

УДК621.791

**АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ  
ПРИМЕНЕНИЯ СВАРОЧНЫХ РОБОТОВ  
ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ИЗДЕЛИЙ,  
СОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЯ «ТРУБА-  
ТОНКИЙ ЛИСТ»**

*Грицына А. Н., Матвеев А. А.*

Донской государственной технической  
университет, Ростов-на-Дону, Российская  
Федерация

[svarka.dstu@mail.ru](mailto:svarka.dstu@mail.ru)[boston54@mail.ru](mailto:boston54@mail.ru)

Установлено, что сварка тонкостенных деталей сопровождается появлением напряжений. Это вызывает потерю устойчивости и является основной проблемой автоматизации сварки маложёстких панелей. Проведены исследования деформаций, возникающих при сварке круговых швов на пластине путём натурального эксперимента и математического моделирования методом конечного элемента.

**Ключевые слова:** ANSYS, сварочные деформации, напряжения, конструктивно-технологическое решение, усадочные силы, перемещения.

**Введение.** Предприятие ОАО «Ростовгазоаппарат» изготавливает бытовые и промышленные газовые обогреватели. В своём составе обогреватель имеет сборочные единицы (СЕ), которые состоят из тонкостенных пластин толщиной 2 мм, к которым привариваются патрубки — круговые сварные соединения, лежащие в одной плоскости. Количество патрубков от 3 и более.

Для повышения качества и экономии времени целесообразнее сварку таких СЕ производить с помощью автоматической роботизированной сварки. Для того чтобы реализовать процесс роботизации сварки какого-либо узла необходимо выполнение следующих условий [1–4]:

1. изделие должно занимать в пространстве строго определённое положение.
2. зазоры между свариваемыми деталями должны быть минимальными и не превышать допусков по ГОСТ 14 771.
3. запрограммированное положение торца электродной проволоки должно точно воспроизводить контуры сварного соединения.
4. сварочные деформации не должны смещать изделие от запрограммированного положения оси сварочной проволоки.

Условия 1–3 можно обеспечить путем повышения требований к заготовительным и сборочным операциям. Сварка тонкостенных деталей сопровождается, как правило, появлением напряжений и деформаций. Условие 4 требует анализа и выявления причин возникающих

UDC621.791

**ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF  
USING WELDING ROBOTS IN THE  
MANUFACTURE OF PRODUCTS WITH  
"TUBE-THIN SHEET» JUNCTIONS**

*Gritsyna A.N., Matveev A. A.*

Don State Technical University, Rostov-on-Don,  
Russian Federation

[svarka.dstu@mail.ru](mailto:svarka.dstu@mail.ru)[boston54@mail.ru](mailto:boston54@mail.ru)

It is established that the welding of thin-walled parts is accompanied by the appearance of stresses causing the loss of stability, which is the main problem of automation of welding of thin-walled panels. The researches of deformations arising at welding of circular seams on a plate by full-scale experiment and mathematical modeling by a method of a finite element are carried out.

**Keywords:** ANSYS, welding deformation, stress, structural and technological method, contraction force, movements.

деформаций и перемещений [4]. Это может быть связано с рядом причин: локальный неравномерный нагрев металла, неравномерные структурные превращения в металле, литейная усадка наплавленного металла [2, 3].

**Исследование перемещений.** Авторами проводились исследования перемещений, возникающих при сварке круговых швов, на пластинах из стали 20, с размерами 450×450×2 мм,

На стенде с помощью промышленного робота KUKAIR 165/15 выполняли круговые швы плавящимся электродом в среде защитного газа (рис. 1).



Рис. 1. Сварка экспериментальных образцов

Режим сварки: диаметр проволоки 1,0 мм; сварочный ток  $100 \pm 5$  А; напряжение  $25 \pm 2$  В; скорость сварки 20 м/ч; защитный газ — 100% аргон.

Результат показал, что пластина потеряла устойчивость и приняла дугообразный вид (рис. 2).



Рис. 2. Соединение труба-лист после сварки

В результате местного нагрева металла и его последующего охлаждения в сварном соединении образуется неравномерное температурное поле. В свариваемой детали возникают сжимающие или растягивающие термические внутренние напряжения. Причиной сварочных деформаций может быть связь наплавленного металла с основным металлом, который остается в неизменном объеме и противодействует усадке. В сварном соединении возникают продольные и поперечные внутренние напряжения.

**Математическое моделирование.** После проведенного эксперимента было предложено дальнейшее исследование сварочных деформаций путем математического моделирования методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS [5, 6].

Результаты решений показали распределение температур в пластине, распределение остаточных напряжений после остывания, общий характер изменений и перемещений в пластине (рис. 3 а, б).

