DOI: 10.17122/ntj-oil-2018-3-143-150
УДК 621.772

М.З. Зарипов, А.М. Файрушин, Д.Н. Яковлева (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация)

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА СБОРКИ УЗЛА ПРИВАРКИ ШТУЦЕРА НА РЕСУРС РАБОТЫ КОРПУСА АППАРАТА

Mars Z. Zaripov, Airat M. Fairushin, Darya N. Yakovleva (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation)

INFLUENCE OF WELDED ASSEMBLY QUALITY ON THE APPARATUS CASING OPERATION RESOURCE

Введение

Стальной сварной сосуд или аппарат, сконструированный и изготовленный в соответствии с ГОСТ Р 52630-2006, предполагает долговечность эксплуатации и вывод на ремонт в случаях, не связанных с отказом аппарата вследствие нарушения его оболочки, дефектов корпуса, сварных швов и деформирования стенок корпуса.

Технология сборки сосуда предполагает наличие напряженно-деформированного состояния в зонах краевого действия, в местах установки штуцерных узлов, в местах большей концентрации продольных швов. Для надежной работы штуцеров в целях обеспечения безопасной работы аппарата и предприятия в целом применяют различные виды укрепления, в их числе укрепляющие кольца, которые в соответствии с ГОСТ Р 52630-2006 могут иметь зазор между кольцом и корпусом сосуда не более 3 мм.

Как показывает практика, реальная величина зазора в несколько раз превышает допускаемое значение, то есть полное прилегание не обеспечивается. Выполняемые различными организациями работы по диагностике технического состояния и определению остаточного ресурса опасных производственных объектов не включают обследование данного узла на предмет наличия завышенного зазора и соответственно не учитывают воздействие данного негативного фактора.

Background

A steel welded vessel or apparatus designed and manufactured in accordance with State Standard R 52630-2006 assumes a long service life and withdrawal for repairs in cases not related to the failure of the apparatus due to a violation of its shell, body defects, welds and de-forming the walls of the shell.

The technology of the vessel assembly assumes the presence of a stress-strain state in the zones of edge action, in the places of installation of the choke units, in places where the longitudinal joints are more concentrated. For reliable operation of the fittings, in order to ensure safe operation of the apparatus and the enterprise as a whole, various types of reinforcement are used, including reinforcing rings, which, according to State Standard R 52630-2006, can have a gap between the ring and the vessel body of not more than 3 mm.

As practice shows, the real size of the gap is several times higher than the allowable value, that is, full access is not provided. The work carried out by various organizations to diagnose the technical condition and determine the residual life of hazardous production facilities does not include the examination of this node for the presence of an overestimated gap and, accordingly, does not take into account the impact of this negative factor.

Цели и задачи

Поиск новых методов контроля величины зазора в штуцерных узлах как на периферии кольца, так и вблизи штуцера, а также способов ввести его в пределы, соответствующие нормам, является одной из актуальных задач при изготовлении оборудования.

Результаты

Проведенные численные исследования напряженно-деформированного состояния в зоне укрепления штуцерного узла корпуса аппарата, а также практические испытания показали, что с увеличением зазора в месте сопряжения штуцера с обечайкой происходит рост внутренних напряжений до 20 %, при этом ресурс работы укрепленного накладным кольцом штуцерного узла может снизиться на 18 %.

Aims and Objectives

The search for new methods for monitoring the size of the gap in the fitting nuts, both at the periphery of the ring and near the nozzle, and also the ways to introduce it into the limits corresponding to the norms, is one of the urgent problems in the manufacture of equipment.

Results

The performed calculations of the stress-strain state in the reinforcement zone of the chassis unit of the apparatus body, as well as practical tests showed that with an increase in the clearance at the junction of the nozzle with the shell, internal stresses increase up to 20 %, while the service life of the chuck-mounted choke unit may decrease by 18 %.

Ключевые слова: корпус аппарата, укрепляющее кольцо, напряжение в штуцерном элементе, напряженно-деформированное состояние

Key words: apparatus casing, reinforcing ring, stress in the connecting element, stress-strain state

Одной из причин высокой аварийности объектов сферы нефтепереработки и нефтехимии является низкое качество технологического оборудования [1].

