

В.Г. Немтин, М.И. Кареев, М.А. Кищенко

(г. Санкт-Петербург, Научно-исследовательский институт МТО ВС РФ)

V.G. Nemtin, M.I. Kareev, M.A. Kishchenko (Saint-Petersburg, Research Institute of MTO
RF Armed Forces)

**ПОЛУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ
В КОМБИНИРОВАННЫХ СОЕДИНЕНИЯХ
«ТРУБА–ТРУБНАЯ РЕШЕТКА» КОЖУХОТРУБЧАТЫХ
ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ**

OBTAINING REGULARITIES OF DISTRIBUTION OF RESIDUAL STRESSES
AND DEFORMATIONS IN COMBINED COMPOUNDS
“PIPE – TUBE GRILLE” OF SHELL-TUBED HEAT EXCHANGE UNITS

В данной статье описывается процесс моделирования в программе ANSYS остаточных напряжений и деформаций в комбинированных соединениях «труба–трубная решетка», выполненных дуговой сваркой и сваркой трением, возникающих в теплообменных аппаратах из-за разности температур в кожухе и трубах.

This article describes the modeling process in the ANSYS program of residual stresses and strains in combined connection «pipe-tube grid» joints performed by arc welding and friction welding that occur in heat exchangers due to the temperature difference in the casing and pipes.

Ключевые слова: кожухотрубчатый теплообменный аппарат, трубный пучок, узел «труба–трубная решетка», комбинированное соединение, ротационная сварка трением, сталь 12X18H10T.

Keywords: shell-and-tube heat exchanger, tube bundle, "pipe-tube grid" unit, combined connection, rotary friction welding, steel 12X18H10T.

В теплообменных аппаратах из-за разности температур в кожухе и трубах возникают температурные напряжения. Это явление объясняется тем, что кожух и трубы теплообменного аппарата при его работе претерпевают разные температурные деформации, так как температура кожуха близка к температуре теплоносителя, циркулирующего в межтрубном пространстве, а температура труб – к температуре теплоносителя с большим коэффициентом теплоотдачи. Возникающие при этом напряжения могут вызвать устойчивые деформации или даже разрушение конструкции [1].

В связи с этим при проведении моделирования напряженно-деформированного состояния комбинированных соединений учитывались температурные усилия и возникающие при этом температурные напряжения в трубах и межтрубном пространстве, а также давление рабочей среды. В качестве прототипов были выбраны соединения, выполненные дуговой

сваркой (ДС) и сваркой трением (СТ), которые представлены на рисунке 1 [2].

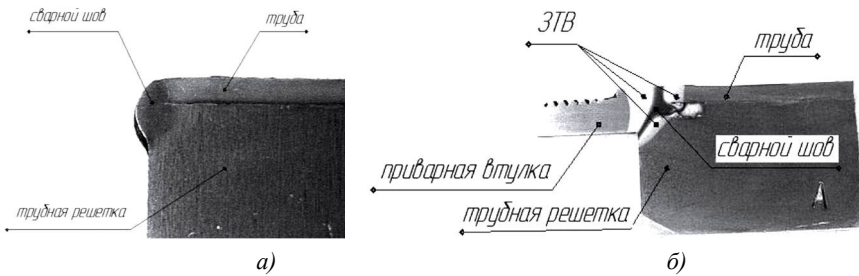


Рис.1. Макроструктура сварных соединений, выполненного ДС:
а – образец, выполненный ДС; б – образец, выполненный СТ

Построение 3D моделей комбинированных соединений, выполненных дуговой сваркой и сваркой трением, было произведено в программе SolidWorks (рисунок 2).

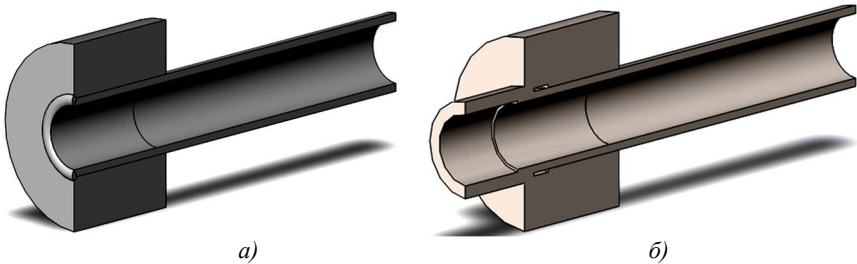


Рис.2. Комбинированные соединения «труба–трубная решетка»:
а – модель, выполненная ДС; б – модель, выполненная СТ

Моделирование напряженно-деформированного состояния производилось с помощью программы ANSYS. Сначала в библиотеке материалов была создана сталь 12Х18Н10Т. В качестве свойств материала были использованы данные для этой стали в соответствии с ГОСТ 9940-8. Вводились значения теплоемкости, теплопроводности, коэффициента температурного расширения, коэффициента Пуассона, модуля упругости, задавались кривые деформирования металла при различных температурах.

