



УДК 621.120.45

## ДЕФЕКТОСКОПИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РЕЗЕРВУАРА ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ЖИДКОГО АММИАКА

**В. А. ТРОИЦКИЙ**, д-р техн. наук, **Ю. Н. ПОСЫПАЙКО**, **И. Я. ШЕВЧЕНКО**, инженеры  
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),  
**В. И. КАРМАЗИН**, инж., **Г. Е. КОСТЕНКО**, канд. техн. наук  
(ЗАО «Северодонецкое объединение «Азот», г. Северодонецк)

Приведены основные виды диагностики сварных соединений при комплексном техническом освидетельствовании резервуаров большой вместимости для хранения жидкого аммиака с целью продления ресурса: визуально-оптический контроль, в том числе, выявление и оценка неровностей на стенке и днище, уточнение объемов применения и других видов контроля; неразрушающий контроль сварных соединений и металла стенки и днища резервуара ультразвуковым, магнитопорошковым и капиллярным методами; определение механических характеристик металла; металлографические исследования и химический анализ металла сварных соединений и основного металла.

*Ключевые слова: методы неразрушающего контроля, дефектоскопия сварных соединений, визуально-оптический, ультразвуковой, магнитопорошковый, капиллярный контроль, механические характеристики, металлографические исследования, химический анализ, сварной резервуар*

Техническое диагностирование сварных резервуаров большой вместимости, находящихся длительное время в эксплуатации, позволяет оценить их техническое состояние, возможность дальнейшей безопасной эксплуатации, а также определить необходимость ремонта отдельных узлов. При освидетельствовании резервуаров важным этапом является дефектоскопия их сварных соединений.

Отдел неразрушающего контроля качества сварных металлоконструкций ИЭС им. Е. О. Патона совместно с исследовательской лабораторией металлов и технической диагностики ЗАО «Северодонецкое объединение «Азот» выполнили дефектоскопию сварных соединений внутреннего резервуара изотермического хранилища жидкого аммиака на ЗАО «Северодонецкое объединение «Азот», которая включала следующие этапы:

визуально-оптический контроль внутренней поверхности резервуара, выявление и оценка неровностей (выпуклостей, вмятин, хлопунков и т. п.) на стенке и днище внутреннего резервуара, уточнение объемов применения других видов контроля;

ультразвуковой, магнитопорошковый и капиллярный контроль сварных соединений днища и стенки внутреннего резервуара на высоте 1-го пояса;

определение механических характеристик металла на образцах, вырезанных из днища;

металлографические исследования сварных соединений на образцах, вырезанных из днища, а

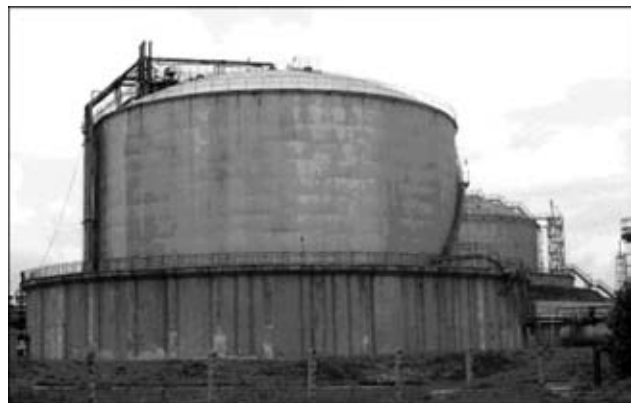
также металла стенки в местах пересечения швов между 1-м и 2-м поясами методом реплик;

химический анализ металла, включая количественный анализ содержания в нем водорода.

Нормативной базой комплексного технического освидетельствования и дефектоскопии резервуаров изотермического хранилища жидкого аммиака являются стандарты и инструкции, действующие на химическом производстве [1, 2] и касающиеся отдельных видов контроля.

