

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 621.791.92

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-157-164

*В.А. ШОРИН¹, В.С. ЛИТВИНОВ², А.А. САГДЕЕВ³, А.В. ШОРИН⁴,
Н.П. ГОРЛЕНКО⁵, Д.Ю. САРКИСОВ⁵, Ю.С. САРКИСОВ⁵,*

¹ООО «Техноконтроль»,

²ООО «Иркутский завод полимеров»,

³ООО «Транснефть надзор»,

⁴ООО «Титан»,

⁵Томский государственный архитектурно-строительный университет

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СТАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ

В работе приводится описание методики односторонней сварки стальных конструкций, основанной на рациональном выборе обратного угла элементов, свариваемых встык, из стали бельгийского производства, для изготовления укрупненных элементов днищ резервуаров, предназначенных для хранения фосфорной кислоты в условиях строительной площадки.

Экспериментальным путем установлено: наиболее целесообразным методом для обеспечения проектных геометрических форм резервуара, с минимальным напряжением структуры (номер материала 1.4507), является способ с предварительно выставленными для сварки листами днища под обратным углом 12°.

Показано, что предлагаемый метод обеспечивает повышение надежности резервуаров для хранения агрессивных продуктов, безаварийность и техническую безопасность резервуара в процессе его эксплуатации.

Поднята проблема необходимости проведения исследований по замещению импортной стали на отечественную либо по изготовлению резервуаров из альтернативных неметаллических материалов.

Ключевые слова: сварка; сталь; обратный угол; деформация; внутреннее напряжение; техническая безопасность; надежность; экологическая безопасность; контроль качества; альтернативный материал.

Для цитирования: Шорин В.А., Литвинов В.С., Сагдеев А.А., Шорин А.В., Горленко Н.П., Саркисов Д.Ю., Саркисов Ю.С. Повышение надежности стальных резервуаров для хранения фосфорной кислоты // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 6. С. 157–164.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-157-164

V.A. SHORIN¹, V.S. LITVINOV², A.A. SAGDEEV³, A.V. SHORIN⁴,
N.P. GORLENKO⁵, D.YU. SARKISOV⁵, Yu.S. SARKISOV⁵,

¹ООО "Tekhnokontrol",

²ООО "Irkutskii Zavod Polimerov",

³ООО "Transneft' Nadzor",

⁴ООО "Titan",

⁵Tomsk State University of Architecture and Building

RELIABILITY IMPROVEMENT OF STEEL STORAGE TANKS FOR PHOSPHORIC ACID

The paper describes the one-sided welding method for steel structures based on the rational choice of the inverse angle of butt-welded elements of Belgian steel for the manufacture of tank bottom elements of intended for phosphoric acid storage in a construction site. It is shown that the most expedient method for ensuring the design geometry of the tank with a minimum stress of 1.4507 of the material structure, is the bottom sheets preset for welding at a reverse angle of 12 degrees.

The proposed method improves the tank reliability for storing aggressive products, its trouble-free and technical safety during the operation. The need is shown for studying the replacement of imported steel by Russian steel to manufacture tanks from alternative non-metallic materials.

Keywords: welding; steel; reverse angle; deformation; internal stress; reliability; environmental safety; quality control; alternative material.

For citation: Shorin V.A., Litvinov V.S., Sagdeev A.A., Shorin A.V., Gorlenko N.P., Sarkisov D.Yu., Sarkisov Yu.S. Povyshenie nadezhnosti stal'nykh rezervuarov dlya khraneniya fosfornoj kisloty [Reliability improvement of steel storage tanks for phosphoric acid]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 6. Pp. 157–164.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-157-164

Введение

Фосфорная кислота – один из важнейших видов продукции химической промышленности. Основной сферой применения фосфорной кислоты остается производство фосфатных и сложных минеральных удобрений. Более 90 % фосфорсодержащей руды используется именно для этих целей. Среди других сфер применения можно отметить звероводство, пищевую, деревообрабатывающую и фармацевтическую промышленность, производство бытовой химии, стройматериалов и др.

Мировое производство фосфатных удобрений составляет 41 млн т из 190 млн т всего объема минеральных удобрений в мире. Лидером в этой области является Марокко. Россия остается одним из крупнейших мировых производителей фосфатных удобрений. Крупнейшими отечественными компаниями являются «Фосагро», «Еврохим», «Уралхим», «Акрон» [1].

Однако расширение мощностей у большинства производителей фосфатных удобрений ограничивается наличием дополнительных объемов сырья – фосфорсодержащих руд, а также резервуаров для хранения фосфорной кислоты с целью дальнейшего ее использования. К изготовлению стальных резервуаров

предъявляются высокие требования, т. к. они должны надежно обеспечивать длительную и экологически безопасную эксплуатацию объектов.

