Н.П. Борисов, А.М. Файрушин, А.Р. Хамидуллин (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРИВАРКИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СКОБ

Nikita P. Borisov, Ayrat M. Fayrushin, Aynur R. Hamidullin (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation)

IMPROVEMENT OF THE WELDING PROCESS INSULATION BRACKETS

Введение

При эксплуатации резервуара большую роль играет теплоизоляция, которая предупреждает появление конденсата, поддерживает необходимую температуру внутри ёмкости, снижает количество испарений, предотвращает появление наледи. Теплоизоляция резервуаров достигается благодаря установке особенных теплоизоляционных материалов, затрудняющих теплообмен. Для установки теплоизоляции изготавливают и выпускают готовые элементы, которые необходимо закрепить на изолируемую поверхность, что положительно сказывается на производительности труда. На сегодняшний день для таких работ в большинстве случаев используется ручная дуговая сварка, покрытая электродом. Данный способ не удовлетворяет изготовителей по ряду причин: малая производительность работы, потребность присадочных материалов при сварке, необходимость более квалифицированных сварщиков, а также сама конструкция скобы, которая по требованиям стандарта она должна иметь отверстие.

Цели и задачи

Совершенствование процесса приварки скоб, используемых для крепления теплоизоляционного материала к корпусу резервуара.

Background

During the operation of the tank, thermal insulation plays an important role, which prevents the appearance of condensation, maintains the temperature inside the tank, reduces the amount of vapor, and prevents the appearance of ice. Thermal insulation of tanks provides the installation of special thermal insulation materials that impede heat transfer. To install thermal insulation, ready-made elements are manufactured and produced, which must be fixed on the insulated surface, which has a positive effect on labor productivity. Today, for such work, in most cases, manual arc welding with an electrode is used. This method does not satisfy manufacturers in terms of production technology, it consumes qualified specialists and the design of the bracket itself, according to the requirements of the standard, it must have a hole.

Aims and Objectives

To improve the process of welding the staples used to fasten the heat-insulating material to the tank body.

Результаты

Предложена технология приварки теплоизоляционных скоб с помощью модуля контактной односторонней точечной сварки, на примере модуля с линейным ходом плеча TECNA 4040.

Произведен расчет напряженно-деформированного состояния модели для оценки прочности сварного узла в случае замены дуговой сварки на контактную.

Results

Variants of welding of heat-insulating brackets using the TECNA 4040 linear-stroke resistance spot welding module are considered.

The stress-strain state of the model is calculated using one-sided spot machines.

Ключевые слова: скоба; теплоизоляция; резервуар; крепление теплоизоляции

Key words: bracket; thermal insulation; reservoir; fastening of thermal insulation

Вопросы изучения процесса приварки скоб, используемых для крепления теплоизоляционного материала к корпусу резервуара рассматривались в работах А.Р. Хамидуллина, С.С. Казакова, В.А. Бардина и др.

В работе [1] рассмотрен один из методов крепления теплоизоляции к резервуару. Тепловая изоляция насаживается на штыри, которые загибают, и далее крепится теплоизоляция. Для этого использовались нестандартные крепежи, которые приваривались к поверхности резервуара с определенным шагом, зависящим от конструкции резервуара. Недостатком данного метода следует назвать сильное отклонение от государственного стандарта. Также такие крепежи мало распространены в нашей стране.

В работе [2] рассматривается вариант приварки теплоизоляционных скоб при помощи EWM - spot Arc. Плюсы при сварке данным способом: высокое качество сварного соединения, малые деформации вследствие уменьшения времени сварки. Но существенным недостатком является ограничение толщины свариваемых деталей - не более 2,5 мм.

В настоящее время на предприятиях вследствие большого объема работы, обу-

словленного количеством привариваемых скоб, и сжатых сроков сдачи часто случаются дефекты сварных швов, что, в свою очередь, напрямую влияет на качество и производительность. Основными дефектами сварных соединений являются: прожоги, непровары, неправильная форма шва, разбрызгивание металла (рисунок 1).

Для решения данных проблем предлагается использовать модуль контактной точечной сварки с линейным ходом плеча TECNA 4040 (рисунок 2).

Преимущества рассматриваемого модуля:

- встроенный блок управления позволяет регулировать все аспекты сварочного процесса;
- встроенный трансформатор с жидкостным охлаждением способствует снижению энергозатрат на сварку;
- максимальное снижение шума.

Использование для приварки теплоизоляционных скоб технологии односторонней контактной сварки значительно повысит производительность и качество работ, исключит необходимость приобретения сварочных материалов (сварочные электроды, сварочная проволока).

Рисунок 1. Дефекты сварных швов скоб.

Рисунок 2. Модуль контактной точечной сварки с линейным ходом плеча TECNA 4040

Однако следует учитывать, что для реализации сварочных работ непосредственно на объекте потребуется специальная оснастка для крепления модуля.