По конструктивному решению изотермическое хранилище жидкого аммиака представляет собой двухстенный вертикальный цилиндрический резервуар, изготовленный листовым способом, который располагается в железобетонном каземате (рисунок).

Внутренний резервуар, где непосредственно хранится жидкий аммиак, изготовлен из низколегированной стали и рассчитан на гидростатическую нагрузку хранящегося продукта и внешнее



Общий вид сварного резервуара для хранения жидкого аммиака

давление сыпучего теплоизоляционного материала. Он расположен внутри наружного резервуара. Стенка внутреннего резервуара собрана из крупногабаритных (около 2×6 м) листов из стали N-TVF33 (Япония), отечественный аналог — сталь 16ГС, а днище изготовлено из стали N-TVF30N (Япония), отечественный аналог — сталь 09Г2С. Все сварные соединения выполнены встык.

Толщина стенки внутреннего резервуара составляет по поясам 16–14–13–12–10–10–10–12–12 мм — всего 10 поясов высотой 2000...2050 мм каждый.

Межстенное пространство между наружным и внутренним резервуарами заполнено тепловой изоляцией из вспученного перлитового песка.

Для проведения работ внутри хранилища в нижней части стенки и на крыше предусмотрены люки-лазы.

Техническая характеристика внутреннего резервуара	
Диаметр днища, мм .....	30050
Высота стенки, мм .....	21000
Вместимость, м <sup>3</sup> .....	16846
Масса хранящегося продукта, т .....	10000
Температура хранящегося продукта, °С .....	-33
Давление в резервуаре, кПа .....	3...7

Изотермическое хранилище жидкого аммиака изготовлено поэлементно и смонтировано в 1973–1974 гг.

*Визуальный контроль* внутреннего резервуара проведен в соответствии с требованиями ДСТУ ISO 17637–2003 [3] с целью определения наличия и размеров дефектов или повреждений в основном металле и сварных соединениях, а также выявления недопустимой видимой деформации конструктивных элементов. Типы и размеры недопустимых дефектов основного металла и металла сварных швов указаны в п. 5.2.9 ДСТУ 4046–2001 [1]. Геометрические размеры сварных швов (стыковых, нахлесточных и угловых) проверяли на соответствие требованиям ГОСТ 5264–80 [4].

Перед проведением контроля поверхность сварных швов и околошовную зону шириной по 100 мм от шва зачищали с помощью мягких наждачных кругов. Шероховатость зачищенных поверхностей составляла не более  $Ra\ 12,5$  ( $Rz\ 80$ ).

При визуальном контроле использовали следующее вспомогательное оборудование: лупы просмотровые (двух- и трехкратного увеличения), лупы измерительные, линейки измерительные металлические, штангенциркули, универсальные шаблоны сварщика УШС-3, щетки металлические и волосяные для зачистки, светильники переносные, маркеры, бинокль для осмотра металлоконструкций стенки и крыши.

В результате тщательного визуального контроля установлено, что недопустимые дефекты в основном металле и металле сварных швов отсутствовали, а геометрические размеры последних не всегда соответствовали требованиям ГОСТ 5264–80 [4], од-

нако их ремонт с помощью сварки признан нецелесообразным. Геометрические размеры сварного шва на одном из участков протяженностью около 100 мм значительно отличались от требований, изложенных в табл. 53 ГОСТ 5264–80 [4] (катет горизонтальный около 2 мм, провар 2...3 мм). Участок был забракован и отремонтирован с применением сварки с предварительной механической выборкой металла шва.

На днище внутреннего резервуара находились выпучины и хлопуну высотой до 100 мм и площадью 4...20 м<sup>2</sup>, образовавшиеся вследствие остаточной деформации после пусковых испытаний. На 9-м и 10-м поясах его стенки располагались две выпучины размером приблизительно 1,5×4,0 м и высотой около 200 мм, частично переходящие в куполообразную крышу. Выпучины не имели резких перегибов, переломов и разрывов.

