

2. Бондарь, В. А. Взрывобезопасность электрических разрядов и фрикционных искр / В. А. Бондарь, В. Н. Веревкин, А. И. Гескин и др. Под ред. В. С. Кравченко и В. А. Бондаря – М.: «Недра», 1976. – 304 с.

3. Розловский, А.И. Основы техники взрывобезопасности при работе с горючими газами парами / А.И. Розловский. – М.: Химия, 1980. – 376 с.

МИНИМИЗАЦИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКЕ ТОНКОЛИСТОВОЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ ЛОКАЛЬНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБЛАСТИ.

Пантелеенко Ф.И., Жизняков С.Н., Афшин Хейдари Монфаред.

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь,
panteleyenkofi@mail.ru*

Введение

Высоколегированные коррозионностойкие стали аустенитного класса малой толщины (до 4 мм) находят широкое применение в практике для изготовления ответственных сварных оболочковых и корпусных транспортных конструкций различного назначения. Хотя эти стали хорошо свариваются, например, аргонодуговой сваркой с неплавящимся вольфрамовым электродом, из-за присущих им специфических физических свойств – низкой теплопроводности и высокого коэффициента температурного расширения в сварных соединениях возникают значительные деформации, вызывающие недопустимое изменение формы (коробление) и размеров сварных конструкций, а также ухудшение их эксплуатационных характеристик [1].

Существует целый ряд методов минимизации сварочных деформаций (предварительная пластическая деформация, термическое растяжение, фиксация, определенная последовательность сварки отдельных швов, уменьшение и регулирование нагревом и охлаждением погонной энергии, в том числе за счет импульсных режимов сварки и некоторые другие).

Существующие методы применительно к аустенитной стали не обеспечивают должного качества и точность сварки во всех пространственных положениях, не позволяют полностью ограничивать деформации, затрудняют проведение ремонтных работ, в том числе с короткими швами [2].

Разработка эффективных способов и режимов минимизации деформации сварных соединений тонколистовой аустенитной стали, основанная только на эксперименте, требует значительных затрат времени и средств и не всегда обеспечивает достижение требуемой точности. Поэтому в настоящее время предпочтительно численное моделирование температурных полей, напряжений и деформаций в качестве наилучшего инструмента решения поставленной задачи [2].

Для численного моделирования, базирующегося на классических законах механики и теплопроводности, эффективны методы конечных разностей, конечных элементов, в двух- и трехмерной постановке, реализуемые с помощью таких программных продуктов, как ANSYS, LS-DYNA, SYSWELD и других [2].

В рассматриваемой работе с использованием методов численного моделирования предложена методика изучения термодиформационных процессов при сварке, позволяющая выяснить основные причины деформации, и предложена схема процесса сварки с локальным охлаждением высокотемпературной области, позволяющая уменьшить деформации при сварке в любом пространственном положении, улучшить свойства сварных соединений [2].

В работе принято решение использовать трехмерный термо-упруго-пластический анализ с движущимся источником тепла, что позволит предсказывать возникающие деформации всех видов.

Использована неосесимметричная трехмерная модель источника тепла, в которой плотность теплового потока распределена по закону Гаусса в области, представляемой двойным эллипсоидом [2]. **Ошибка! Закладка не определена.** Причиной объединения двух эллипсоидальных источников является то, что градиент температуры в передней части источника тепла «круче», чем на задней кромке области сварки.

Рис. 1 показывает взаимодействие различных этапов моделирования и файлы, необходимые для полного моделирования сварки. Упругопластический механический анализ последовательно осуществляется по мере изменения температуры в термическом анализе, результаты которого загружены в качестве входных данных для механического анализа, для расчета перемещений, деформаций и напряжений.

Таким образом разработана оптимальная последовательность действий при трехмерном моделировании процесса сварки тонколистовых аустенитных сталей, предусматривающая следующие шаги: создание конечно-элементной сетки с помощью программных комплексов ANSYS, LS-Prepost и Hypermesh; конвертация сетки в формат для ПК SYSWELD; выбор типа источника тепла, указание параметров сварки; задание механизма образования шва с применением метода «жевательной резинки»; выбор температуры плавления; калибровка источника тепла; выбор соответствующих граничных условий; указание свойств материала. В соответствии с разработанной моделью исследование процесса сварки происходит в два этапа. На первом решается температурная задача, основным уравнением при этом является уравнение теплопроводности. На втором этапе происходит связывание полученных температурных полей с полями напряжений и деформаций через зависящие от температуры свойства стали и деформацию, вызванную тепловым расширением материала. Для анализа процесса однопроходной сварки плавлением тонкостенных пластин встык целесообразно использовать модель изотропного упрочнения.