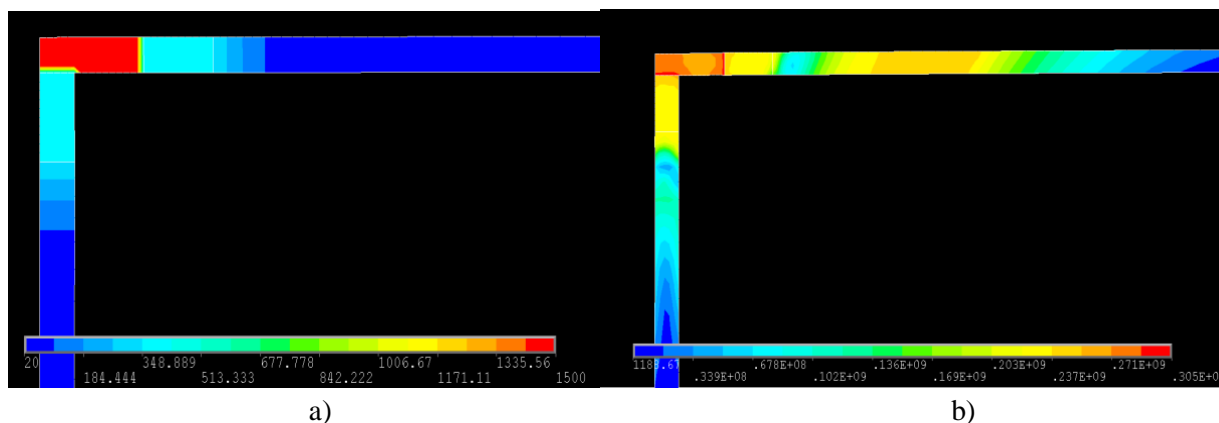


Рис. 3. Характер изменений в пластине:

а — распределение температур; б — распределение остаточных напряжений

В целом перемещения в экспериментальной пластине схожи с перемещениями при математическом моделировании и составляют порядка 6 мм (рис. 4).



Рис. 4. Общий характер перемещений

Таким образом, построенную модель можно применять для прогнозирования возникающих сварочных деформаций.

Это в последующем позволяет перейти от натурального эксперимента к работе с использованием математических моделей.

**Конструктивно-технологическое изменение.** Для того чтобы свести к минимуму перемещения в соединении труба-тонкий лист, было принято решение о конструктивно-технологических изменениях данного соединения. Предложено на расстоянии 15 мм от внешнего диаметра трубы построить радиальную канавку радиусом 5 мм, которая должна служить деконцентратором напряжений (на производстве можно получить путём штамповки) (рис. 5).

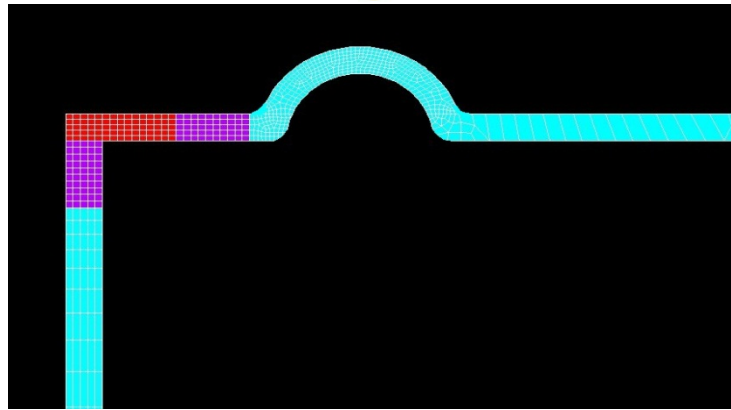


Рис. 5. Построение радиальной канавки

Это конструктивное изменение теоретически должно уменьшить влияние усадочных сил, возникающих в шве, на тонкостенную панель, что позволит снизить временные и остаточные деформации панели до уровня, позволяющего применять сварку неадаптивными автоматами или роботами.

После решения данной задачи МКЭ [6] были получены результаты, проиллюстрированные на рис. 6 (а, б).

