

УДК 621.79

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА РАБОТЫ УТОРНОГО УЗЛА ВЕРТИКАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА

Горшкова О.О.

*ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», филиал в г. Сургуте, Сургут,
e-mail: gorchkovaoksana@mail.ru*

В статье рассмотрен рулонный метод изготовления вертикальных резервуаров как наиболее эффективный; определены основные виды дефектов вертикальных стальных резервуаров на основе систематизации статистических данных; выделены области резервуара, получающие наибольшее количество повреждений в процессе эксплуатации; рассмотрена конструкция уторного узла и обозначены причины снижения ресурса в зоне уторного узла; определены наиболее частые дефекты в сварных соединениях уторных узлов, среди которых наиболее часто встречаются поры, непровары, шлаковые включения. Обозначены параметры скоса кромок и катета углового шва при сварке таврового соединения уторного шва в зависимости от толщины металла. Определено, что увеличение зазора в совокупности с возникающими в процессе эксплуатации напряженно-деформированными состояниями резервуара приводит к уменьшению ресурса работы уторного узла. Обозначены параметры скоса кромок и катета углового шва при сварке таврового соединения уторного шва в зависимости от толщины металла. Выделены способы обработки, способствующие снижению уровня сварочных напряжений и деформаций в сварном шве по окончании процесса сварки уторного узла, а именно термическая, вибрационная, ультразвуковая обработки. Сопоставлены по эффективности выделенные способы, определены их достоинства и недостатки. Ультразвуковая и вибрационная обработка определены как наименее трудо- и энергозатратные, но термообработка обеспечивает наилучшие результаты по снижению остаточных напряжений, защите от коррозии, что определено посредством испытания образцов на малоцикловую усталость при помощи разрывной машины.

Ключевые слова: вертикальный стальной резервуар, уторный узел, тавровое соединение, остаточные напряжения, термическая обработка, ультразвуковая обработка, вибрационная обработка

INCREASING THE SERVICE LIFE OF THE UTOR NODE OF THE VERTICAL TANK

Gorshkova O.O.

Industrial University of Tyumen, branch in Surgut, Surgut, e-mail: gorchkovaoksana@mail.ru

The article considers the roll method of manufacturing vertical tanks as the most effective; the main types of defects of vertical steel tanks are determined based on the systematization of statistical data; the areas of the tank receiving the greatest amount of damage during operation are highlighted; the design of the uitor node is considered and the causes of resource reduction in the zone of the uitor node are identified; the most frequent defects in the welded joints of the uitor are identified nodes, among which the most common are pores, non-vapors, slag inclusions. The parameters of the bevel of the edges and the angle seam catheter are indicated when welding the T-joint of the uitor seam, depending on the thickness of the metal. It is determined that the increase in the gap in combination with the stress-strain states of the reservoir arising during operation lead to a decrease in the service life of the uitor node. The parameters of the bevel of the edges and the angle seam catheter are indicated when welding the T-joint of the uitor seam, depending on the thickness of the metal. The processing methods that contribute to reducing the level of welding stresses and deformations in the weld at the end of the welding process of the uitor node, namely thermal, vibration, ultrasonic processing, are highlighted. The efficiency of the selected methods is compared, their advantages and disadvantages are determined. Ultrasonic and vibration treatment are defined as the least labor- and energy-consuming, but heat treatment provides the best results in reducing residual stresses, corrosion protection, which is determined by testing samples for low-cycle fatigue using a bursting machine.

Keywords: vertical steel tank, tractor unit, T-joint, residual stresses, heat treatment, ultrasonic treatment, vibration treatment

Система трубопроводного транспорта и хранения нефтепродуктов является частью топливно-энергетического комплекса страны и включает резервуары различного объема и типа, наиболее распространенными являются РВС (резервуары вертикальные стальные). Вертикальные резервуары являются опасными производственными объектами, аварии резервуаров опасны и могут быть причиной принесения большого экономического и экологического ущерба. Поэтому большое внимание уделяется вопросам безопасной эксплуатации РВС.

Цель исследования – определение оптимального способа обработки сварного шва уторного узла вертикального резервуара с целью снижения уровня сварочных напряжений и деформаций и увеличения ресурса его работы; определение наиболее часто возникающих дефектов в сварном шве уторного узла вертикального стального резервуара.