Однако технологии сварки материалов, обеспечивающих более высокие сроки безопасной, безаварийной эксплуатации резервуаров для хранения агрессивных продуктов, разработаны не в полном объеме. Стали импортного производства для таких изделий разработаны с учетом технологий сварки, отличной от технологии сварки российских стандартов (величина усиления сварного шва). При проведении сварочных работ по существующим у нас в настоящее время технологиям импортная сталь марки X2CrNiMoCuN25-6-3 (1.4507) подвергается существенной деформации. Наибольшая концентрация напряжений и деформаций возникает в зоне сварного шва и в зоне сплавления, при этом эквивалентные остаточные напряжения (по Мизесу) достигают предела текучести [2]. Остаточные сварочные напряжения снижают прочность и работоспособность конструкций и даже вызывают разрушение при отсутствии рабочих нагрузок. Появляющиеся в результате сварки остаточные деформации затрудняют процесс сборки крупногабаритных конструкций из отдельных сварных блоков, узлов и секций [3]. Следует учитывать возможное возникновение нежелательных напряжений при придании деталям, сегментам и всей конструкции в целом проектных геометрических форм, которые подвергаются деформациям в результате термических напряжений. Также следует строго соблюдать допуски на химический состав стали и сварочной проволоки; на величину угла разделки кромок; на ширину сварного шва; на высоту усиления сварного шва; на разброс величины погонной энергии сварки в условиях строительной площадки; на температуру, влажность воздуха, скорость ветра на стройплощадке и, конечно же, человеческий фактор. При охлаждении и затвердевании расплавленного металла шва происходит его усадка. Это объясняется тем, что при затвердевании увеличивается плотность металла, в результате чего его объем уменьшается. Вследствие неразрывной связи наплавленного металла с основным металлом, остающимся в неизменном объеме и противодействующим усадке, в сварном соединении возникают продольные и поперечные внутренние напряжения, вызывающие соответствующие деформации сварного соединения [1].

Технологии поперечной сварки листов шириной 1500 мм днищ резервуаров объемом до 400 м³ из материала (марка стали 1.4507) толщиной 14 мм, изначально учитывающей установленную опытным путем величину деформации свариваемых элементов, внутренние напряжения которых после проведения сварочных работ были бы минимизированы, сегодня не существует и в описаниях не встречается.

При сварке в жесткозакрепленных конструкциях величина термического напряжения может возрасти вследствие ограниченности ее свободного перемещения в процессе нагрева и охлаждения. Как следствие, могут возникать как сжимающие, так и растягивающие внутренние напряжения. Принимая во внимание, что вышеупомянутые резервуары предназначены для хранения агрессивного продукта, такие явления крайне нежелательны, т. к. приводят к уменьшению безопасного срока эксплуатации объекта в целом. Отсутствие возможности ведения сварки с двух сторон подготовленных и смонтированных на

фундаменте листов днища резервуара также является недостатком данной конструкции. Таким образом, проблема изготовления надежных резервуаров для хранения фосфорной кислоты является актуальной.

Целью настоящей работы является разработка метода поперечной сварки встык листов днища резервуаров, с предварительно учтенной величиной деформации, обеспечивающего повышение надежности стальных резервуаров для хранения фосфорной кислоты.

Методика эксперимента

При изготовлении резервуаров для хранения фосфорной кислоты использовали следующие материалы: импортная сталь из сплава X2CrNiMoCuN25-6-3 (европейское обозначение – номер материала 1.4507). Изготовитель: ArcelorMittal, место производства: Industeel Belgium, адрес: Rue de Chatelet 266 6030 Marchienne-au-Pont, сертификат № 2020-136644.

Для сварки применялась проволока марки ESAB OK Tigrod 2509 (хим. состав: C – 0,01 %; Si – 0,4 %; Mn – 0,4 %; P – 0,02 %; S < 0,01 %; Cr – 25,3 %; Ni – 9,6 %; Mo – 3,9 %; Cu – 0,1 %; N – 0,24 %; W < 0,1 %).

Методикой эксперимента предусматривались следующие технологические операции: подготовленные для экспериментальной сварки заготовки из листов марки стали 1.4507 толщиной 14 мм выставлялись под углами 3; 30 и 12° соответственно. Листы фиксировались на сварочном стенде, как и в первых двух экспериментах, жестко не закреплялись для обеспечения свободной деформации при сварке. Неподвижность также обеспечивалась массой самих свариваемых элементов. Далее проводилась просушка, подогрев и сварка по применяемой ранее технологической карте. Работы проводились на открытом воздухе, при естественном освещении, температуре окружающего воздуха ($+18 \pm 2$)°, относительной влажности (78 ± 2) %, в условиях, максимально приближенных к условиям строительной площадки. Сварка образцов проводилась ручной электродуговой сваркой в среде защитных газов (аргон). Для сварки применялась проволока марки ESAB OK Tigrod 2509.

Следует отметить: в условиях реальной строительной площадки (стесненность) при длине свариваемых элементов 4–6 пог. м величина погрешности угла свариваемых элементов составляет до 3°.

Во всех случаях применялось сварочное оборудование (источник тока MasterTig 3000 MLS; панель управления MTM Mastertig MLS).