*Магнитопорошковый контроль* проведен в соответствии с требованиями нормативных документов [5–8] для выявления поверхностных и подповерхностных трещин различного происхождения, волосовин, надрывов, закатов, непроваров и других дефектов сварных соединений и околошовной зоны. При разработке инструкции [8], кроме нормативных документов [5–7], использован многолетний опыт работы ИЭС им. Е. О. Патона в области магнитного контроля [9].

Магнитопорошковому контролю были подвергнуты все сварные соединения днища внутреннего резервуара и выборочно — вертикальные стыковые сварные соединения 1-го пояса и горизонтальные 1-го и 2-го поясов стенки. Магнитопорошковый контроль выполнен с помощью намагничивающих устройств дефектоскопов «Parker» (США) и ПМД-70 (НПО «Волна», Молдова).

Использовали способ контроля в приложенном поле. Продольное (полюсное) намагничивание выполняли с помощью приставного электромагнита. Напряженность магнитного поля между полюсами составляла не менее 80 А/см. Нанесение магнитного порошка Ferromag фирмы «Ely Chemical» (Великобритания) на контролируемую поверхность осуществляли «сухим» способом. Для создания белого фона, контрастного с магнитным порошком, применяли белую меловую суспензию в аэрозольной упаковке, изготовленную в НПП «ИФХ-Колор» (Киев).

Для проверки работоспособности системы магнитопорошкового контроля использовали контрольные образцы — образец Бертольда и контрольный образец предприятия из комплекта дефектоскопа ПМД-70. Результаты магнитопорошкового контроля подтвердили отсутствие недопустимых дефектов в металле сварного шва и околошовной зоны.

*Ультразвуковой контроль* (УЗК) проведен в соответствии с нормативными документами [10–

12] с целью выявления внутренних плоскостных и объемных дефектов. При разработке инструкции [12], кроме нормативных документов [10, 11], использован многолетний опыт работы ИЭС им. Е. О. Патона в области УЗК [13].

УЗК были подвергнуты все сварные соединения днища, а также вертикальные и горизонтальные стыковые сварные соединения листов 1-го пояса стенки внутреннего резервуара. УЗК выполнен с помощью дефектоскопов USN-52 («Krautkramer», Германия) и УД2-12 (НПО «Волна», Молдова). Для этого метода применены прямые и наклонные раздельно-совмещенные преобразователи с рабочей частотой 2,5...5,0 МГц и углом ввода 45°. Причем угловые преобразователи, используемые для контроля нахлесточных швов, были специально изготовлены в ИЭС им. Е. О. Патона. Проверку основных параметров контроля проводили на контрольных образцах комплекта КОУ-2 [10].

Настройку дефектоскопов и параметров контроля выполняли на испытательных образцах с искусственными отражателями заданных размеров и местоположения.

Применены следующие способы контроля наклонным преобразователем: прямым лучом (для выявления дефектов в корне шва) и однократно отраженным лучом (для выявления дефектов в середине и верхней части шва).

Для обеспечения акустического контакта преобразователя с поверхностью металла использовали специальную гелеобразную смазку фирмы «MR-Chemie» (Германия).

Подготовка дефектоскопа включала настройку скорости развертки, чувствительности, глубиномера и установку зоны контроля. Оценку качества выполняли в соответствии с СНиП 3.03.01-87 [14].

В результате УЗК недопустимые дефекты в сварных соединениях стенки внутреннего резервуара (на уровне 1-го пояса) и в уторном сварном соединении не выявлены.

К числу недопустимых дефектов отнесен участок нахлесточного сварного соединения днища протяженностью около 700 мм. Этот участок после механической выборки металла шва отремонтирован с применением сварки и проверен капиллярным контролем и УЗК.

*Капиллярный контроль* для выявления невидимых или слабовидимых невооруженным глазом дефектов типа несплошностей материала, выходящих на поверхность (трещин, пор, непроваров и т. п.), проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 18442-80 [15] и ОСТ 26-5-88 [16]. Капиллярному контролю были подвергнуты все сварные соединения врезки патрубков и люков и выборочно — нахлесточные сварные соединения днища, стыковые вертикальные сварные соединения

стенки, а также поверхность кольца люка, на которую устанавливается заглушка.

Капиллярный контроль выполнен дефектоскопическими материалами фирмы «MR-Chemie» (Германия) в аэрозольной упаковке — пенетрант MR-68С, очиститель MR-85, проявитель MR-70. Способ контроля люминесцентно-цветной с применением люминесцентной лампы КД-33Л (НПО «Волна», Молдова). Чувствительность материалов проверяли на контрольном образце, изготовленном в соответствии с требованиями ГОСТ 23349-78 [17].

В результате капиллярного контроля в сварных соединениях стенки и днища недопустимые дефекты не выявлены. В нижней части кольцевого шва входного патрубка обнаружены раковины, которые открылись при зачистке шва. Наплавленный металл шва в зоне раковин удаляли путем шлифования абразивным кругом до полного исчезновения следов раковин, а затем выполняли заварку шва и последующий капиллярный контроль.

*Механические характеристики* металла определены в лабораторных условиях на образцах, изготовленных из листов днища (ГОСТ 6996-66 [18]). Испытания металла на растяжение проводили на образцах типа I диаметром 3 мм с помощью испытательной машины ИМ-4Р, а на ударную вязкость — на образцах типа VII с V-образным надрезом (при температуре -20°С) с применением маятникового копра МК-30М. Предел текучести составил 300...320 МПа, временное сопротивление — 440...445 МПа, относительное удлинение — 36,0...39,0 %, ударная вязкость — (250...285)·10<sup>6</sup> Дж/м<sup>2</sup>.

*Металлографические исследования* проводили с целью изучения макро- и микроструктуры металла шва и основного металла в лабораторных условиях на шести образцах, вырезанных из днища внутреннего резервуара. Образцы обрабатывали путем шлифования алмазными пастами и травления в 10%-м спиртовом растворе азотной кислоты.

При макроанализе металла шва трещины, надрывы и другие дефекты в сварных соединениях не выявлены. Расстояние между пластинами нахлесточного сварного соединения составляло 0,2...1,5 мм, что отвечает требованиям ГОСТ 5264-80 (табл. 53, тип шва Н1).

При изучении микрошлифов сварных соединений в некоторых образцах в корне шва выявлены извилистые полости-усы глубиной до 0,8 мм, заполненные продуктами коррозии. Их края имели округлую форму без образования трещин. Такие полости образовались, вероятно все-го, вследствие выхода газов и паров металла из сварочной ванны при сварке.

Структура металла сварного шва и околошовной зоны ферритно-перлитная, мелкозернистая. На участке, расположенном в верхней части шва, видны столбчатые кристаллы. Строение феррита игольчатое. В корне сварного шва структура металла мелкозернистая.

Металлографические исследования металла шва и основного металла стенки внутреннего резервуара проведены методом отгиска с поверхности с помощью полистирольных реплик и с использованием переносного микроскопа «Неофот-21» (без вырезки образцов со стенки). Для исследования было подготовлено девять зон (шлифов) в местах Т-образных пересечений вертикальных швов 1-го и 2-го поясов стенки с горизонтальным швом.

Структура металла сварных швов и основного металла стенки внутреннего резервуара ферритно-перлитная. Размер зерен соответствовал 8–9 баллам (ГОСТ 5639–82). На одном из шлифов обнаружены поверхностные микротрещины, которые исчезли при шлифовании на глубину 0,2 мм, а также скопления микропор.

В результате металлографических исследований установлено, что микроструктура, размер зерна, состояние межзеренных границ в металле шва и основном металле днища и стенки внутреннего резервуара типичны для низкоуглеродистых сталей и их сварных соединений. Признаки старения металла не обнаружены.