Также остается открытым вопрос по прочности самой теплоизоляционной скобы после контактной сварки. В отличие от дуговой сварки скоба будет иметь на поверхности небольшое углубление, сформированное инструментом на стадии создания ковочного усилия, что может негативно сказаться на прочностных характеристиках металла скобы. В связи с этим в данной работе производится *сравнительная оценка напряженно-деформированного состояния металла теплоизоляционных скоб, полученных дуговой и контактной сваркой.*

При проведении численного анализа не были учтены остаточные напряжения, возникающие в процессе сварки. Численный анализ проводился в программном комплексе ANSYS, свойства материала задавались в соответствии с механическими характеристиками стали 09Г2С.

Линейный статический конструкционный анализ позволяет найти отклик узла скоба - корпус на статическую нагрузку. При этом вычисляемыми параметрами являются смещения, силы реакции, напряжения и деформации.

Для статического анализа конструкции справедливо выражение:

$$[K]\{x\} = \{F\}, \quad (1)$$

где $[K]$ - матрица масс;

$\{x\}$ - перемещение;

$\{F\}$ - сила.

Допущения линейного конструкционного статического анализа.

$[K]$ (жесткость) является постоянной:

- используется линейная упругая модель поведения материалов;
- используется теория малых перемещений;
- могут быть включены в расчет некоторые нелинейные граничные условия.

$\{F\}$ (приложенная сила) является статической нагрузкой:

- не рассматриваются силы, изменяющиеся во времени;
- не рассматриваются явления инерции (масса, демпфирование).

Геометрическая модель представляет собой скобу по ГОСТ 17314-81 для крепления изоляции исполнения С2 (рисунок 3) и прямоугольную часть обечайки размером 100 × 100 мм, к которой она будет крепиться. В местах сварных швов имеется усиление диаметром 8 мм и высотой 1 мм, так как при контактно-точечной сварке в месте контакта образуется локальное углубление [3].

Сварному шву при приварке скоб требуется выдержать нагрузку на срез не менее 1200 Н. При этом приварные и съемные детали не должны обладать дефектами [3].

Геометрическая модель показана на рисунке 4.

Для расчета напряжений и деформаций CAE-программы используют метод конечных элементов. Задача решается дискретно, при этом геометрическая модель разбивается на элементарные объемы.

Расчет на сетке с малой плотностью дает заниженные результаты по сравнению с действительными значениями. Уменьшение размеров элементов до некоторого оптимального уровня обеспечивает нужную детализацию расчетной модели и получение более достоверных результатов.

Сетка нерегулярная, так как геометрическая модель скобы имеет неправильную форму (рисунок 5).

Для моделирования соединения скобы с обечайкой необходимо задать два контакта:

- неразрывный контакт - в области сварного шва, где не предполагается отделение скобы от обечайки ни при каких обстоятельствах (рисунок 6);
- стандартный контакт - между нижней поверхностью скобы (за исключением зоны сварного соединения) и наружной поверхностью обечайки, где допускается проскальзывание или отделение (рисунок 7).

Рисунок 3. Конструкция и размеры скобы C2

Рисунок 4. Геометрическая 3D модель

Рисунок 5. Сетка конечных элементов

Рисунок 6. Неразрывный контакт в зоне сварного соединения

Рисунок 7. Стандартный контакт

В данной работе задавались следующие свойства материала: Модуль упругости $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па, коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$, что соответствует стали 09Г2С.

В конструкционном анализе существуют 4 типа нагрузок.

Инерционные действуют на всю конструкцию, при этом требуется задавать плотность для расчета массы.

Конструктивными являются силы и моменты, действующие на элементы конструкции.

Закрепления представляют собой ограничения степеней свободы, исключая движение объектов.

Тепловые нагрузки - это нагрузки, которые приводят к неоднородному распределению температуры и тепловому расширению конструкции.

Для расчетов в данной работе были заданы следующие условия:

- симметрия в направлении оси X на поверхностях, расположенных в плоскости YZ (с координатой $X = 0$);

- ограничение всех степеней свободы (перемещений) на остальных торцевых поверхностях пластины.

Для того, чтобы проверить способен ли сварной шов выдержать усилие по ГОСТ 17314-81, равной 1200 Н, была приложена распределенная нагрузка к торцевой поверхности скобы (рисунок 8).

Величина нагрузки принята равной

$$\frac{1200 \text{ Н}}{1,38 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2} = 8,62 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Рисунок 8. Приложенная нагрузка к торцевой поверхности скобы

Расчетные результаты обычно представляются на деформированной конструкции в виде изопараметрических контуров или векторов. С помощью контекстных инструментов можно изменять масштаб отображения деформаций, шкалу или способ представления.

В результате расчета были определены перемещения, напряжения и деформации,

возникающие в зоне приварки скобы под действием приложенных нагрузок.

На рисунке 9 показаны поля напряжений в скобе, которые были получены в результате расчета методом конечных элементов. Согласно расчетам было получено максимальное напряжение величиной 22,4 МПа, распределенной на поверхности контакта скобы с обечайкой вблизи сварного шва.

