

УДК 621.791.05:620.179

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РЕЗЕРВУАРА Р7-78 ПРИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СВАРКЕ

Турушев Сергей Викторович, студент гр. ТСм-201, II курс
Научные руководители: Абабков Н. В., к.т.н., доц и Пимонов М.В., к.т.н.
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

Введение

В условиях современной рыночной экономики предприятия стремятся к выпуску качественной продукции при наименьших затратах. В связи с этим перед КемеровоХиммаш – филиал АО «Алтайвагон» стоит задача снижения себестоимости изготовления резервуаров воздушного типа Р7 – 78 [1, 2] за счёт снижения количества брака, уменьшения трудоёмкости, путём рассмотрения возможности запуска второй линии на робототехническом комплексе.

Запасные резервуары Р7-78 (рис. 1) используется в автотормозных системах большинства грузовых (пассажирских) вагонов. Данные резервуары нужны для резервирования сжатого воздуха, который необходим для работы тормозного цилиндра при торможении. Представляет собой герметичную емкость цилиндрической формы объемом 78 литров, изготовленную из стали марки ст. 09Г2С-14). В днище резервуара установлен фитинг с резьбой G 3/4" для присоединения труб; на обечайке установлен фитинг с резьбой G 1/2" для установки заглушки (пробки), либо выпускного клапана. Рабочее давление данного резервуара 0,7 МПа. Учитывая ответственность, запасные резервуары по ГОСТ Р 52400-2005 проверяют давлением в полтора раза больше расчетного. На вагоны резервуары крепятся к хребтовой балке с применением кронштейнов и хомутов.

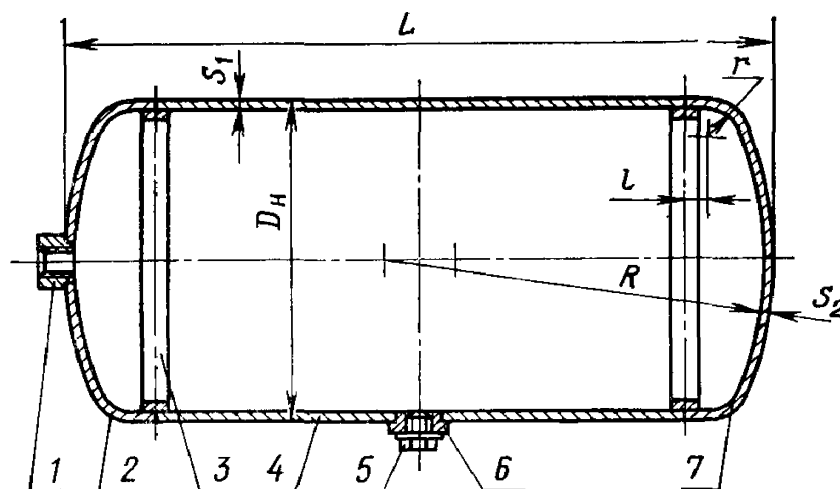


Рис. 1. Резервуар воздушного типа Р7 – 78

Для предотвращения аварий, чрезвычайных происшествий, техногенных катастроф, которые могут повлечь смерть граждан, а также разрушение как гражданской, так и военной инфраструктуры резервуары воздушного типа Р7 – 78 устанавливаются на каждый вагон.

Однако, в настоящее время при эксплуатации данного РТК возникают проблемы при его работе, которые связаны с недостаточной подготовкой обечайек, а именно: для резки листового проката специального назначения установлен большой допуск на лист в связи с подрубкой; некачественная зачистка околошовной зоны до металлического блеска от масел, ржавчины, краски и других загрязнений и как следствие образование скопления пор на днище в сборе; низкого качества или неудовлетворяющая получению необходимого качества сварных соединений проволока; низкое качество или неравномерное соотношение защитной смеси (85 % Ar + 15 % CO₂); недостаточная сила прижима обечайки к медной пластине рычажным зажимом в оснастке.

Данные ошибки [3] влияют на процент остановок робототехнического комплекса – на количество времени, а соответственно и на производительность и как следствие возникающие дефекты (табл. 1) при изготовлении партии резервуаров воздушного типа Р7 – 78 для тормозов вагонов железных дорог (устанавливаемых на каждый вагон) в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52400 – 2005, код ОКПД2 30.20.40.157, ТН ВЭД 8607 21.