Материалы и методы исследования

В качестве материалов использованы результаты исследований особенностей технологии изготовления вертикальных

стальных резервуаров посредством рулонного метода (О.О. Горшковой [1], В.Я. Кононенко [2], Н.А. Юхина [3] и др.), результаты практического опыта применения данного способа изготовления вертикальных резервуаров и статистических исследований причин возникновения аварий резервуаров, причин снижения ресурса РВС [4–7], результаты испытаний образцов на малоцикловую усталость при помощи разрывной машины.

Применены следующие методы: теоретические (изучение, анализ и синтез литературы по рассматриваемой проблеме); эмпирические (изучение, анализ документации, сравнение данных существующих исследований, статистических данных и практического опыта), практические (испытание образцов на малоцикловую усталость при помощи разрывной машины).

Методы исследования позволили провести анализ, систематизацию и обобщение:

- существующих работ, исследований, практического опыта по технологии изготовления стальных вертикальных резервуаров рулонным методом;

- практического опыта по определению основных причин возникновения аварий резервуаров, выявления основных причин снижения ресурса РВС в зоне уторного узла;

- результатов испытаний образцов на малоцикловую усталость при помощи разрывной машины.

Результаты исследования и их обсуждение

Изготовление резервуаров осуществляется следующими методами: листовый, рулонный, комбинированный. Наиболее эффективным способом изготовления вертикальных резервуаров является рулонный метод, в процессе которого осуществляются следующие операции:

- изготовление полотнищ, являющихся основными составляющими РВС, на заводах-изготовителях с применением механизированной сварки;

- сворачивание изготовленных полотнищ в рулоны;

- транспортировка рулонов к месту эксплуатации различными видами транспорта;

- монтажные работы на месте эксплуатации, включающие сборку и сварку резервуара [1].

На рис. 1 представлен процесс изготовления вертикального стального резервуара.



Рис. 1. Процесс изготовления РВС

Рулонный способ предусматривает снижение объема сварочных работ в процессе монтажа резервуара, когда осуществляется соединение рулонных полотнищ-заготовок, изготовленных на заводах с применением механизированных способов сварки [2].

Систематизация статистики по виду основных дефектов РВС показывает, что 70% приходится на монтажные дефекты, 20% – это заводские дефекты и 10% – эксплуатационные (рис. 2).

Изучение существующих практических данных по авариям резервуаров позволяет констатировать, что основными являются хрупкое разрушение и конструктивные концентраторы, которые обусловлены различными причинами, в том числе и дефектами в сварных швах, при этом невысоким качеством сварных соединений обусловлено около 26% отказов РВС.

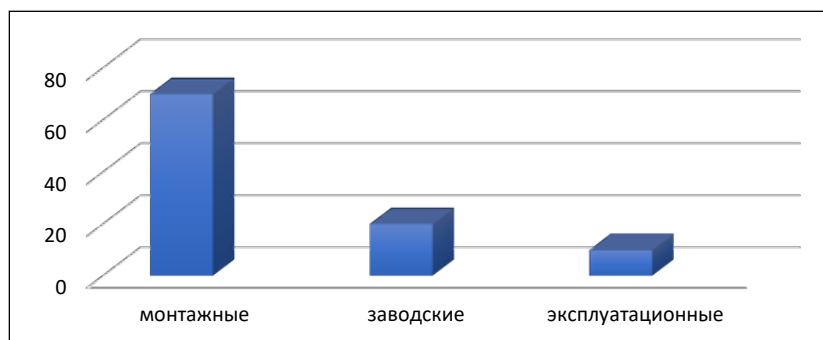


Рис. 2. Дефекты РВС

Герметичность всех основных узлов и соединений, формируемая на этапе сооружения, оказывает существенное влияние на работоспособность резервуара. Большое количество повреждений приходится на стенки резервуаров (более 47%) и уторный узел (более 21%) [3]. На рис. 3 представлена детальная диаграмма основных причин отказов резервуаров, составленная на основе статистических данных [3, 4, 7], среди которых выделяются следующие: дефекты сварки – 26%, низкая температура при эксплуатации – 15%, ошибки при проектировании – 14%, пожары – 12%, напряжения и деформации – 9%, коррозия – 6%, и на другие причины приходится 18% (дефекты формы, материал, испытания, неправильная эксплуатация)

Уторный узел РВС представляет собой место стыка стенки резервуара с днищем, является одним из самых нагруженных участков, находится в сложном напряженно-деформированном состоянии. В процессе эксплуатации на сварное соединение уторного узла оказывают влияние большие остаточные напряжения и различные виды

осадок оснований. Поэтому целесообразно рассмотреть виды дефектов сварных швов в уторном узле РВС и определить их влияние на прочностные свойства и долговечность сварных соединений.