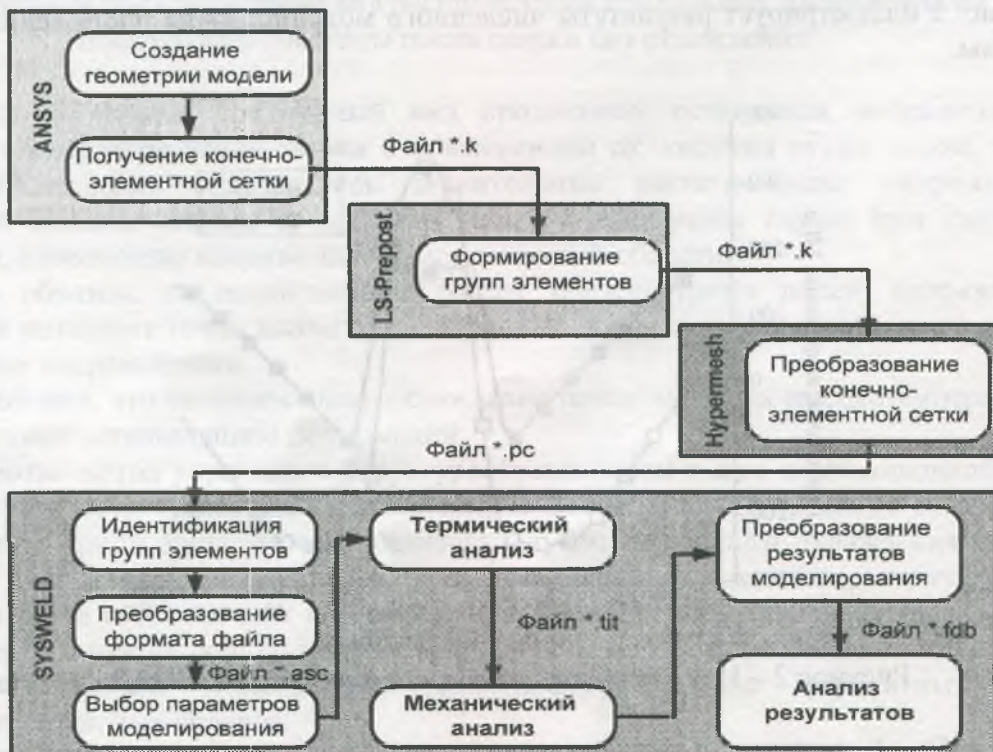


Рисунок 1 – Диаграмма последовательности действий при моделировании процесса сварки.

Наиболее эффективной областью использования разработанной модели является прогнозирование ожидаемых перемещений элементов тонколистовых оболочечных конструкций из аустенитных сталей в химическом, транспортном машиностроении, самолетостроении и аэрокосмической промышленности. С использованием построенной модели и разработанного метода ограничения остаточных деформаций (перемещений) при проектировании технологии сварки точность изготовления конструкций может быть обеспечена в соответствии с техническими требованиями.

Была проведена верификация модели. Данные численного моделирования сравнивались с экспериментальными [2]. Измерение деформаций проводили с помощью индикатора часового типа, соединенного для обсчета с ПЭВМ.

Оценивались все три вида искажений формы: продольный изгиб, угловая деформация и поперечное укорочение. При этом погрешность прогнозирования поперечного укорочения составила не более 7%, угловой деформации – 24%, продольного изгиба – 2%, т.е. модель адекватна реальному процессу и обеспечивает достаточную для практики точность расчётов.

Результаты численного моделирования температурных полей, напряжений и деформаций

При моделировании тепловых полей в свариваемой пластине выявлено, что в процессе сварки на верхней поверхности пластины выделяется большее количество тепла, чем на нижней. В средней части пластины в связи с уменьшением области сварки в направлении оси Y и из-за сопротивления прилегающей области развиваются значительные растягивающие напряжения. Кроме того, из-за неравномерного распределения температуры по сечению пластины в области сварки (перпендикулярно к линии шва), значения продольных напряжений на верхней и нижней поверхности пластины различаются.