Таблица 1. Возможные дефекты

Фотография дефекта	Наименование дефекта	Характеристики дефектов
	Скопление пор	Группа газовых полостей (три или более), расположенных кучно с расстоянием между ними менее трёх максимальных размеров большей из полостей.
	Брызги металла	Капли наплавленного или присадочного металла, образовавшиеся во время сварки и прилипшие к поверхности затвердевшего металла сварного шва или околошовной зоны основного металла.
	Трещина на границе сплавления	Трещина, ориентированная параллельно оси сварного шва и находящаяся на границе сплавления.

Для нахождения решения вышеуказанных проблем нужно обратиться к цели и задачам исследования. Так целью исследования является повышение эффективности изготовления резервуаров Р7 – 78 за счёт оптимизации параметров режима роботизированной сварки. Для достижения поставленной цели были сформулированы задачи исследования: выполнить анализ существующей на предприятии технологии роботизированной сварки листов для резервуаров Р7 – 78, а также наиболее часто встречающихся при изготовлении деформаций и отклонений размеров; выполнить анализ существующих схем выполнения сварных швов, их достоинств и недостатков, рассмотреть вопрос формирования остаточных деформаций в сварных швах; разработать методику и конечно-элементные модели расчета деформаций, возникающих при сварке элементов резервуара Р7 – 78 по различным схемам и режимам роботизированной сварки; оптимизировать параметры режима роботизированной сварки, выполнить расчет сварочных деформаций по оптимизированным параметрам.

Оборудование комплекса

Для выполнения работ по сварке продольных и кольцевых сварных швов использовался робототехнический комплекс, разработанного на базе промышленного сварочного манипулятора (робота) Fanuc ARC и оснащённого оборудованием для сварки в среде защитных газов в автоматическом режиме, производитель EWM (European Welding Machines).

РТК имеет две рабочие зоны, позволяющие производить одновременно сварку изделий в одной зоне и загрузку/разгрузку в другой. Такая конфигурация РТК обеспечивает максимально эффективное использование комплекса. В первой рабочей зоне располагается универсальная поворотная оснастка на базе сервопозиционера Fanuc. Во второй рабочей зоне расположен обычный сварочный стол для сварки изделий, не требующих автоматического кантования (стол в комплектацию комплекса не входит, изготавливается Заказчиком). Универсальная оснастка представляет собой сварную рамную конструкцию, имеющую рабочую плоскость в виде сварочного стола, на поверхности которого находятся позиционирующие элементы для установки в строго определённом положении собранных на прихватках изделий.

Расчёт сварочных напряжений и деформаций

Были выполнены расчёты сварочных напряжений и деформаций методом ручного расчета по методам, разработанным Г. А. Николаевым и Н. О. Окербломом [4]. Так показан пример расчета сварочных деформаций для продольных сварных швов.

Предельная усадочная сила определяется по формуле

$$P_{yc} = B \times q_{\Pi} = 170 \times 165,3 = 28101 \text{ Н} \quad (1)$$

где q_{Π} – погонная энергия, В – 170

Погонную энергию находим по формуле 2:

$$q_{\Pi} = \frac{I_{CB} \cdot U_D \cdot \eta}{V_{CB}} = \frac{190 \cdot 29 \cdot 0,78}{26} = 165,3 \text{ Дж} \times \text{с/м} \quad (2)$$

где $\eta = 0,78$, $U = 29$ В; $I_{св} = 190$ А

Продольное укорочение считается по формуле:

$$\Delta_{пр} = \frac{P_{ус} * L}{E * s_{расч} * (b_1 + b_2)} = \frac{28101 * 1,056}{2 * 10^{11} * 0,00375 * (0,942)} = 0,000042 \text{ м} = 0,0042 \text{ м} \quad (3)$$

где L – длина шва; E – модуль упругости, для стали 2×10^{11} , $s_{расч}$ – расчётная толщина свариваемого элемента, $s_{расч} = 0,5 \times (2 \times 2,5 + 2,5) = 3,75 = 0,00375$

Поперечная усадку по формуле

$$\Delta_{поп} = A * \frac{\alpha * q}{c\gamma * V_{св} * s} = 1,2 * \frac{12 * 10^{-6} * 4297,8}{3,73 * 26 * 2,5} = 0,0024 \text{ м} = 2,4 \text{ мм} \quad (4)$$

где A – коэффициент, учитывающий глубину проплавления, $A = 1,2$; α – коэффициент температурного расширения, $\alpha = 12 \times 10^{-6}$; q – эффективная мощность; $c\gamma$ – объёмная теплопроводность, $c\gamma = 3,73 \text{ кДж}$.