Конструкция уторного узла выполняется на основании ГОСТ 31385-2016 Межгосударственный стандарт «Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов». Чертеж конструкции уторного узла представлен на рис. 4.

В процессе сварки уторного узла предусматривается выполнение двухстороннего таврового соединения стенки с днищем, при этом в зависимости от толщины металла определяется наличие скоса кромок, данные представлены в виде табл. 1.

Конструкция резервуара предусматривает, что в процессе эксплуатации должна быть обеспечена доступность для осмотра уторного узла. В случае применения изоляции стенки РВС она на 100–150 мм не должна доходить до дна, для избежания возникновения коррозионных процессов [4].



Рис. 3. Диаграмма причин отказов РВС

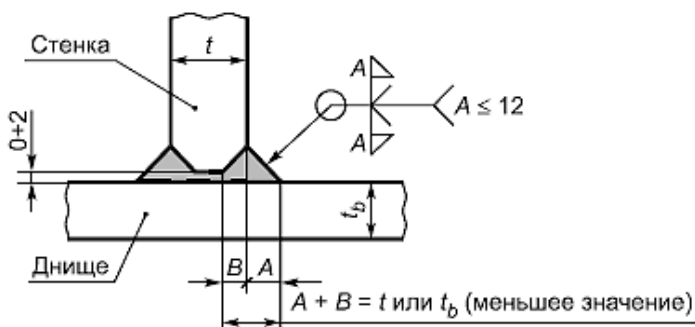


Рис. 4. Уторный узел

Таблица 1

Выбор скоса кромок и катета углового шва при сварке таврового соединения уторного шва

Вид соединения	Толщина листа (δ) металла стенки или днища	Скос кромок	Катет углового шва (К)	Примечание
Тавровое	$\delta \leq 12$ мм	без скоса кромок	$K = \delta$ более тонкого листа	
Тавровое	$\delta > 12$ мм	симметричный скос нижней кромки листа стенки	сумма К углового шва и глубины скоса = δ более тонкого из соединяемых листов	Глубина скоса = К углового шва, если притупление кромки < 2 мм

Примечание: δ – толщина листа металла, мм; К – катет шва, мм.

Таблица 2

Дефекты в сварных соединениях уторных узлов

Сталь: 09Г2С	Процентное соотношение дефектов в сварных швах, %			
	Толщина металла	поры	непровары	шлаковые включения
0–6 мм	35	31	24	10
6–12 мм	39	35	23	3
12–20 мм	35	49	14	2

Анализ практического опыта в качестве основных причин снижения ресурса РВС в зоне уторного узла позволяет выделить:

- технологический непровар,
- дефекты, возникающие в процессе сборки таврового соединения (увеличенный зазор, местные деформации),
- остаточные напряжения после сварки,
- дефекты сварного шва,
- коррозия, возникающая от воздействия окружающей среды.

Анализ статистических данных и практического опыта по наиболее частым дефектам в сварных соединениях уторных узлов [1] показывает, что основными дефектами являются: поры, непровары, шлаковые включения (данные по РВС из стали 09Г2С представлены в табл. 2).

При монтаже уторного узла предусматривается регламентированный зазор между стыкуемыми листами, размер которого не превышает 2 мм, что затрудняет монтаж стенки [5]. В случае увеличения зазора в месте соединения стенки с днищем, возникает увеличение напряжений в сварном шве, что его ослабляет. Применяют нерегламентированные техники для принудительного подтягивания окрайки (рис. 5).

Применение данного способа соблюдения зазора характеризуется формированием дополнительных напряжений в окрайке, что негативно сказывается на долговечно-

сти резервуара. Результаты практического опыта и существующих исследований, представленные в открытой печати, показывают следующее:

1) зазор не выдерживается примерно на 7% площади соприкосновения стенки и днища, что способствует увеличению остаточных напряжений в сварном шве, соответственно, ослабляет его, снижая ресурс работы уторного узла в пределах 4–5,5% [6];

2) применение техники подтяжки окрайки способствует повышению напряжений в зоне термического влияния сварного шва, причем они выше значений напряжений, возникающих при сварке с увеличенным зазором [7].



