

УДК 539.421

М. Х. Сабитов, С. И. Поникаров, С. И. Валеев

ОЦЕНКА РЕСУРСА БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОСЕПАРАТОРОВ С ДЕФЕКТАМИ УГЛОВЫХ СВАРНЫХ ШВОВ ПРИВАРКИ ШТУЦЕРОВ

Ключевые слова: сосуд, работающий под давлением, дефект сварки, трещина.

Приведены результаты экспертного обследования серийных газосепараторов, выявивших трещины и дефекты сварки в угловых сварных швах приварки штуцеров. Проведена оценка остаточного ресурса сосуда исходя из анализа скорости роста трещины для реальных условий циклического нагружения сосуда.

Keywords: pressure vessel, welding defect, crack.

Contains results of the expert research of the serial gas separators, which revealed cracks and defects in the nozzle connections welds. An assessment of the residual life of the vessel on the basis of the analysis of the crack growth rate for the actual conditions of cyclic loading of the vessel.

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 околосшовной 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.

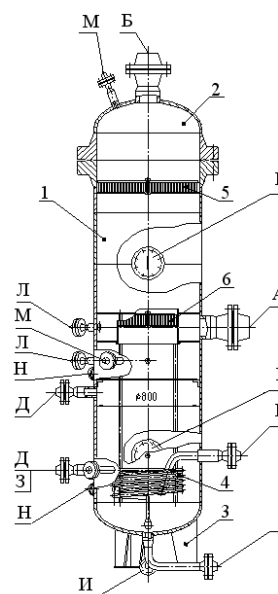


Рис. 1 - Газосепаратор сетчатый

Выбор методов неразрушающего контроля обусловлен в первую очередь затратами на проведение подготовки сосуда к исследованию и времени затрачиваемого на само исследование сосуда с ис-

пользованием 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 про-

исходит 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.

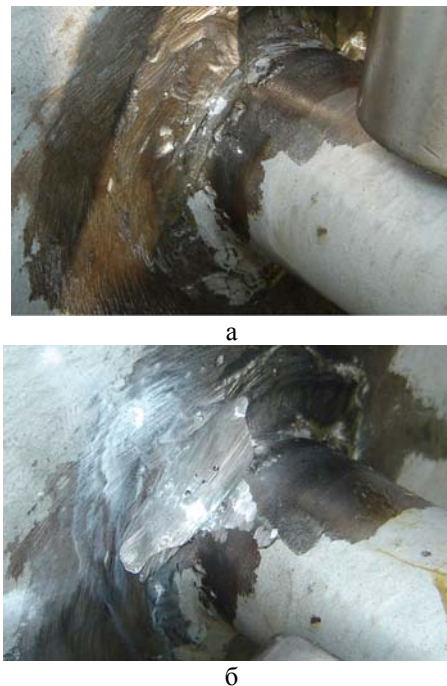


Рис. 2 - Поверхностная трещина (а), цепочка пор (б) на глубине 8 мм

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 упругопластических свойств материала [1,2].

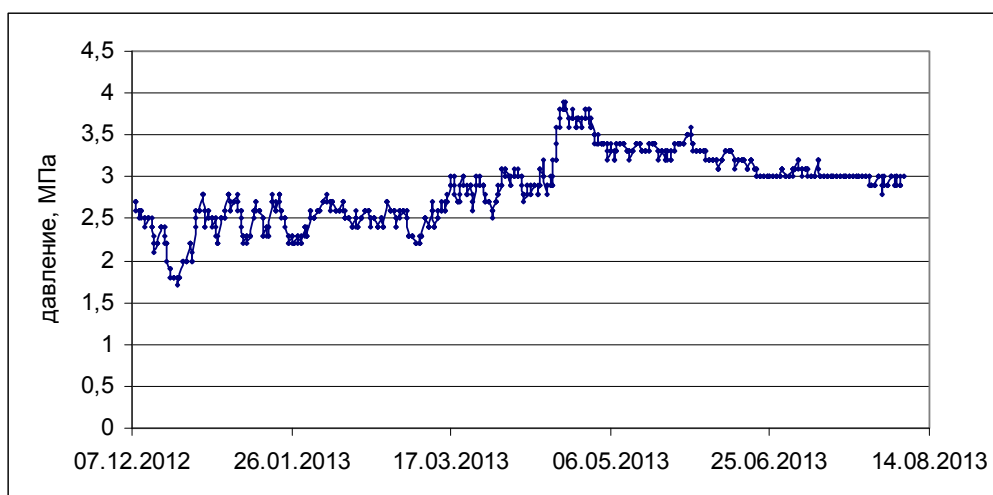


Рис. 3 - Регистрация внутреннего давления в установке в 2013 году

Таблица 1

Δp , МПа	Число циклов нагружения		ΔK_I , МПа $\sqrt{м}$
	с 08.12.2012 по 06.08.2013	За весь срок экспл. N_p	
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 l_0 принималась глубина поверхностной трещины соответствующая коэффициенту интенсивности напряжений страгивания трещины при давлении гидроиспытания. Рост трещины на величину dl определяется уравнением Пэ-риса-Махутова [3]: $\frac{dl}{dN} = C \Delta \bar{K}_e^m$ с коррекцией величины размаха коэффициента интенсивности деформаций $\Delta \bar{K}_e$ в зависимости от текущей длины трещины и с использованием эмпирических коэффициентов кривой роста трещины C, m полученных для стали 20 в условиях жесткого режима циклического нагружения образцов с трещиной. Размер трещины после каждого цикла нагружения корректируется и принимается равным: $l_{i+1} = l_i + dl$. Расчет велся до достижения трещиной размера равного $l = 0,25s$, 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.

Литература

1. М.Х. Сабитов, С.И. Поникаров //Вестник Казан. технол. ун-та. 9, 182-184 (2012);
2. М.Х. Сабитов, С.И. Поникаров // Вестник Казан. технол. ун-та. 20, 208-212 (2011);
3. Н.А.Махутов, М.И.Бурак, М.М.Гаденин и др., Механика малоциклового разрушения. М.: Наука, 1986. 264с.