Мощность источника питания для сварочной дуги определяется по формуле:

$$q = I_{св} \times U_d \times \eta = 190 \times 29 \times 0,78 = 4297,8 \text{ Дж.} \quad (5)$$

Для кольцевых швов величина сварочных деформаций составила 0,02 мм.

По методу конечных элементов для обечайки диаметром 300 мм из листов стали 09Г2С толщиной 2,5 мм [5] также планируется произвести расчет. Общий вид резервуара воздушного типа Р7 – 78 с сеткой конечных элементов показан на рис. 2. При моделировании будет выполнено сравнение возникающих напряжений со средними значениями предела текучести и предела прочности для материала 09Г2С в соответствии с ГОСТ 19281 – 2014, а также с результатами ручного расчета.

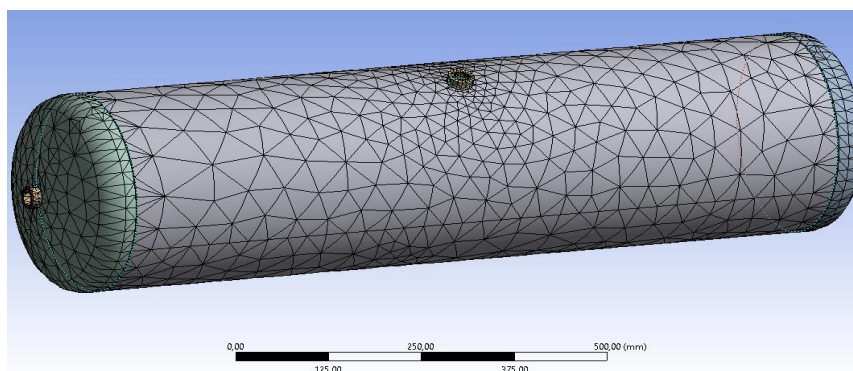


Рис. 2. Общий вид резервуара Р7 – 78 с сеткой конечных элементов

Выводы

Из вышеперечисленного можно сделать вывод, что роботизированная сварка наиболее выгодна и удобна для производства резервуаров Р7-78, так как резервуары производятся в большом объёме, и робот может обеспечить непрерывное производство. Так же роботы при правильной эксплуатации и должной подготовке обеспечивают герметичный и ровный сварной шов, без дефектов. При работе роботов снижен риск вредности на рабочем месте, вследствие того, как сварка происходит в специальном отсеке. Однако в данный момент робот

варит резервуары с дефектами, скопление пор, брызги металла в зоне приварки штуцеров, а также проявляется трещина на границе сплавления обечайки, вследствие этих дефектов происходит большое количество брака на производстве, а это большие потери, которые приводят к задержкам по поставке вагонов заказчикам.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда, соглашение № 22-29-20192.

Список литературы

1. Баканов, А. А. Анализ напряженно-деформированного состояния листов в процессе рулонирования / А. А. Баканов, А. И. Мирошник, М. В. Пимонов и др. // Инновации в машиностроении: материалы XI Международной научно-практической конференции. – Бийск: Изд-во АлтГТУ, 2020. – С. 207–213.
2. Баканов, А. А. Механические свойства основного металла и металла сварных соединений после рулонирования листов на каркасы разных диаметров / А. А. Баканов, А. И. Мирошник, М. В. Пимонов и др. // Инновации в машиностроении: материалы XI Международной научно-практической конференции. – Бийск: Изд-во АлтГТУ, 2020. – С. 213–220.
3. Варнавский Е. В., Абабков Н. В. О проблемах при эксплуатации робототехнического комплекса для сварки резервуаров воздушного типа Р7 – 78 // Сборник трудов IV Международной научно – практической конференции «Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте». 2020. – № 112. – 3 с.
4. Винокуров, В. А. Сварочные деформации и напряжения. – Москва: Машиностроение, 1968. – 236 с.
5. Смирнов А. Н., Абабков Н. В. Комплексный подход к оценке работоспособности элементов энергетического оборудования // Известия Самарского научного центра РАН. – 2010. – Т. 12. № 1 (2). – С. 520–524.

© Турушев С.В.