Рисунок 9. Распределение эквивалентных напряжений в скобе при дуговой сварке

Так как разрабатываемая технология контактной точечной сварки с линейным ходом плеча не предусматривает использование присадочной проволоки, сварное соединение вместо усиления будет иметь небольшую вогнутость не более 0,5 мм. Для оценки напряженного состояния такого соединения были проведены расчеты, аналогичные опи-

санным выше. Геометрическая модель была изменена, и вместо усиления высотой 1 мм было построено углубление диаметром 8 мм и глубиной 0,5 мм. Свойства материала и граничные условия те же.

На рисунке 10 показаны поля напряжений в скобе, имеющей вогнутость в месте приварки.

Рисунок 10. Распределение эквивалентных напряжений в модели с вогнутостью, возникающей при контактной сварке

Максимальное напряжение для данной модели составляет 20,5 МПа, распределенной на поверхности контакта скобы с обечайкой вблизи сварного шва. Данные нагрузки значительно ниже прочностных свойств используемого металла, что говорит о возможности применения данной технологии сварки без риска разрушения сварного узла. Однако можно также отметить, что область металла, испытывающего максимальные нагрузки, незначительно больше чем при дуговой сварке.

Выводы

В данной работе была произведена оценка напряженно-деформированного состояния теплоизоляционной скобы в вариантах крепления дуговой и контактной сваркой.

Расчет показал, что соединение скобы с корпусом без усиления способно выдерживать требуемую по ГОСТ нагрузку в 1200 Н и

по напряженному состоянию практически не отличается от соединения, выполненного по существующей технологии. Показаны области концентрации максимальных напряжений, определена величина внутренних напряжений.

Установлена возможность применения технологии контактной односторонней сварки для крепления теплоизоляционных скоб, которая позволит:

- повысить производительность работ;
- исключить необходимость применения расходных сварочных материалов (электрод, сварочная проволока, газ);
- уменьшить затраты времени на изготовление скоб из-за ненужности пробивки отверстий в них;
- повысить качество сварных соединений (вне зависимости от квалификации сварщика).

Список литературы

1. Бардин В.А., Казаков С.С. Проектирование и монтаж тепловой изоляции резервуаров Братского целлюлозно-картонного комбината // Промышленный электрообогрев и электроотопление. 2017. № 1. URL: <https://sst.ru/press/expert-articles/design-and-installation-of-thermal-insulation-of-tanks-the-bratsk-pulp-and-paperboard-mill/> (дата обращения: 28.09.2020).
2. Хамидуллин А.Р. Совершенствование процесса приварки теплоизоляционных скоб // Наука и образование: проблемы и стратегии развития. 2019. № 1 (5). С. 96-98.
3. ГОСТ 17314-81. Устройства для крепления тепловой изоляции стальных сосудов и аппаратов. Конструкция и размеры. Технические требования. М.: ИПК Издательство стандартов, 2005. 26 с.

References

1. Bardin V.A., Kazakov S.S. Proektirovanie i montazh teplovoi izolyatsii rezervuarov Bratskogo tsellyulozno-kartonnogo kombinata [Design and Installation of Thermal Insulation of Tanks at the Bratsk Pulp and Cardboard Mill]. *Promyshlennyye elektroobogrev i elektrootopleniye - Industrial Electric Heating*, 2017, No. 1. Available at: <https://sst.ru/press/expert-articles/design-and-installation-of-thermal-insulation-of-tanks-the-bratsk-pulp-and-paperboard-mill/> (accessed 28.09.2020). [in Russian].
2. Khamidullin A.R. Sovershenstvovanie protsesssa privarki teploizolyatsionnykh skob [Improving the Process of Welding Heat-Insulating Brackets]. *Nauka i obrazovanie: problemy i strategii razvitiya - Science and Education: Problems and Development Strategies*, 2019, No. 1 (5), pp. 96-98. [in Russian].
3. GOST 17314-81. Ustroistva dlya krepleniya teplovoi izolyatsii stal'nykh sosudov i apparatov. Konstruktsiya i razmery. Tekhnicheskie trebovaniya [State Standard 17314-81. Arrangements for Fostening Heat Insulation of Steel Vessels and Apparatus. Construction and Dimensions. Technical Requirements]. Moscow, IPK Izdatel'stvo standartov Publ., 2005. 26 p. [in Russian].

Авторы

• Борисов Никита Петрович
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Студент кафедры «Транспорт и хранение нефти
и газа»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: nakit0007@mail.ru

• Файрушин Айрат Миннуллович, канд. техн. наук,
доцент
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Заведующий кафедрой «Оборудование
и технологии сварки и контроля»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: otsk@rusoil.net

• Хамидуллин Айнура Ринатович
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Студент кафедры «Оборудование и технологии
сварки и контроля»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: ainur.ham@mail.ru

The Authors

• Borisov Nikita P.
Ufa State Petroleum Technological University
Student of Transport and Storage of Oil and Gas
Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
e-mail: nakit0007@mail.ru

• Airat Fairushin M., Candidate of Engineering
Sciences, Associated Professor
Ufa State Petroleum Technological University
Head of Equipment and Technologies for Welding
and Control Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
e-mail: otsk@rusoil.net

• Khamidullin Ainur R.
Ufa State Petroleum Technological University
Student of Equipment and Technologies for Welding
and Control Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
e-mail: ainur.ham@mail.ru