В процессе охлаждения обе стороны пластины сжимаются, но, за счет изначально большего размера верхней стороны, результирующая форма пластины изогнута вверх. Это приводит к тому, что на верхней стороне пластины в области воздействия тепла образуются растягивающие, а на нижней стороне – сжимающие напряжения.

Рис. 2 иллюстрирует результаты численного моделирования напряжений в сечении пластины.

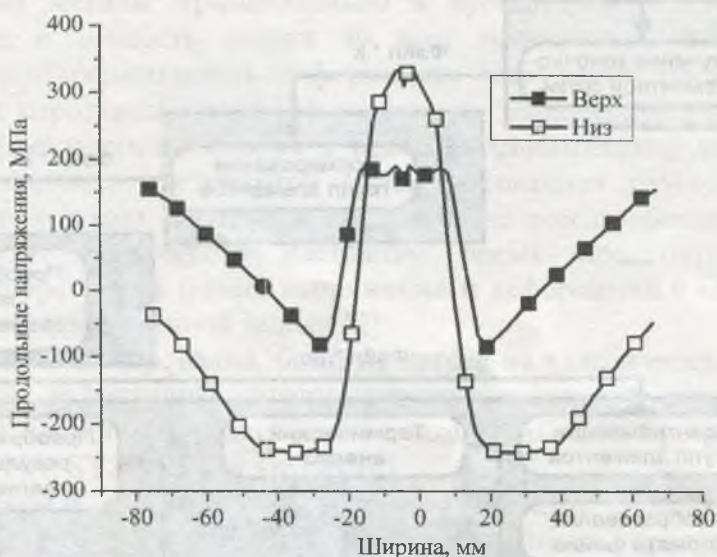


Рисунок 2 – Изменение продольных напряжений в сечении пластины

В табл. 1 приведены сравнительные результаты численного моделирования и экспериментов. Очевидна достаточная сходимость результатов.

Таблица 1 – Сравнение результатов моделирования и экспериментальных измерений деформации пластины после сварки

| Вид деформации | Измерения, мм | | Погрешность, % |
|--------------------|-------------------|---------------|----------------|
| | Экспериментальные | Моделирование | |
| Продольный изгиб | 9,8 | 9,6 | 2 |
| Угловая деформация | 5,08 | 6,9 | 26,6 |

На рис. 3 показан трехмерный вид продольных остаточных напряжений при комнатной температуре после сварки без применения охлаждения высокотемпературной зоны. По сравнению с рис. 6, значительные сжимающие остаточные напряжения развились в прилегающей области, что привело к деформации пластины. Знак «минус» соответствует сжимающим напряжениям, «плюс» – растягивающим.

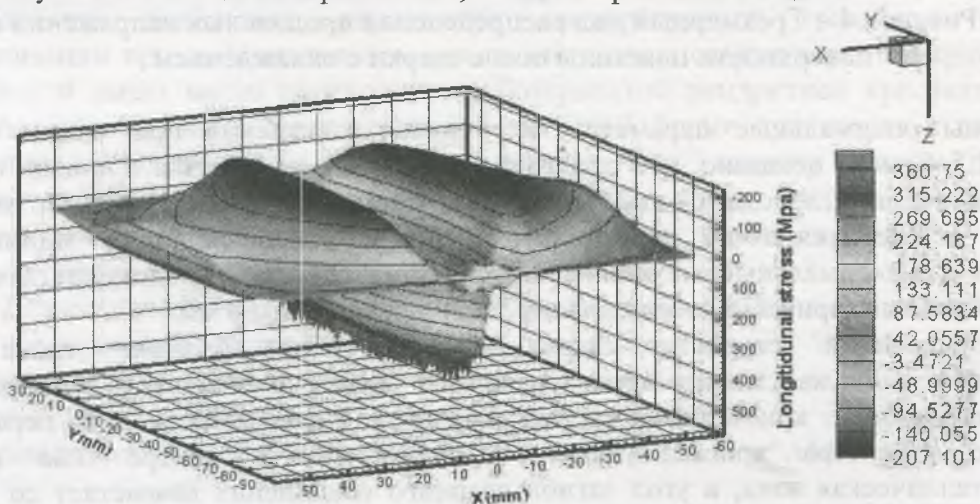


Рисунок 3 – Трехмерный вид распределения продольных напряжений на поверхности пластины после сварки без охлаждения.

На рис. 4 показан трехмерный вид продольных остаточных напряжений при комнатной температуре после сварки с применением охлаждения сухим льдом. За счет быстрого охлаждения образовались значительные растягивающие напряжения в центральной области сварки, и меньшие, чем в предыдущем случае при сварке без охлаждения, сжимающие напряжения – в прилегающей области.

Таким образом, последовательный расчет температурных полей, напряжений и деформаций позволяет точно выявить зоны с вызывающими коробление максимальными сжимающими напряжениями.

Установлено, что своевременное охлаждение потенциальных высокотемпературных зон обеспечивает минимизацию деформаций.

Разработан метод управления структурообразованием в шве и околошовной зоне и полями временных и остаточных и напряжений интенсивным локальным охлаждением высокотемпературной зоны. Метод реализован путем локального охлаждения сварного соединения твердым диоксидом углерода, подаваемым в высокотемпературную зону за источником тепла и создающим перемещающийся сток тепла. Наиболее целесообразной областью практического использования метода является дуговая сварка тонколистовых материалов с низкой теплопроводностью, преимущественно аустенитных сталей, никелевых и титановых сплавов.

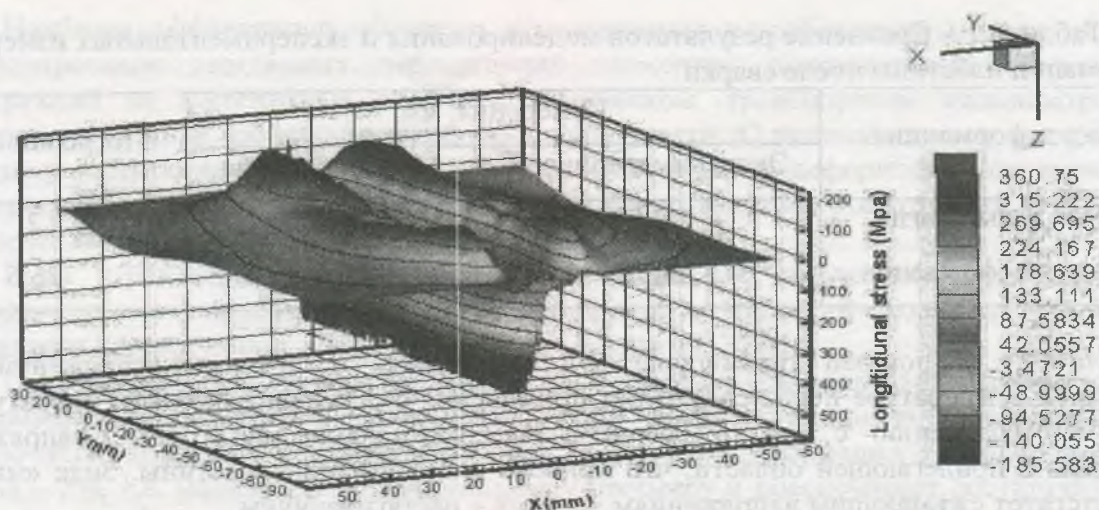


Рисунок 4 – Трёхмерный вид распределения продольных напряжений на поверхности пластины после сварки с охлаждением

Найдены оптимальные параметры источника охлаждения при сварке пластин толщиной 1.5-4 мм и показано, что для толщины 1.5 мм достаточна площадь контакта твёрдого диоксида углерода с высокотемпературной зоной 60-90мм². Оптимальное расстояние от источника до фронта стока тепла, обеспечивающее минимальные деформации и максимальные механические свойства сварного соединения составляет 10мм для толщины свариваемого металла и 12 мм- для толщины 4 мм.

При умеренной скорости сварки температурное действие стока тепла распространяется на хвостовую часть сварочной ванны и изменяет температурный градиент на фронте кристаллизации, в результате чего происходит переход от дендритного характера кристаллизаций к ячеистому. В центре шва исчезает крупнокристаллическая зона, а угол загиба сварного соединения возрастает со 140-148 градусов до 170-180 градусов. Такое действие ослабляется с ростом скорости сварки и увеличением расстояния от стока до источника тепла сверх 10мм.

Обнаружено явление существенного влияния остаточных сварочных напряжений на микротвёрдость металла околошовной зоны, заключающееся в том что микротвёрдость металла в зоне действия растягивающих напряжений оказывается на 19-21% ниже чем микротвёрдость металла при отсутствии напряжений, в это время как в зоне действия реактивных сжимающих напряжений с уровнем 270 Мпа микротвёрдость оказывается на 14 % выше. Обнаруженная неоднородность механических свойств отражается на служебных характеристиках сварных соединений.

На продольные остаточные напряжения в области сварки наибольшее влияние оказывает ширина области охлаждения. При ширине, большей 20 мм, влияние на температурные градиенты уменьшается. Для снижения величины остаточных перемещений наиболее эффективно использовать зону охлаждения 13-17 мм.

Локальное охлаждение металла высокотемпературной зоны твёрдым диоксидом углерода снижает длительность пребывания металла при повышенных температурах. При этом подавляется рост зерна. Одновременно дополнительное охлаждение ограничивает выделение карбидов, что повышает сопротивление металла межкристаллитной коррозии. Процессы возврата и рекристаллизации наклепанного металла подавляются из-за сокращения времени пребывания металла при высоких температурах. Соответственно прочность соединений из сталей, упрочнённых холодной пластической деформацией, повышается на 42-48% по сравнению со сваркой без дополнительного охлаждения.

Разработано оборудование и технологии малодеформационной аргонодуговой сварки неплавящимся электродом

Выводы

1. На основе проведенного анализа состояния вопроса разработана и экспериментально верифицирована эффективная универсальная методика численного моделирования температур, напряжений и деформаций в различных участках свариваемых пластин, учитывающая специфику поведения аустенитной стали типа 18/8 и особенности низкотемпературного охладителя, обеспечивающая погрешность прогнозирования 2-7% для величины продольного изгиба и 21-29% для величины угловых деформаций. С помощью разработанной методики рассчитаны температурные поля, поля напряжений, деформаций и перемещений, установлены величины временных и остаточных перемещений при сварке тонколистовых пластин из аустенитных сталей.

2. Предложена схема управления временными и остаточными деформациями с помощью принудительного локального охлаждения диоксидом углерода участков перегрева при ручной и автоматической аргодуговой сварке аустенитной стали для толщины листа 1 мм. Раскрыт механизм воздействия охлаждения на процесс сварки и показано, что вследствие увеличения температурного градиента на фронте кристаллизации при дополнительном охлаждении зоны сварки характер кристаллизации изменяется и имеет место переход от грубозернистой дендритной кристаллизации при сварке без охлаждения к мелкозернистой ячеистой форме при сварке с охлаждением. Дополнительное охлаждение сокращает ширину шва, ширину участка роста зерна, участков рекристаллизации и возврата, уменьшает время пребывания металла при соответствующих температурах до значений препятствующих завершению соответствующих процессов.

3. Для реализации результатов работы спроектировано, изготовлено и апробировано простое и удобное устройство подачи твердого сухого льда в зону сварки, обеспечивающее охлаждение зоны шва с найденными оптимальными параметрами. Результаты работы внедрены в учебный процесс в БНТУ, в производство на ОАО "Нефтезаводмонтаж" (Республика Беларусь) и на предприятии "АМА" (Иран).

Список литературы

1. Махненко, В. И. Изыскание расчётных методов исследований кинетики сварочных напряжений (деформаций). / В. И. Махненко – Автореф. дисс. на соискание ученой степени д-ра техн. наук. Ин-т электросварки им. Е.О. Патона АН УССР, 1971 г.
2. Афшин Хейдари Монфаред. Снижение деформаций при аргодуговой сварке неплавящимся электродом тонколистовой аустенитной стали принудительным охлаждением высокотемпературной области: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Афшин Хейдари Монфаред. – Минск.: БНТУ, 2012. – 23с.

СИНТЕЗ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ МЕТОДОМ КАРБОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ КРЕМНЕЗЁМА В ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОМ КИПАЮЩЕМ СЛОЕ

Бородуля В.А., Виноградов Л.М., Гребеньков А.Ж., Михайлов А.А.

Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАНБ, Минск, Беларусь

dsl@hmti.ac.by

Карбид кремния SiC обладает целым набором уникальных физико-химических свойств, которые делают его перспективным материалом при реализации современных конструктивно-технологических решений в самых различных областях техники.

Известная технология промышленного производства карбида кремния карботермическим восстановлением кремнезёма нефтяным коксом по методу Ачесона