Химический анализ образцов, вырезанных из днища внутреннего резервуара, показал, что металл соответствует отечественному аналогу — стали 09Г2С (ГОСТ 5520–79) — и имеет следующий состав, мас. %: Fe 98; C 0,13; Si 0,29; Mn 1,35; Cr 0,001; Mo 0,014; Ni 0,065; Al 0,047; Co 0,065; Cu 0,02; Nb 0,0007; Ti 0,013; V 0,037.

С помощью химического анализа образцов определено содержание водорода в металле днища, которое составляет 0,0005...0,0006 мас. %.

Выбранные нами технологии неразрушающего контроля показали свою эффективность при про-

ведении освидетельствования хранилища, что позволило сделать необходимый ремонт и продлить на пять лет эксплуатацию резервуара.

1. *ДСТУ 4046–2001*. Оборудование технологическое нефтеперерабатывающее, нефтехимических и химических производств. Техническое диагностирование. Общие технические требования. — Введ. с 01.01.2002.
2. *РД 03-410–2001*. Инструкция по проведению комплексного технического освидетельствования изотермических резервуаров сжиженных газов. — Введ. с 01.01.2002.
3. *ДСТУ ISO 17637–2003*. Неразрушающий контроль сварных швов. Визуальный контроль соединений, выполненных сваркой плавлением. — Введ. с 01.01.2004.
4. *ГОСТ 5264–80*. Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. — Введ. с 01.01.81.
5. *ГОСТ 21105–87*. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. — Введ. с 01.01.88.
6. *ДСТУ 2954–94*. Сталь. Методы магнитного контроля. — Введ. с 01.01.96.
7. *ОСТ 26-01–84*. Швы сварных соединений стальных сосудов и аппаратов, работающих под давлением. Методика магнитопорошкового метода контроля. — Введ. с 01.07.85.
8. *Технологическая инструкция по магнитопорошковому контролю сварных соединений днища изотермического резервуара*. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 2003. — 14 с.
9. *Троцкий В. А.* Магнитопорошковый контроль сварных соединений и деталей машин. — Киев: Феникс, 2002. — 300 с.
10. *ГОСТ 14782–86*. Контроль неразрушающий. Швы сварные. Методы ультразвуковые. — Введ. с 01.01.88.
11. *ГСТУ 3-057–2003*. Сосуды и аппараты, работающие под давлением. Методика ультразвукового контроля сварных соединений. — Введ. с 01.01.2004.
12. *Технологическая инструкция по ультразвуковому контролю нахлесточных и угловых сварных соединений днища изотермического резервуара*. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 2003. — 18 с.
13. *Троцкий В. А.* Краткое пособие по контролю качества сварных соединений. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1997. — 224 с.
14. *СНиП 3.03.01–87*. Несущие и ограждающие конструкции. — Введ. с 01.07.88.
15. *ГОСТ 18442–80*. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования. — Введ. с 01.07.81.
16. *ОСТ 26-5–88*. Контроль неразрушающий. Цветной метод контроля сварных соединений, наплавленного и основного металла. — Введ. с 01.07.89.
17. *ГОСТ 23349–78*. Контроль неразрушающий. Дефектоскопы капиллярные. Общие технические требования и методы испытаний. — Введ. с 01.01.81.
18. *ГОСТ 6996–66*. Сварные соединения. Методы определения механических свойств. — Введ. с 01.01.67.

Described are the main kinds of diagnostics of welded joints at comprehensive technical examination of large volume tanks for liquid ammonia storage with the purpose of extension of their service life, namely visual-optical inspection, including detection and evaluation of unevenness on the wall and bottom, more precise definition of the application volumes, etc.; NDT of welded joints and metal of the tank wall and bottom by ultrasonic, magnetic particle and penetrant testing; determination of mechanical characteristics of the metal; metallographic examination and chemical analysis of the welded joint and base metal

Поступила в редакцию 04.09.2006,  
в окончательном варианте 23.10.2006