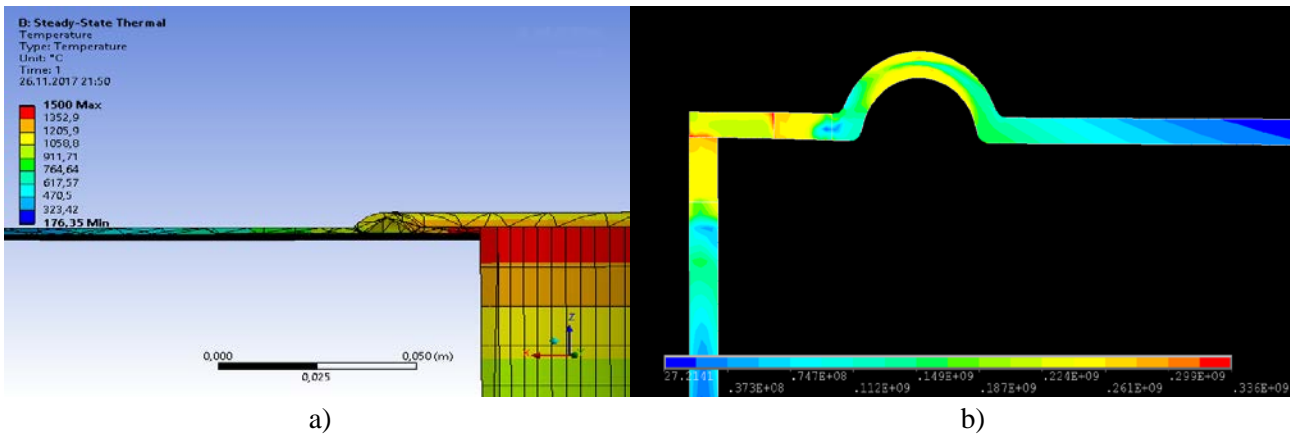


Рис. 6. Результаты эксперимента после построения радиальной канавки:  
а — распределение температур; б — распределение остаточных напряжений

Общий характер перемещений и деформаций в пластине составил порядка 0,14 мм. Для наглядности на рис. 7 а и б размеры увеличены в 10 раз.

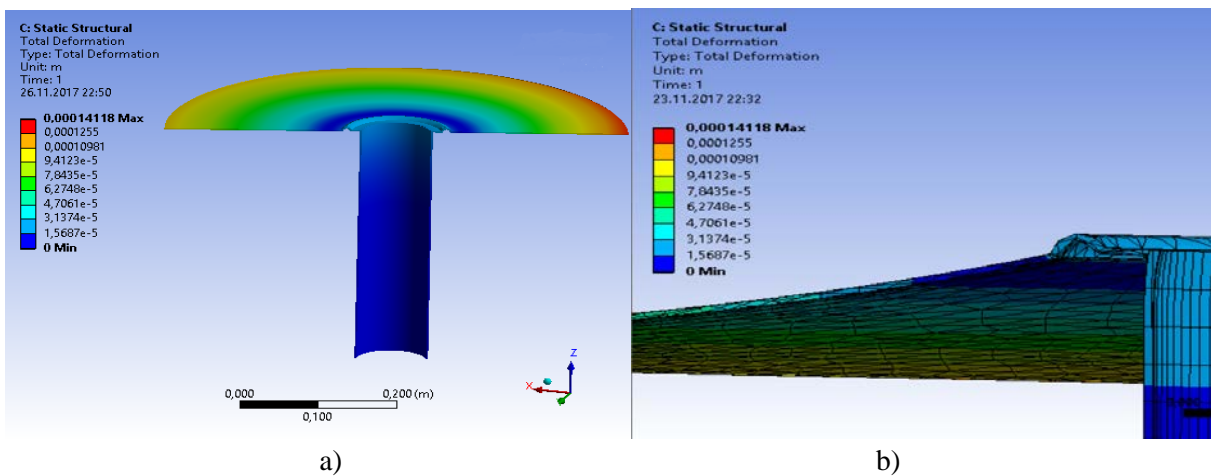


Рис. 7. Характер перемещений:  
а — общий вид; б — размеры увеличены в 10 раз

Данный результат подтверждает, что внесенное конструктивно-технологическое изменение в пластине значительно снижает сварочные деформации.

**Заключение.** Разработанный конструктивно-технологический способ выполнения круговых сварных соединений на тонких пластинах позволил успешно решить большинство вопросов, связанных с уменьшением деформаций и перемещений в зоне круговых швов. Помимо этого, он обеспечил возможность автоматизации сварочного процесса, тем самым уменьшив ручной труд, повысил производительность и качество сварных швов и конструкции в целом.

#### **Библиографический список**

1. Грицына, А. Н. Конструктивно-технологическое проектирование тонкостенных конструкций с учётом их сварки на роботизированных комплексах / А. Н. Грицына, С. В. Тихонов, А. Г. Артёменко // Сварочное производство: сб. тр. молодых учёных. — Ростов-на-Дону : Изд-во ДГТУ. — 2008. — С. 97–103.
2. Винокуров, В. А. Сварочные деформации и напряжения / В. А. Винокуров. — Москва : Машиностроение, 1968. — 236 с.
3. Неровного, В. М. Теория сварочных процессов: учеб. для вузов / В. М. Неровного. — Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. — 752 с.
4. Людмирский, Ю. Г. Роботизация производства маложестких сварных конструкций / Ю. Г. Людмирский. — Ростов-на-Дону : Изд-во СКНЦ ВШ, 2002. — 140с.
5. Иванов, Д. В. ANSYSWORKBENCH: метод. Указания / Д. В. Иванов, А. В. Доль. — Саратов :Изд. ЮУрГУ, 2016. — 56 с.
6. Басов, К. А. ANSYS в примерах и задачах / К. А. Басов. — Москва : Компьютер пресс, 2002. — 224 с.