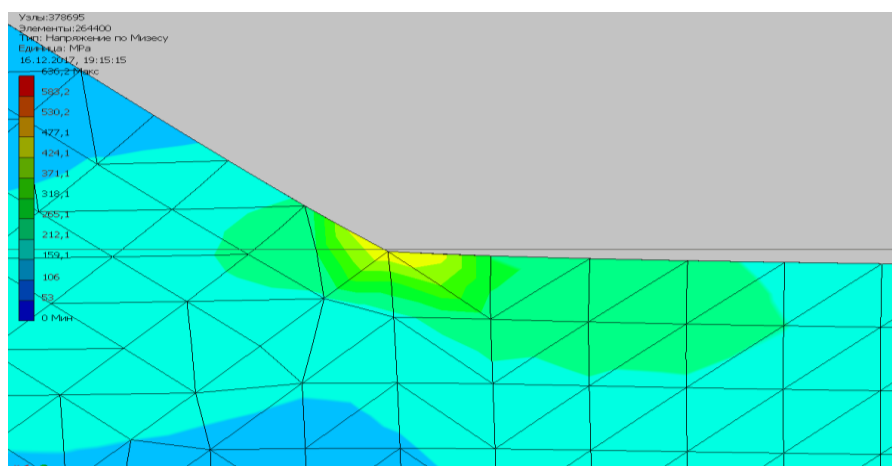


Рис. 8. Численное решение с помощью МКЭ

Как видно из рис. 7 и 8, в распределении напряжений наблюдается идентичность. Теоретический коэффициент концентрации напряжений при этом составил 2,9. Также было исследовано влияние на напряжения угла наклона углового шва. На рис. 9 представлена схема соединения с разными углами наклона углового шва.

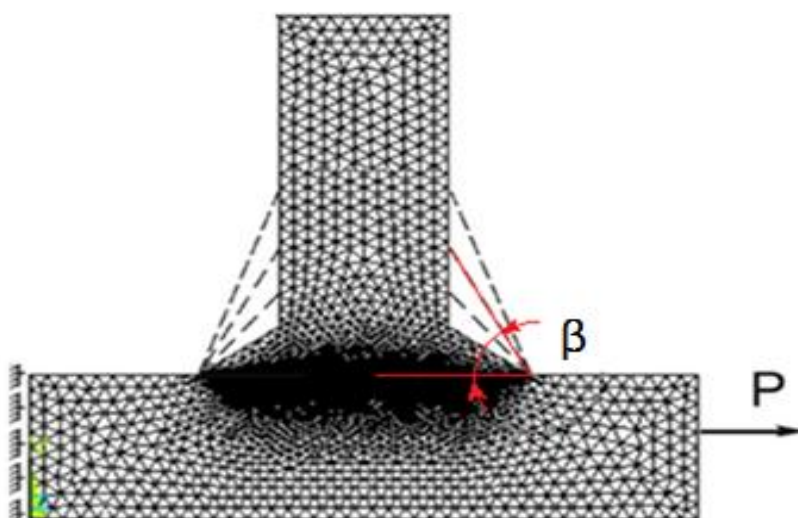


Рис. 9. Расчетная схема

Внешняя нагрузка составляла 200 МПа. Были подготовлены и исследованы 3 модели с углами β , равными 30° , 45° и 60° . Максимальные напряжения в месте изменения формы составили 433,7 МПа, 595,6 МПа и 661,1 МПа соответственно.

На рис. 10 представлена зависимость теоретического коэффициента концентрации напряжений от угла наклона углового шва.

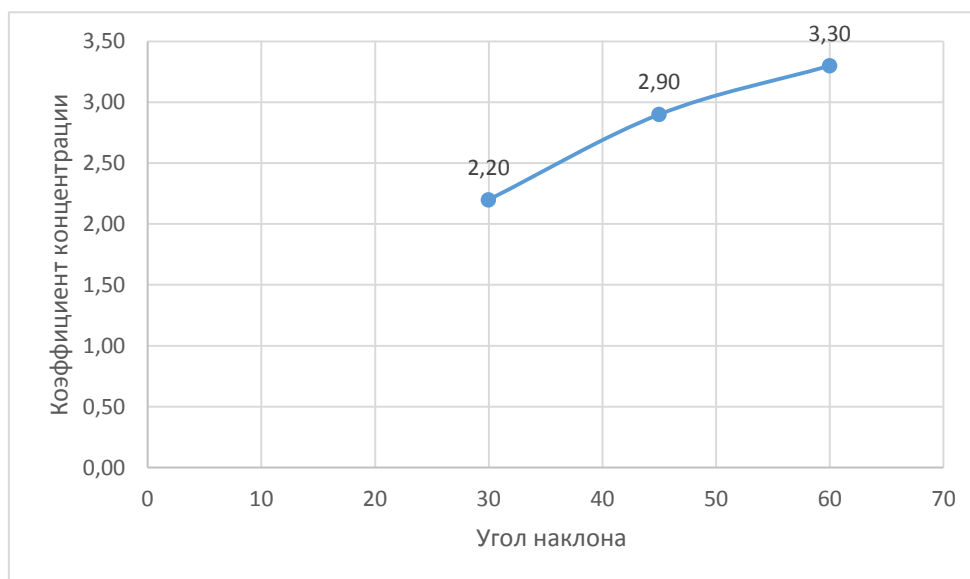


Рис. 10. Зависимость теоретического коэффициента концентрации напряжений от угла наклона углового шва

Выводы

Проведен численный анализ различных сварных конструкций содержащих концентраторы напряжений (конструктивные и дефекты), находящихся в условиях статического нагружения. Сравнение с экспериментальными данными из литературы показывает достоверность и высокую точность построенных моделей. Для рассмотренных вариантов конструкций рассчитаны значения теоретического коэффициента концентрации напряжений. Результаты моделирования показывают, что из всех рассмотренных вариантов наиболее нагруженными являются сварные соединения с неповаром, прожогом, а также соединения, выполненные угловыми швами с большим углом наклона ($\beta = 60^\circ$).

Библиографический список:

1. Рыжиков И.Н., Репецкий О.В., Нгуен Т.К. Один из подходов к оценке долговечности рабочих колес турбомашин // Вестник ИрГТУ. 2015. № 5 (100). С. 22–27.
2. Рыжиков И.Н. Экспериментальные исследования расстройки параметров моделей рабочих колес газотурбинных двигателей // Вестник ИрГТУ. 2014. № 12 (95). С. 53–57.
3. Рыжиков И.Н. Оценка и возможные способы увеличения долговечности элементов роторов ГТД // Вестник ИрГТУ. 2007. № 1 (29). С. 155–158.
4. Репецкий О.В., Рыжиков И.Н. Анализ тепловых полей и термонапряженного состояния деталей турбин // Вестник стипендиатов ДААД. 2001. № 1. С. 89.
5. Нгуен Т.К., Репецкий О.В., Рыжиков И.Н. Прогнозирование уровней напряжений в лопатках рабочих колес турбомашин с расстройкой параметров // Вестник ИрГСХА. 2017. № 78. С. 142–151.
6. Рыжиков И.Н., Репецкий О.В., Нгуен Т.К. Динамика элементов роторов турбомашин на переходных режимах работы с учетом нелинейных эффектов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. Т. 20. № 11 (118). С. 61–68.
7. Repetckii O., Ryzhikov I., Nguyen T.Q. Dynamics of gas turbine engines rotors taking into account non-linear effects. Vibroengineering PROCEDIA. 2016. Vol. 8. P. 361–365.