

Численный анализ остаточных сварочных напряжений стыкового сварного соединения толстолистовой стали

В.А. Кириллова, Л.Ю. Рыбакова

Самарский государственный технический университет

Аннотация: Сварка является основным методом соединения толстолистовой стали. Её применение приводит к значительным остаточным сварочным напряжениям. Остаточное напряжение может существенно повлиять на несущую способность стальных большепролетных мостов. В данной работе был проведён конечно-элементный расчет остаточных сварочных напряжений стальных листов толщиной до 100 мм, а также выявлено распределение поверхностных остаточных напряжений и влияние толщины листа на остаточное поверхностное напряжение.

Ключевые слова: стальной мост, толстолистовая сталь, сварочные остаточные напряжения, метод конечных элементов, сварное соединение, распределение напряжений.

Введение. Растущая потребность в стальных мостах с большими пролетами приводит к увеличению толщины применяемого стального листа. Сварка является основным методом соединения толстолистовой стали. Её применение приводит к значительным остаточным сварочным напряжениям. Наличие остаточных сварочных напряжений может негативно сказаться на механических свойствах конструкции [1-3].

Сварочное остаточное напряжение относится к остаточному самоуравновешивающемуся напряжению в сварном шве после сварки и охлаждения. В вопросе распределения остаточных напряжений существуют разные мнения о положении пика остаточных напряжений в толстом листе [4-6]. Увеличение толщины плиты, несомненно, будет иметь особое влияние на распределение остаточного напряжения [7-8].

С целью устранения недостатков текущих исследований толстолистовой стали в данной работе была создана конечно-элементная модель и проведён расчет остаточных сварочных напряжений стальных листов толщиной 20, 40, 60, 80 и 100 мм, а также исследованы

закономерности распределения остаточных напряжений сваренных встык пластин.

Анализ методом конечных элементов

Создание конечно-элементной модели. Численное моделирование выполняется с помощью профессионального программного обеспечения для сварки SYSWELD. В данной статье для моделирования приняты следующие упрощения:

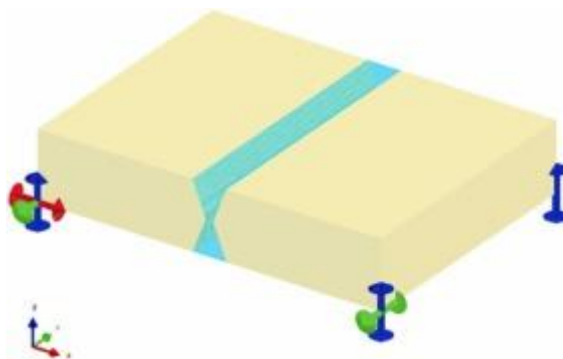
1. Форма сварного шва принимается правильной геометрической формы и не учитывает остаточную высоту на поверхности образца.
2. При численном моделировании считается, что материал шва соответствует материалу основного металла, и используются те же теплофизические параметры.
3. Химические реакции и течение жидкости внутри ванны расплава не учитываются и предполагается, что ванна расплава имеет правильную форму и прямолинейный путь.

Разделение элементов. В зоне сварки и околошовной зоне длина продольного элемента по сварному шву не более 4,5 мм, длина элемента в поперечном направлении и направлении по толщине около 2 мм, размер элемента в площадь основного металла увеличивается.

Граничные условия. Чтобы удовлетворить требованиям механической границы, в определенной степени ограничено только смещение трех угловых точек вдоль оси координат, как показано на рис. 1. 2

Свойства материала. Основным металлом является сталь S420ML, соответствующая стандарту «Изделия горячекатаные из конструкционных

сталей. Часть 4: Технические условия поставки для свариваемых мелкозернистых конструкционных сталей после термомеханической



прокатки» (EN 10025–4).

Рис. 1. - Механические граничные условия

Процесс расчета методом конечных элементов. Способ расчета поля напряжений в этой статье — метод не прямой связи. Сначала рассчитывается температурное поле после применения источника сварочного тепла, далее температурное поле применяется к модели в виде нагрузки, а затем рассчитывается поле напряжений [9-10].

Анализ сварочных остаточных напряжений на поверхности толстолистового металла, сваренного встык

Стыковые сварные соединения толстых стальных листов пяти различных толщин численно моделируются для изучения общего распределения остаточных напряжений при сварке и влияния толщины листа на распределение остаточных напряжений.

Толщина пластин пяти моделей составляет 20 мм, 40 мм, 60 мм, 80 мм и 100 мм соответственно, а длина и ширина установлены на 402 мм × 300

мм. Пять моделей обозначены как T20, T40, T60, T80 и T100 соответственно. При сварке образцы переворачивают через каждые 20 мм в направлении толщины.