Рис. 5. Зазор в уторном узле

Таблица 3

Результаты испытаний образцов на разрывной машине

Испытания на разрывной машине	Образцы после термической обработки	Образцы после вибрационной обработки	Образцы после ультразвуковой обработки	Образцы без обработки
				—
Количество циклов до появления трещины	5300	3200	2080	1200
Повышение количества циклов до появления трещины, %	77%	62%	42%	—

Поэтому целесообразно процесс сварки уторного узла проводить с последующим снижением уровня остаточных напряжений. Для этого целесообразно применять дополнительную обработку сварного шва, а именно: термическую (подогрев, отпуск), вибрационную или ультразвуковую.

Для проведения эксперимента были взяты образцы в виде сваренных листов (тавровое соединение) из стали 09Г2С, толщиной 10 мм, с зазором 2,5 мм посредством полуавтоматической сварки в углекислом газе.

В качестве операции термообработки проводился высокий отпуск с нагревом до температуры 550 °С, после чего 3,5 ч происходила выдержка, охлаждение осуществлялось на воздухе. Процесс термообработки ориентирован на снятие остаточных напряжений в сварном шве, кроме того, способствует защите от коррозии. Обработка посредством ультразвука частотой 25–27 кГц, амплитудой 35 мкм осуществлялась на установке «Шмель» ИЛ100-16. Вибрационная обработка на стенде производилась с соблюдением следующих параметров: частота 50 Гц, амплитуда колебаний 1 мм.

После проведения различных видов обработки образцы подвергались испытанию на разрывной машине. Для чистоты эксперимента исследованию также были подвержены образцы, которые не подвергались обработке. Режимы работы разрывной машины: нагрузка 10 кН, частота 0,3 Гц, характер нагружения – мягкий осесимметричный, амплитуда напряжений была постоянной, при изменении амплитуды деформаций в зависимости от количества циклов.

Сравнительная характеристика результатов применения различных способов обработки посредством испытания образцов на малоцикловую усталость при помощи разрывной машины представлена в табл. 3.

Следует отметить, что термообработка является весьма трудоемким процессом, учитывая габариты резервуара, ее проведение является и достаточно энергозатратным процессом. Поэтому наиболее целесообразны для снятия внутренних напряжений вибрационный или ультразвуковой методы, которые также способствуют повышению прочности, снятию остаточных напряжений в зоне термического влияния сварного шва уторного узла вертикального резервуара.

Заключение

Таким образом, на уторный узел РВС приходится большое количество повреждений. В процессе сборки и сварки уторного узла увеличение зазора между стенкой и днищем способствует уменьшению резерва его работы. Поэтому для снижения уровня сварочных напряжений и деформаций процесс сварки уторного узла рационально проводить с последующим снижением уровня сварочных напряжений и деформаций посредством одного из видов обработки: термической, вибрационной, ультразвуковой. Последние два способа являются наименее трудо- и энергозатратными.

Список литературы

1. Горшкова О.О. Сварка металлоконструкций. Стерлитамак: АМИ, 2017. 103 с.
2. Технология производства резервуара вертикального на установке рулонирования, отличие от производства «зем-

ле» // Сталь партнер. [Электронный ресурс]. URL: <https://stalpartner.ru/news/tehnologiya-proizvodstva-rezervuara-vertikalnogo-na-ustanovke-rulonirovaniya-otlichie-ot-proizvodstva-na-zemle/> (дата обращения: 22.05.2022).

3. Васильев Г.Г., Катанов А.А., Семин Е.Е. Оценка долговечности уторных узлов вертикальных цилиндрических резервуаров в процессе эксплуатации // Безопасность и эксплуатационная надежность. 2012. № 4. С. 36–41.

4. Романчук А.С., Валеев Н.Н., Биккинин А.И., Чернятцева Р.Р. Совершенствование конструкции сварного уторного узла стального вертикального резервуара // Нефтегазовое дело. 2017. № 4. С. 42–54. URL: http://ogbus.ru/issues/4_2017/ogbus_4_2017_p42-54_RomanchukAS_ru.pdf (дата обращения: 22.05.2022).

5. Худяков О.В., Индин С.В. Особенности расчета уторного узла стальных вертикальных резервуаров в случае возрастания внутреннего давления // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2014. № 1 (13). С. 20–23.

6. Файрушин А.М., Валеев Н.Н., Романчук А.С., Биккинин А.И., Ямилев М.З. Модернизация уторного узла стального вертикального резервуара // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2016. № 2. С. 18–21.

7. Вержбицкий К.Д. Обеспечение ресурса вертикального стального резервуара путем дополнительной обработки сварных соединений нижнего пояса: дис ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2019. 103 с.