Все эксплуатируемые под давлением сосуды нефтеперерабатывающей промышленности могут иметь в своем строении штуцеры, которые не соответствуют условию $d_p \leq d_o$. Предусматривается укреплять их элементами - укрепляющими кольцами, причем зазор между элементом и корпусом должен быть менее 3 мм (п. 6.5.7 ГОСТ Р 52630-2006). Однако на предприятиях данное условие не всегда исполняется [2-3].

На вероятность появления зазора может влиять несколько факторов. Некоторые из них относятся к начальной стадии сборки цилиндрической обечайки и технологии изготовления укрепляющих колец. Укрепляющее кольцо изготавливается абстрагировано от

будущего расположения (на технологической обечайке либо на прессе). Таким образом, повышается вероятность наличия значительного зазора между корпусом аппарата и укрепляющим кольцом.

В ходе исследования геометрических параметров штуцерных узлов отмечены случаи, когда величина зазора на периферии и вблизи штуцера была неодинакова, т.е. укрепляющее кольцо установлено под углом. По описанному ранее алгоритму [2] была решена серия задач с переменной величиной зазора вблизи штуцера и на периферии - в месте приварки укрепляющего кольца к обечайке:

- модель а - зазор вблизи штуцера 3 мм, на периферии 0,008 м (рисунок 1, а);
- модель б - зазор вблизи штуцера 8 мм, на периферии 0,003 м (рисунок 1, б);
- модель в - зазор вблизи штуцера 8 мм, на периферии 0 м (рисунок 1, в).

Рисунок 1. Модели штуцерного узла с укрепляющим кольцом, установленным под углом к поверхности корпуса

Оценка определения напряженно-деформированного состояния части корпуса аппарата в месте присоединения к нему штуцера проводилась с применением программной системы конечно-элементного анализа ANSYS. Графики изменения компонент напряжений вдоль образующей обечайки в меридиональном и окружном сечениях рассматриваемых моделей приведены на рисунках 2 и 3.

На рисунке 4 приведен график изменения эквивалентных напряжений вдоль образующей корпуса аппарата, из которого видно, что отклонения от нормального расположения укрепляющего кольца являются причиной перераспределения напряжений: при конусности укрепляющего кольца (модели б и в, рисунок 1, а и б) в месте соединения штуцера с обечайкой эквивалентные напряжения по-

вышаются по сравнению с моделью, имеющей увеличивающуюся от штуцера величину зазора (модель а, рисунок 1, а) на 9 МПа, а в сравнении с кольцом без зазора повышение составляет практически 35 МПа. Таким образом, необходимо предусмотреть контроль зазора на стадии изготовления аппарата между укрепляющим кольцом и поверхностью аппарата не только по наружному диаметру кольца, но и вблизи штуцера.

Учитывая тот факт, что в случае сварки штуцера вследствие воздействия значительных сварочных напряжений происходит деформация корпуса с уводом внутрь и образованием трудно устранимого зазора между кольцом и корпусом, то целесообразно использовать один из способов снижения сварочных напряжений.

Рисунок 2. График изменения напряжений вдоль образующей обечайки в меридиональном сечении моделей

Рисунок 3. График изменения напряжений вдоль образующей обечайки в окружном сечении моделей

Рисунок 4. График изменения эквивалентных напряжений вдоль образующей обечайки

Одним из эффективных решений данной задачи является применение вибрационной обработки в процессе сварки [4-6].

Как правило, в процессе эксплуатации на узел штуцера воздействует не только внутреннее давление в аппарате, но и нагрузка от присоединенного трубопровода, установленной трубопроводной арматуры и т.д.

Для оценки влияния осевой нагрузки на напряженное состояние узлов приварки штуцера к корпусу аппарата с дефектом сборки были проведены расчеты, при которых на разработанные модели была приложена дополнительная осевая нагрузка.