Исходя из рис. 2 видно, что распределение напряжения в направлении X толстых листов, сваренных встык 20–100 мм, очень похоже. Начиная с пикового значения площади растягивающего напряжения, напряжение постепенно уменьшается в окружающем направлении, и скорость уменьшения в направлении сварного шва больше, чем в направлении от сварного шва. Напряжение на сварном шве колеблется в разной степени. Напряжение имеет тенденцию уменьшаться от центра к концу сварного шва.

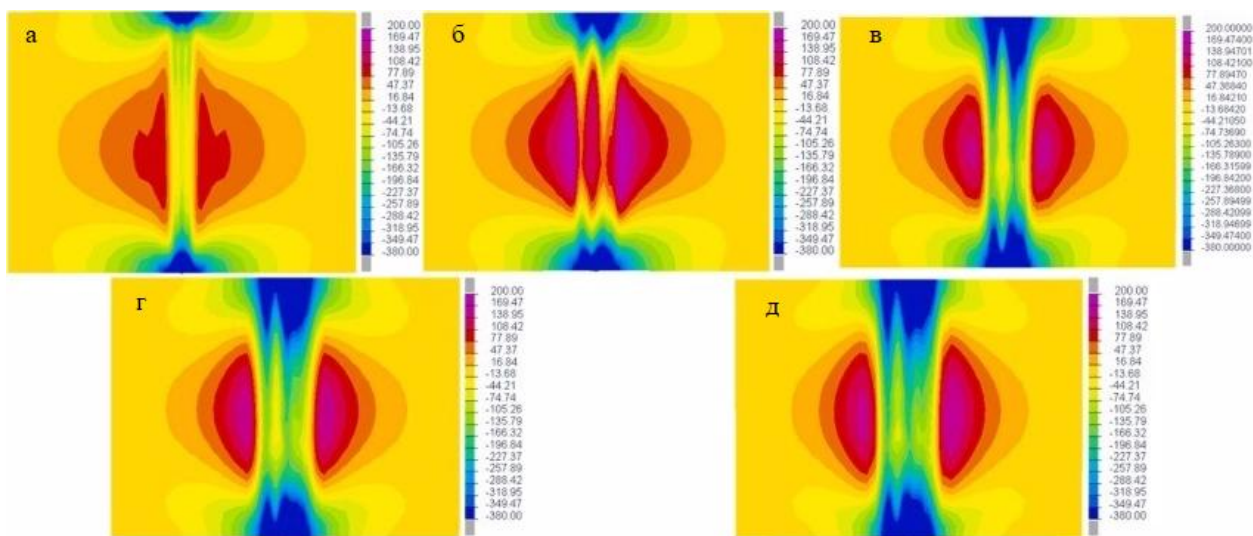


Рис. 2. - σ_x на поверхности: а - T20; б – T40; в – T60; г – T80; д – T100

Для качественного рассмотрения распределения площадей растягивающих и сжимающих напряжений по толщине стального листа, площадь сжимающих напряжений начального и чистового концов расширяется с увеличением толщины листа, так как с увеличением толщины

листа степень стеснения стальной пластины при деформации в направлении X также увеличивается, температура металла на поверхности стартового и финишного концов падает быстрее, чем внутри, усадка металла в относительно высокотемпературной области внутри сдерживается металлом в относительно низкотемпературная область на поверхности, которая будет генерировать растягивающее напряжение внутри и сжимающее напряжение в области, близкой к поверхности.

Из рис. 3 видно, что в диапазоне 100 мм вблизи сварного шва в перпендикулярном направлении к сварному шву через центр на верхней поверхности, напряжение в направлении X в пределах 5–10 мм от края сварного шва всегда самое низкое, напряжение может быть сжимающим или растягивающим, иметь колебания. Растягивающее напряжение быстро возрастает в диапазоне 5–10 мм от края сварного шва, приближаясь к пиковому значению растягивающего напряжения. Напряжение от положения пика к краю образца имеет тенденцию к снижению. Если пренебречь флуктуациями напряжения в сварном шве, распределение остаточного напряжения в направлении X примерно соответствует форме буквы «М».

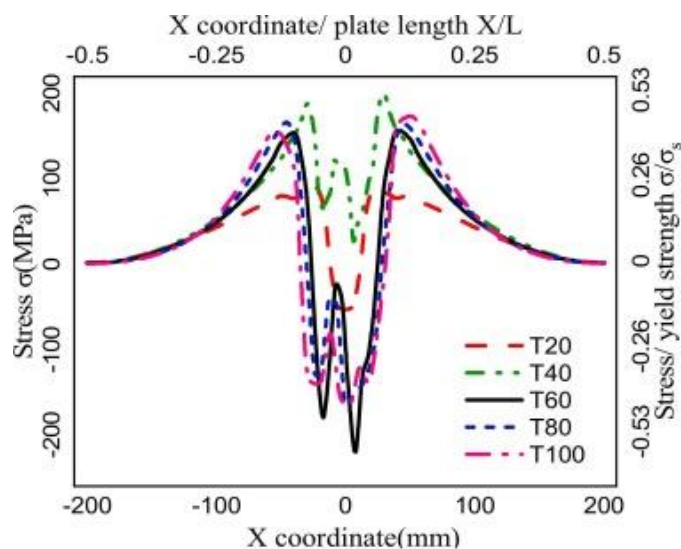


Рис. 3. - σ_x по траектории $L_{yA=150}$

Выводы

В данной работе проанализировано распределение остаточных напряжений на поверхности стальных листов разной толщины. Основные выводы статьи таковы:

1. Процесс сварки моделируется численно. Результаты моделирования сварочного напряжения в этой статье точны, а используемые параметры являются разумными, таким образом проверяется достоверность модели.

2. Растягивающее напряжение быстро возрастает от края сварного шва, приближаясь к пиковому значению растягивающего напряжения. Напряжение от положения пика к краю образца имеет тенденцию к снижению.

3. Распределение остаточного напряжения в направлении X примерно соответствует форме буквы «М».

Литература

1. Гатовский К.М., Кархин В.А. Теория сварочных деформаций и напряжений. Л.: ЛКИ, 1980. 331 с.
2. Медведев А.Ю., Бычков В.М., Тарасенко Е.Е., Измайлова Н.Ф., Дубин А.И. Исследование остаточных напряжений в соединениях, полученных линейной сваркой трением // Вестник УГАТУ. 2012. Т. 16. № 7(52). С. 59-62.
3. Николаев Г. А., Куркин С. А., Винокуров В. А. Сварные конструкции. Прочность сварных соединений и деформации конструкций. М.: Высшая школа, 1982. 272 с.
4. Бигер И. А. Остаточные напряжения. М.: Машгиз. 1963. 233 с.

5. Гатовский К. М. Теория сварочных напряжений и деформаций. Л.: изд. Ленинградского Ордена Ленина кораблестроительного института. 1980. 331 с.
6. Kordisch, H., Boschen, R., Blauel, J.G., Schmitt, W., Nagel, G. Experimental and numerical investigations of the warm-prestressing (WPS) effect considering different load paths // Nuclear Engineering and Design. 2000. Vol. 84(3). pp. 447-450.
7. Masubuchi K. Analysis of Welded Structures: Residual Stresses, Distortion and Their Consequences. Pergamon Press, Oxford, 1980. 654 p.
8. Куркин С.А., Винокуров В.А., Николаев Г.А. Сварные конструкции. Механика разрушения и критерии работоспособности. М.: Машиностроение, 1996. 576 с.
9. Лавыгин Д.С., Леонтьев В.Л. Алгоритм смешанного метода конечных элементов решения задач теории отказов // Инженерный вестник Дона, 2013. №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1910
10. Устименко Е.Е., Скачков С.В. Метод конечных элементов // Инженерный вестник Дона, 2019. №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2019/5768

References

1. Gatovskij K.M., Karhin V.A. Teorija svarochnyh deformacij i naprjazhenij. [Theory of welding deformations and stresses]. L.: LKI, 1980. 331 p.
 2. Medvedev A.Ju., Bychkov V.M., Tarasenko E.E., Izmajlova N.F., Dubin A.I. Vestnik UGATU. 2012. T. 16. № 7(52). pp. 59-62.
-

3. Nikolaev G. A., Kurkin S. A., Vinokurov V. A. Svarnye konstrukcii. Prochnost' svarnyh soedinenij i deformacii konstrukcij. [Welded structures. Strength of welded joints and structural deformations]. M.: Vysshaja shkola, 1982. 272 p.
 4. Biger I. A. Ostatochnye naprjazhenija. [Residual stresses]. M.: Mashgiz. 1963. 233 p.
 5. Gatovskij K. M. Teorija svarochnyh naprjazhenij i deformacij. [Theory of welding stresses and deformations]. L: izd. Leningradskogo Ordena Lenina korablestroitel'nogo instituta. 1980. 331 p.
 6. Kordisch, H., Boschen, R., Blauel, J.G., Schmitt, W., Nagel, G. Nuclear Engineering and Design. 2000. Vol. 84(3). pp. 447-450.
 7. Masubuchi K. Analysis of Welded Structures: Residual Stresses, Distortion and Their Consequences. Pergamon Press, Oxford, 1980. 654 p.
 8. Kurkin S.A., Vinokurov V.A., Nikolaev G.A. Svarnye konstrukcii. Mehanika razrushenija i kriterii rabotosposobnosti. [Welded structures. Fracture Mechanics and Performance Criteria]. M.: Mashinostroenie, 1996. 576 p.
 9. Lavygin D.S., Leontev V.L. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1910
 10. Ustimenko E.E., Skachkov S.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2019/5768
-