Далее в подпрограмму Steady-State Thermal были импортированы созданные модели комбинированных соединений. Для них был выбран материал 12Х18Н10Т и построены расчетные сетки. После этого были добавлены соответствующие температуры: в трубах 100 °С, в межтрубном пространстве 50 °С. В результате были получены температурные поля. Затем

в подпрограмму Static Structural в качестве нагрузки были импортированы полученные температурные поля, где были добавлены следующие нагрузки:

- $P_T = 1,6$ МПа - давление в трубах;
- $P_K = 2,5$ МПа - давление в межтрубном пространстве;
- $Q_t = 27000$ Н - температурное усилие;
- $Q = 2000$ Н - осевое усилие от давлений в трубном и межтрубном пространствах [3].

Для ограничения перемещений и поворотов соединения были также приложены граничные условия (ограничение перемещений) к наружным граням трубной решетки.

В результате были получены поля эквивалентных напряжений (рисунки 3, 4) для соединений, выполненных дуговой сваркой и сваркой трением.

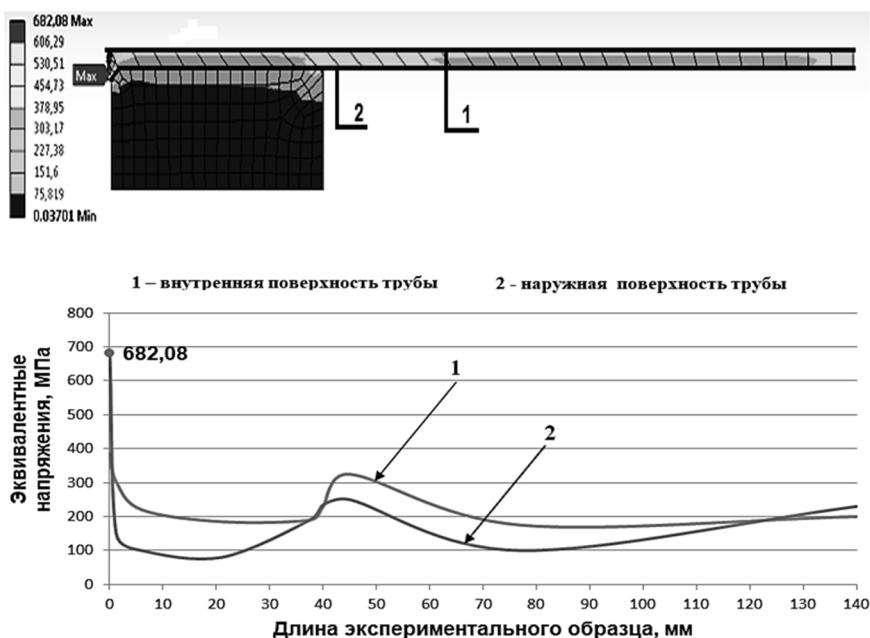


Рис.3. Поле эквивалентных напряжений для модели, выполненной ДС

Максимальное значение эквивалентных напряжений для модели, выполненной дуговой сваркой (рисунок 3), на 20 МПа превышает максимальное значение эквивалентных напряжений для модели, выполненной сваркой трением (рисунок 4). Как у модели, выполненной дуговой сваркой (рисунок 3), так и у модели, выполненной сваркой трением (рисунок 4), наибольшие напряжения возникают в зоне сварного соединения, однако у модели, выполненной сваркой трением, возникают дополнительные

напряжения на внутренней поверхности трубы в зоне комбинированного соединения «труба–трубная решетка».

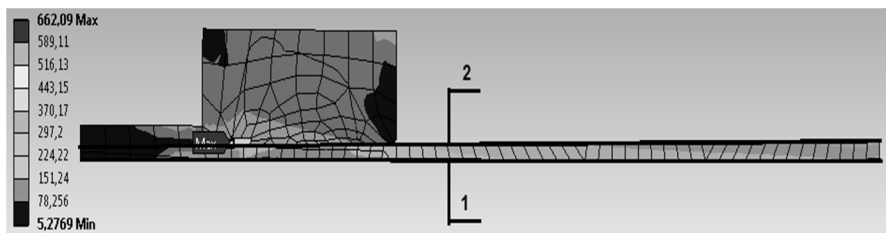


Рис. 4. Поле эквивалентных напряжений для модели, выполненной СТ

Таким образом, высокое качество сварных соединений является преимуществом сварки трением по сравнению с дуговыми способами сварки.

Список литературы

1. Семакина, О.К. Машины и аппараты химических производств. Учебное пособие. / О. К. Семакина. – Томск: ТПУ, 2003. – 118 с.
2. Коррозионная стойкость сварного соединения узла «труба – трубная решетка», полученного сваркой трением / Р.Г. Ризванов [и др.] // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2017. – Т. 9, № 4. – С. 97-115.
3. Кареев, М.И. Сравнительный анализ результатов моделирования напряженно-деформированного состояния узла «труба–трубная решетка» кожухотрубчатых теплообменных аппаратов / М.И. Кареев // Современные технологии в нефтегазовом деле. – 2019. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2019. – Т. 2. – С. 150-156.

Материал поступил в редколлегию 04.10.19.