Полученные результаты (рисунок 5) показывают, что несмотря на условия нагружения с ростом зазора повышается величина напряжения в месте соединения штуцера с обечайкой, при этом наибольший рост напряжений имеет место в случае возникновения зазора, т.е. при изменении его величины от 0 до 1 мм (11,1 МПа; 7,8 %). При увеличении зазора до 9 мм (обнаруженные в итоге осмотра штуцерных узлов работающих сосудов) максимальные напряжения увеличиваются на 28,3 МПа, что составляет 19,5 %. Характер изменения напряжений нелинейный.

Увеличение зазора свыше 10 мм практически не оказывает влияние на напряженное состояние в зоне приварки штуцера.

Для определения ресурса работы данного узла и проведения сравнительных экспериментов с учетом реальной нагрузки штуцерного узла были проведены исследования прочности конструкции при воздействии вибрации на практике.

Данные эксперименты по изучению влияния зазора между кольцом и укрепляемым участком корпуса аппарата на срок эксплуатации штуцера при нагружении внутренним давлением и циклической нагрузки на штуцер проводили с использованием емкости из металла в натурную величину, созданной для этой цели.

Исследование на герметичность проводили на обечайке, изготовленной из стали 09Г2С, высотой 1,6 м, диаметром 0,8 м и толщиной стенки 0,008 м (рисунок 6). К сваренной конструкции корпуса и днища приваривали также опытный штуцер диаметром 0,100 м из аналогичной стали, укрепляющие кольца с различным зазором, штуцер для подачи воздуха. После сварки швы были проверены на герметичность.

Рисунок 5. Графики зависимости максимальных эквивалентных напряжений в штуцерном узле от величины зазора и условий нагружения

а)

б)

а) емкость с кольцами перед сборкой;
б) испытание узла с укрепляющим кольцом

Рисунок 6. Экспериментальная установка

Вибратор марки ИВ устанавливался на штуцерный узел с частотой вибрации по 50 Гц и нагрузкой 1 кН. Эти данные взяты из технических характеристик вибратора.

Практическое исследование проведено в лаборатории. Температура окружающей среды составляла 18-20 °С. Результаты замеров вибрационных колебаний прибором Вибротест МГ-4 показали, что частота вибраций колеблется в интервале 45,4-49,6 Гц, амплитуда колебаний вблизи штуцера 0,26-0,3 мм. Параметры колебаний в зависимости от величины зазора не изменялись. Воздушная среда в сосуд подавалась с помощью компрессора, давление в сосуде в процессе эксперимента было статическим и

составляло 2 атм (0,2 МПа).

Ресурс работы оценивали по герметичности (с применением мыльного раствора).

Результаты опытов продемонстрировали, что с увеличением зазора срок эксплуатации укрепленного накладным кольцом штуцера значительно уменьшается (рисунок 7). В случае величины зазора между кольцом и корпусом аппарата 6 мм ресурс работы снижается на 12 %, 9 мм - на 18 %. Выход воздуха отмечали при зазоре 3 мм через сигнальное отверстие, а при зазорах 6 и 9 мм также через сварные соединения между укрепляющим элементом и корпусом аппарата.

Рисунок 7. Зависимость влияния величины зазора на ресурс работы штуцерного узла

Таким образом, с целью гарантии прочности и долговечности сосудов и аппаратов в условиях статического и циклического режимов эксплуатации возникает необходимость обязательного контроля величины зазора с последующим снижением её как минимум до стандартных значений.

Выводы

1. Установлено, что с увеличением зазора растут напряжения в месте сопряжения штуцера с обечайкой, при этом наиболее существенное увеличение напряжений - на 11,1 МПа происходит при возникновении зазора, т.е. изменении его величины от 0 до 1 мм.

При увеличении зазора до 9 мм максимальные напряжения увеличиваются на 28,3 МПа, что составляет 19,5 %.

Увеличение зазора между укрепляющим кольцом и корпусом свыше 10 мм практически не оказывает влияние на напряженное состояние в зоне приварки штуцера.