Качество экспериментального сварного соединения проверялось с использованием ультразвукового метода на приборе А 1212; капиллярной дефектоскопии Spotcheck SK-3 (пенетранта SKL-SP2 очистителя SKS-S, проявителя SKD-52. Контроль герметичности проводился вакуумно-пузырьковым способом на течеискателе УКГВПС). Кроме этого, осуществлялся визуально-измерительный контроль.

Экспериментальная часть

Критерием качества сварки швов является наличие или отсутствие постсварочных деформаций в экспериментальных образцах. Эти данные представлены в таблице.

Влияние вида сварки на деформацию сварочных швов

Номер образца	Угол сварки	Номер рисунка	Наличие деформации
1	3	1	Присутствует
2	12	2	Отсутствует
3	30	3	Присутствует

Как видно из таблицы, первый образец имел недостаточную деформацию в пределах 13–15°; второй образец деформации практически не имел, погрешности в пределах измерений; третий образец имел повышенную недопустимую деформацию в пределах 15–18°.

Эти выводы подтверждаются данными, представленными на рис. 1–3.



Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3

Таким образом, впервые экспериментально доказано, что для обеспечения надежности и эффективности сварки днищ резервуаров больших объемов для хранения фосфорной кислоты сварку следует проводить под обратным углом 12°.

Из результатов проведенных исследований вытекает проблема импортозамещения бельгийской стали на отечественную продукцию либо разработки методов изготовления резервуаров из альтернативных материалов, например из неметаллических оксидсодержащих вяжущих веществ [4, 5].

Заключение

Экспериментально обоснована и решена задача изготовления резервуаров для хранения агрессивных продуктов, в частности для хранения фосфорной кислоты, на основе высококачественной импортной стали – номера материала 1.4507.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ким С.С. Мировой рынок фосфорной кислоты // *The Chemical Journal*. 2011. Декабрь. С. 20–24.
2. Сальманов И.Д., Барановский М.Ю., Тарасов В.А. Остаточные напряжения и деформации при сварке // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2014. № 12. С. 65–70.
3. Лихобабина Е.А. Прогнозирование остаточных сварочных напряжений и деформаций на стадии проектирования судового корпуса : автореферат диссертации кандидата технических наук / Дальневост. гос. техн. ун-т, 2002. 19 с.
4. Саркисов Ю.С. Вяжущие вещества на основе оксидных систем // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2013. № 1 (38). С. 108–118.

REFERENCES

1. Kim S.S. World market for phosphoric acid. *The Chemical Journal*. 2011. No. 12. Pp. 20–24.
2. Salmanov I.D., Baranovsky M.Yu., Tarasov V.A. Ostatochnye napryazheniya i deformatsii pri svarke [Residual stresses and deformations during welding]. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenii*. 2014. No. 12. Pp. 65–70. (rus)
3. Likhobabina E.A. Prognozirovaniye ostatochnykh svarochnykh napryazhenii i deformatsii na stadii proektirovaniya sudovogo korpusa: avtoreferat dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk [Prediction of residual welding stresses and deformations at design stage of the ship's hull. PhD Abstract]. *Far Eastern State Transport University*. 2002. 19 p. (rus)
4. Sarkisov Yu.S. Vyazhushchie veshchestva na osnove oksidnykh sistem [Oxide-based cementing agents]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2013. No. 1 (38). Pp. 108–118. (rus)

Сведения об авторах

Шорин Валерий Анатольевич, инженер службы контроля качества, ООО «Техноконтроль», 443093, г. Самара, ул. Мориса Тореза, 1а.

Литвинов Владимир Сергеевич, начальник отдела контроля качества технологических трубопроводов, резервуаров и вспомогательных систем, Департамент технического надзора и контроля качества ООО «Иркутский Завод Полимеров», 664007, г. Иркутск, пр. Большой Литейный, стр. 5.

Сагдиев Айдар Ахнафович, инженер по строительному контролю, ООО «Транснефть Надзор», Казанское управление строительного контроля, 420012, г. Казань, ул. Ершова, 2/1.

Шорин Андрей Валерьевич, региональный менеджер, ООО «Титан», 197110, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Зеленина, 24.

Горленко Николай Петрович, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.

Саркисов Дмитрий Юрьевич, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.

Саркисов Юрий Сергеевич, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.

Authors Details

Valery A. Shorin, Quality Control Engineer, ООО “Tekhnokontrol”, 1a, Moris Torez Str., Samara, Russia.

Vladimir S. Litvinov, Head of Department, ООО “Irkutskii zavod polimerov”, 5, Bolshoy Liteiny Ave., 664007, Irkutsk, Russia.

Aydar A. Sagdiev, Construction Control Engineer, ООО “Transneft’ nadzor”, 2/1, Ershov Str., 420012, Kazan, Russia.

Andrey V. Shorin, Regional Manager, ООО “Titan”, 24, Bolshaya Zelenina Str., 197110, Saint-Petersburg, Russia.

Nikolai P. Gorlenko, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia.

Dmitrii Yu. Sarkisov, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia.

Yurii S. Srkisov, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia.