

## К ШЕСТИДЕСЯТИЛЕТИЮ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕЗЕРВУАРОВ ИЗ РУЛОННЫХ ЗАГОТОВОК

А. Ю. БАРВИНКО, Ю. П. БАРВИНКО, В. М. ГОЛИНЬКО, кандидаты техн. наук  
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

В историческом аспекте рассмотрено развитие способа и технологии сооружения вертикальных цилиндрических резервуаров с применением крупногабаритных рулонных заготовок. Изложены его достоинства, недостатки и перспективы дальнейшего применения.

*Ключевые слова:* рулонная заготовка, сварные резервуары, монтажный шов, угловые деформации, геометрическая форма стенки

60 лет назад на нефтебазе в г. Киеве был сооружен первый вертикальный цилиндрический резервуар вместимостью  $V = 240 \text{ м}^3$ , днище и стенка которого смонтированы из рулонных заготовок путем принудительного их разворачивания на монтажной площадке. Идея монтажа стенки и днища резервуаров из габаритных для железнодорожных перевозок рулонных заготовок предложена в ИЭС им. Е. О. Патона д-ром техн. наук Г. В. Раевским в 1944 г. [1] и успешно воплощена в заводских условиях в 1948 г. при строительстве резервуара в г. Киеве (рис. 1). С учетом полученных результатов в г. Куйбышеве и г. Саратове были сооружены довольно простые по конструкции установки для изготовления рулонных заготовок с применением односторонней автоматической сварки под флюсом, что позволило уже в 1952 г. смонтировать способом рулонирования (новый способ сооружения резервуаров) 152 резервуара [2]. В разработке этого способа и его широком внедрении в производство принимали участие специалисты ИЭС им. Е. О. Патона, Министерства нефтяной промышленности и Минмонтажспецстроя СССР. В 1958 г. за разработку и внедрение индустриального способа строительства резервуаров для хранения нефти из плоских полотнищ, свариваемых в рулоны, А. Е. Игнатченко, Г. В. Раевскому (руководители работ), Е. К. Алексееву, В. М. Дидковскому, О. М. Иванцову, В. С. Корниенко, В. С. Ляхову, Б. В. Поповскому присудили Ленинскую премию.

Потребность страны после войны в кратчайшие сроки восстановить разрушенную промышленность способствовала интенсивному внедрению способа рулонирования. Фактически заново создавались резервуарные парки для хранения

нефти и нефтепродуктов. В условиях, когда остро ощущалась нехватка квалифицированных сварщиков и грузоподъемных кранов, когда из-за погодных условий зимой невозможно было выполнять сварочные и монтажные работы, разворачивание непосредственно на строительной площадке свернутой в рулон стенки (или ее части) и днища стало в резервуаростроении значительным шагом вперед.

Выполнение операций сборки и сварки основных конструкций на заводе с применением автоматической сварки под флюсом позволило существенно повысить их качество и сократить сроки изготовления. Монтажные организации успешно освоили сооружение из рулонных заготовок резервуаров вместимостью до 5 тыс.  $\text{м}^3$  включительно с толщиной стенки до 10 мм [3].

В 1960–1970-е годы в связи с резким увеличением объемов транспортировки сибирской нефти в европейскую часть Советского Союза способ рулонирования получил дальнейшее развитие. Правительством страны была поставлена задача в кратчайшие сроки построить заводы по переработке нефти и магистральные нефтепроводы для ее транспортировки, и на всех этих предприятиях необ-



Рис. 1. Первый сварной резервуар вместимостью  $240 \text{ м}^3$ , сооруженный способом рулонирования на нефтебазе Укрнефтеснаба в 1948 г. в г. Киеве



ходимо было смонтировать большие резервуарные парки вместимостью  $V = 5, 10, 20$  и  $50$  тыс.  $\text{м}^3$ . Изготовление рулонных заготовок с применением сталей повышенной и высокой прочности толщиной до  $17$  мм требовало создания нового поколения станов для их сварки и сворачивания, а также разработки технологии монтажа стенки резервуара значительной толщины.

На построенных новых станах операции подачи листа и сборки полотнищ были полностью механизированы. Технология двусторонней автоматической сварки при общем пневматическом прижиме кромок обеспечивала хорошее качество швов при толщине листов до  $17$  мм включительно без разделки кромок [3]. Только на одном заводе, оборудованном такими станами, в течение года можно было изготовить рулонные заготовки для  $240$  резервуаров  $V = 10$  тыс.  $\text{м}^3$  (рис. 2), что позволяло выполнять монтаж практически всех резервуаров вместимостью до  $50$  тыс.  $\text{м}^3$  включительно способом рулонирования.

В  $1970$ – $1980$ -е годы в период интенсивного строительства резервуаров большой вместимости из рулонных заготовок с применением сталей повышенной и высокой прочности стало очевидным отставание в проведении исследований по эксплуатационной надежности стенки рулонизируемых резервуаров в течение гарантированного срока эксплуатации ( $20$  лет). Как следствие, на в вертикальных монтажных стыках стенки многих резервуаров ( $V = 20$  и  $50$  тыс.  $\text{м}^3$ ) после  $10$ – $12$  лет эксплуатации стали появляться усталостные трещины. Основной причиной их возникновения были значительные угловые деформации [4] и малоцикловое нагружение стенки. Для резервуаров  $V = 20$  тыс.  $\text{м}^3$  разработана специальная инструкция усиления монтажных стыков стенки при появлении в них трещин [5]. Локальное усиление стенки предлагалось выполнять путем приварки в стыках горизонтальных ребер. Однако в условиях малоциклового нагружения это нередко приводило к разрушению угловых швов, с помощью



Рис. 2. Стан для производства крупных сварных рулонизируемых полотнищ, построенный на Новокузнецком заводе резервуарных металлоконструкций в  $1974$  г.

которых ребра крепились к стенке, поэтому от рекомендаций указанной инструкции вскоре отказались.

Угловые деформации в стыке являются следствием наличия вдоль вертикальных кромок полотнищ рулонов прямолинейных участков стенки. Придание им по всей высоте кривизны, близкой к проектной кривизне стенки резервуара, в условиях монтажной площадки оказалось весьма сложной задачей. Велись поиски необходимых технических решений, позволяющих получать монтажные стыки с допуском угловой деформацией [6]. Однако на сегодня не существует приемлемой технологии выполнения монтажных вертикальных стыков на рулонных заготовках с учетом действующих норм [7, 8] при толщине поясов более  $10$  мм без применения дополнительных конструктивных элементов.

С учетом наличия в нефтепарках страны большого количества рулонированных резервуаров ( $V = 10, 20$  и  $50$  тыс.  $\text{м}^3$ ) по заданию Миннефтепрома СССР в  $1987/1988$  г. в ИЭС им. Е. О. Патона выполнены исследования с целью оценки остаточного ресурса вертикальных монтажных стыков стенки из сталей ВСтЗсп5, 09Г2С-12 и 16Г2АФ при наличии в них угловых деформаций (стрелка прогиба  $f$  при шаблоне длиной  $500$  мм составляет до  $20$  мм). Полученные результаты вошли как рекомендуемые в нормы на выполнение монтажа резервуаров из рулонных заготовок [9]. Результаты исследований показали существенное уменьшение (особенно для сталей 09Г2С и 16Г2АФ) количества циклов нагружения до появления усталостных трещин при увеличении стрелки прогиба. Так, при изменении значений  $f$  с  $5$  до  $10$  мм для стали 09Г2С и с  $2$  до  $4$  мм для стали 16Г2АФ количество циклов нагружения до появления визуально наблюдаемой трещины уменьшилось с  $10 \times 1 \cdot 10^3$  до  $5 \times 1 \cdot 10^3$ . Полученные результаты использованы при разработке новых нормативных документов на монтаж резервуаров [7, 8].

На достижение проектной геометрической формы стенки резервуаров при применении рулонных заготовок, помимо угловых деформаций, влияет еще один фактор. После сборки и сварки на стенде полотнищ размером до  $18 \times 32$  м и массой до  $50$  т они имеют геометрическую форму, близкую к прямоугольнику. После установки рулонов в вертикальное положение под действием веса рулона происходит локальное проседание его основания. С уменьшением массы рулона при его разворачивании будет уменьшаться также осадка основания под ним (рис. 3). С учетом допуска на разность отметок фундамента до  $15$  мм [10] в процессе разворачивания нижняя кромка полотнища приобретает криволинейную форму. Такое изменение геометрической формы кромки при-



Рис. 3. Сооружение резервуара вместимостью 50 тыс. м<sup>3</sup> из сварных рулонных заготовок (1974 г.)

водит к появлению на нижних, более толстых, поясах обширных пологих выступов и вмятин, глубина которых в большинстве случаев не превышает допустимую. На верхних, более тонких поясах, образуются горизонтальные складки (гофры) и вмятины, которые при сливе–наливе продукта резко изменяют свою форму путем «прохлопывания», что может привести к разрыву стенки.

Приведенные выше недостатки, а также требования новых украинских норм [7] к толщине стенки и ее геометрической форме привели к тому, что в настоящее время в Украине фактически все резервуары с толщиной нижних поясов 10 мм и более сооружаются из отдельных листов. Благодаря применению листов размером до 8,0×2,5 м существенно уменьшается объем сварочных работ на строительной площадке. При этом фактические отклонения геометрической формы стенки часто в 2,0...1,5 раза меньше нормативных.

Поскольку к 2000 г. большинство резервуаров вместимостью  $V = 20$  и 50 тыс. м<sup>3</sup>, построенных с применением рулонных заготовок, отработали свой нормативный срок эксплуатации (20 лет) в условиях малоциклового нагружения, и все вертикальные монтажные сварные соединения стенки практически исчерпали свой ресурс работоспособности, в ИЭС им. Е. О. Патона разработана технология замены монтажных стыков по всей высоте стенки [11]: последовательно вырезают участки стенки с вертикальным швом и вместо них вваривают специальные вставки. Геометрическая форма вставок, подготовленных под сварку, учитывает наличие преднапряжения стенки и особенности выполнения сварки в условиях жесткого контура. После вваривания вставок вертикальные монтажные соединения превращаются в рядовой участок стенки со смещенными верти-

кальными швами в пределах пояса или укрупненных вставок и отвечают требованиям нормативных документов [7, 8].

Достоинства способа рулонирования позволили ему и в современных условиях производства найти свое применение. Это большой парк резервуаров с максимальной толщиной стенки до 10 мм вместимостью  $V \leq 5$  тыс. м<sup>3</sup>. Кроме того, рулонные заготовки с толщиной листов до 6 мм включительно успешно используют для монтажа днищ резервуаров большой вместимости.

В связи с тем, что в новых нормах России сохранена прежняя толщина стенки резервуаров [8], наряду со строительством емкостей из отдельных листов в этой стране находит применение и способ рулонирования. При этом монтажный стык выполняют не в одну линию, а в виде «гребенки» со смещением вертикальных соединений в прилегающих поясах на расстояние  $8t$  (где  $t$  — наибольшая из толщин листов прилегающих поясов). Для повышения жесткости участков верхних поясов стенки, примыкающих к монтажному шву, в отдельных случаях устанавливают дополнительные конструктивные элементы.

1. Раевский Г. В. Изготовление стальных вертикальных цилиндрических резервуаров методом сворачивания. — М.; Л.: Гостоптехиздат, 1952. — 116 с.
2. Рулонирование листовых конструкций / Под ред. Л. Л. Зильберберга. — М.: Техн. управление ЦБТИ, 1962. — 159 с.
3. Билецкий С. М., Голинько В. М. Индустриальное изготовление негабаритных сварных листовых конструкций. — Киев: Наук. думка, 1983. — 271 с.
4. О допусках на угловые деформации вертикальных сварных стыков в резервуарах вместимостью 10...50 тыс. м<sup>3</sup> / Ю. П. Барвинко, С. М. Билецкий, В. М. Голинько и др. // Автомат. сварка. — 1991. — № 4. — С. 20–23.
5. РД-39-30-1331–85. Инструкция по усилению вертикальных монтажных стыков стенок резервуаров РВС-2000. — Введ. 01.01.86.
6. Поповский Б. В., Ритчик Г. А. Обеспечение геометрической формы стенок рулонных резервуаров в зонах монтажных стыков // Монтаж и спец. работы в стр.-ве. — 1986. — № 11. — С. 11–15.
7. ВБН В.2.2-58.2–94. Резервуари вертикальні сталеві для зберігання нафти і нафтопродуктів. — Чинний з 01.10.94.
8. ПБ 03-605–2003. Правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов. — Введ. 09.07.03.
9. ВСН 311–89. Монтаж стальных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов от 10000 до 50000 м<sup>3</sup>. — Введ. 01.01.90.
10. СНиП 3.03.01–87. Несущие и ограждающие конструкции. — Чинний з 01.06.88.
11. Махненко В. И., Барвинко А. Ю., Барвинко Ю. П. Оценка напряженного состояния стенки рулонированных вертикальных цилиндрических резервуаров при вваривании листов–вставок // Автомат. сварка. — 2002. — № 5. — С. 3–8.

The historical aspect of introduction and development of the method of construction of vertical cylindrical tanks with application of large-sized coiled billets is considered. The advantages, disadvantages and prospects for further application of the method are considered.

Поступила в редакцию 18.11.2008