

В настоящее время, несмотря на применение методов и средств неразрушающего контроля при изготовлении и ремонте сосудов, работающих под давлением, основными причинами отказов сосудов является разрушение из-за развившихся дефектов сварки. Дефекты сварки в ходе эксплуатации приводят к ускоренному коррозионному износу и образованию трещин в корпусах сосудов давления. Развитие системы диагностирования технического состояния и расчетного определения безопасного ресурса оборудования с учетом дефектов сварки является на сегодняшний день важной инженерной задачей. В качестве примера решения такой задачи в данной работе рассматривается оценка технического состояния типовых газосепараторов для природного и попутного нефтяного газа относящихся к первому классу опасности согласно «Правил устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением». Сетчатые газосепараторы, изготавливаемые серийно, представляют собой вертикальный цилиндрический аппарат (рис.1) с сварным цилиндрическим корпусом 1 закрытым фланцевой крышкой 2, устанавливаемый на опорах стойках 3. Аппарат имеет внутренние устройства: змеевиковый подогреватель 4, сетчатую насадку 5, узел входа с коагулятором 6. В ходе проведения технического диагностирования специалистами ЗАО ИТЦ «Регионтехдиагностика» (г.Казань) газосепараторов изготовленных в 1985 г. на Черновицком машиностроительном заводе (Украина) были обнаружены дефекты приведшие к развитию усталостных трещин, анализ условий работы данных сосудов и исследование дефектных узлов позволили определить критерии оценки остаточного ресурса сосудов подобного типа. Обследование сосудов включает следующие этапы: 1) анализ технической документации; 2) разработка программы экспертного обследования; 3) подготовка сосуда к экспертному обследованию и обеспечение безопасности при обследовании проводимые предприятием на котором установлен сосуд; 4) экспертное техническое диагностирование, включающее: визуальный и измерительный контроль технического состояния сосуда, ультразвуковой контроль толщины стенки, ультразвуковой контроль стыковых сварных швов, контроль сварных швов и основного металла околошовной зоны магнитной дефектоскопией, контроль твердости металла; 5) расчет на прочность и оценка остаточного ресурса сосуда; 6) гидроиспытания; 7) составление и утверждение заключения по результатам обследования. При обнаружении недопустимых дефектов на четвертом этапе эксплуатация сосуда запрещается, после проведения ремонтных работ проводится повторное обследование с повторением всех этапов. Рис. 1 Газосепаратор сетчатый Выбор методов неразрушающего контроля обусловлен в первую очередь затратами на проведение подготовки сосуда к исследованию и времени затрачиваемого на само исследование сосуда с использованием конкретного метода неразрушающего контроля. В связи с чем, на сегодняшний день для выявления поверхностных дефектов и трещин сварных

швов используется в основном магнитный метод контроля и метод контроля проникающими веществами так называемая цветная дефектоскопия. Указанные методы не используют электронных устройств, просты в использовании и не требуют значительных временных затрат. Выявление внутренних дефектов и замер толщины стенки сосуда осуществляется с использованием ультразвукового метода контроля, при этом анализ сварных швов на предмет наличия внутренних дефектов с использованием ультразвуковых дефектоскопов требует специальной подготовки и определенной квалификации специалиста неразрушающего контроля. Как показывает практика, применительно к штуцерным узлам малого диаметра сосудов, работающих под давлением, данный метод контроля является малоэффективным. Поверхностные трещины в газосепараторах были обнаружены с использованием магнитного дефектоскопа МДПМ-2 на постоянных. При этом материал аппарата – сталь 16ГС и сталь 20 обладают достаточной магнитной проницаемостью для использования данного метода контроля. Индикаторный след, показывающий трещину, создается при нанесении на контролируемую поверхность масляно – керосинной суспензии магнитного порошка в магнитном поле создаваемом двумя магнитами. При этом на границах поверхностной трещины магнитное поле преломляется, и магнитный порошок концентрируется на границе трещины, показывая ее размеры и ориентацию. Таким образом, были обнаружены трещины в сварном шве нижнего штуцера Н предназначенного для присоединения уровнемера и сварных швах штуцеров М служащих для присоединения дифманометра. Трещины являются недопустимыми дефектами, в связи с чем был проведен ремонт сосуда. Выборка металла показала, что наиболее глубокой является трещина в сварном шве нижнего штуцера Н (рис.2) из – за наличия цепочки внутренних пор ориентированных по окружности штуцера. Окончательная выборка трещины и пор показала, что глубина трещины составила примерно 22 мм с учетом катета шва, что соответствует 3/4 от общей толщины стенки сосуда. Выборка металла сварных швов штуцеров М наличия внутренних дефектов не выявила, глубина трещин составила 4 мм. и 3 мм. для нижнего и верхнего штуцеров соответственно. Следует отметить, что согласно ультразвуковому контролю штуцерного узла Н на предприятии изготовителе и в ходе двух предыдущих экспертных обследований сосуда различными организациями внутренние дефекты выявлены не были, что характеризует малую эффективность данного метода контроля. Согласно паспорта и справки эксплуатирующей организации сосуд предназначен для работы при статическом нагружении внутренним давлением, в тоже время развитие усталостных трещин происходит в основном при воздействии циклически меняющихся нагрузок. В ходе анализа журналов регистрации рабочих параметров установки за последний год эксплуатации было выявлено (рис.3), что для сосуда характерно нерегулярное широкополосное циклическое нагружение внутренним давлением.

При этом штуцерные узлы Н и М в технологическом процессе не используются и заглушены, то есть иных нагрузок кроме внутреннего давления данные узлы не испытывают.

а б Рис. 2 Поверхностная трещина (а), цепочка пор (б) на глубине 8 мм

Для получения расчетных характеристик циклического нагружения была проведена схематизация процесса нагружения, заключающаяся в выделении циклов нагружения определенного размаха из исследуемого процесса нагружения. Выделенные циклы и значения размаха внутреннего давления приведены в таблице 1. Результаты анализа за год использовались для определения числа циклов нагружения N_p за весь срок эксплуатации. При этом для результатов наблюдений принимался нормальный закон распределения при коэффициенте вариации 0,33. После проведенного ремонта сосуда вероятность развития трещин сохраняется, в связи с чем, необходим прогноз развития трещины. Оценка скорости распространения трещины под действием давления переменной амплитуды проводится с использованием рассчитанных размахов коэффициента интенсивности напряжений приведенных в таблице 1, вычисленных с использованием расчетных программ для штуцерных узлов с протяженными трещинами с учетом упруго-пластических свойств материала [1,2].

Рис. 3 Регистрация внутреннего давления в установке в 2013 году

Таблица 1

МПа	Число циклов нагружения	с 08.12.2012 по 06.08.2013	За весь срок экспл.
0,1	60	2533	1,85
0,2	17	718	2,64
0,3	4	169	3,26
0,4	5	211	3,81
0,5	1	42	4,29
0,6	4	169	4,74
1	1	42	6,32
3,9	1	42	14,72
гидроиспытание	9,15	1	10
	26,82		

Для интегрирования по каждому циклу за начальный размер трещины принималась глубина поверхностной трещины соответствующая коэффициенту интенсивности напряжений старгивания трещины при давлении гидроиспытания. Рост трещины на величину определяется уравнением Пэриса-Махутова [3]: с коррекцией величины размаха коэффициента интенсивности деформаций в зависимости от текущей длины трещины и с использованием эмпирических коэффициентов кривой роста трещины полученных для стали 20 в условиях жесткого режима циклического нагружения образцов с трещиной. Размер трещины после каждого цикла нагружения корректируется и принимается равным: . Расчет велся до достижения трещиной размера равного , где s -толщина стенки сосуда. Характер и последовательность последующих нагружений предполагается аналогичной полученному из анализа результатов регистрации рабочего давления в текущем году. При принятых условиях заданная глубина поверхностной трещины будет достигнута 27.08.2017г., что соответствует 4 годам эксплуатации. Учитывая случайный характер нагружения и вероятность наличия в штуцерных узлах внутренних дефектов, срок эксплуатации до следующего экспертного обследования был принят равным 2 годам.

Основные выводы 1) Своевременное экспертное диагностирование сосудов позволяет предотвратить аварии связанные с развитием усталостных трещин. Актуальным в данной области является применение эффективных

средств позволяющих диагностировать скрытые внутренние дефекты в сварных швах, не требующие проведения значительных подготовительных работ и сложных калибровок измерительных устройств. 2) При выявлении дефектов изготовления отдельного сосуда, аналогичные дефекты характерны и для других сосудов данного предприятия – изготовителя. 3) Скорость роста трещины при сложном циклическом нагружении зависит от истории и последовательности приложения нагрузок, материального исполнения сосуда. 4) Одним из возможных способов снижения циклической повреждаемости газосепараторов является разработка технических решений по поддержанию внутреннего давления в аппарате на постоянном уровне.