2. Численное решение задачи, учитывающей отклонения от нормального расположения укрепляющего кольца, показало, что при конусности укрепляющего кольца в месте сопряжения штуцера с обечайкой эквивалентные напряжения повышаются по сравнению с моделью, имеющей увеличивающийся от штуцера зазор, на 10 МПа, а в сравнении с исполнением без зазора практически на 35 МПа. Это обуславливает необходимость предусмотреть контроль зазора в процессе изготовления аппарата между укрепляющим кольцом и поверхностью аппарата не только по наружному диаметру кольца, но и вблизи штуцера.

3. Проведенные натурные опыты продемонстрировали, что с увеличением зазора срок эксплуатации укрепленного накладным кольцом штуцера значительно уменьшается, при зазоре между кольцом и корпусом аппарата 0,006 м ресурс работы снижается на 12,0 %, а при зазоре 9 мм - на 18,0 %.

Список литературы

1. Краснов А.В., Садыкова З.Х., Пережогин Д.Ю., Мухин И.А. Статистика чрезвычайных происшествий на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности за 2007-2016 гг. // Сетевое издание «Нефтегазовое дело». 2017. № 6. С. 179-191. URL: http://ogbus.ru/issues/6_2017/ogbus_6_2017_p179-191_KrasnovAV_ru.pdf.
2. Аписов И.В., Четверткова О.В., Каретников Д.В., Ибрагимов И.Г., Закиров Т.Э. Анализ напряженного состояния укрепленного накладным кольцом штуцерного узла с учетом дефектов сборки // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2014. № 5. С. 223-237. URL: http://ogbus.ru/issues/5_2014/.
3. Файрушин А.М., Зарипов М.З., Каретников Д.В., Яковлева Д.Н., Исламова А.В. Разработка рекомендаций по применению локально укрепленных штуцерных узлов с ребрами жесткости // Сетевое издание «Нефтегазовое дело». 2017. № 6. С. 76-95. URL: http://ogbus.ru/issues/6_2017/ogbus_6_2017_p76-95_FairushinAM_ru.pdf.
4. Файрушин А.М., Каретников Д.В., Салмин А.Н., Хаддад Дж.А. О влиянии параметров вибрационной обработки на свойства металла сварного соединения // Нефтегазовое дело. 2011. Т. 9. № 2. С. 70-75.

References

1. Krasnov A.V., Sadykova Z.Kh., Perezhogin D.Yu., Mukhin I.A. Statistika chrezvychaynykh proisshествii na ob'ektakh neftepereraba-tyvayushchei i neftekhimicheskoi promyshlennosti za 2007-2016 gg. [Statistics of Emergency Accidents in the Refining and Petrochemical Industry for the 2007-2016 years]. *Setevoe izdanie «Neftegazovoe delo» - Online Edition «Oil and Gas Business»*, 2017, No. 6, pp. 179-191. URL: http://ogbus.ru/issues/6_2017/ogbus_6_2017_p179-191_KrasnovAV_ru.pdf. [in Russian].
2. Apisov I.V., Chetvertkova O.V., Karetnikov D.V., Ibragimov I.G., Zakirov T.E. Analiz napryazhennogo sostoyaniya ukreplennogo nakladnym kol'tsom shtutsernogo uzla s uchetom defektov sborki [Deflected Mode's Analyze of Vessel's Connecting Pipe Strengthened with Restorative Ring]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» - Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business»*, 2014, No. 5, pp. 223-237. URL: http://ogbus.ru/issues/5_2014/. [in Russian].
3. Fairushin A.M., Zaripov M.Z., Karetnikov D.V., Yakovleva D.N., Islamova A.V. Razrabotka rekomendatsii po primeneniyu lokal'no ukreplennykh shtutsernykh uzlov s rebrami zhestkosti Development of Recommendations on the Application of Locally Strengthened Vessel's Connecting Pipes with Enforcement Ribs // *Setevoe izdanie «Neftegazovoe*

5. Файрушин А.М., Каретников Д.В., Ризванов Р.Г., Гасимзянов Б.А. Исследование влияния вибрационной обработки стали 09Г2С в процессе сварки на металл сварного шва // Расплавы. 2017. № 2. С. 162-170.

6. Karetnikov D.V., Rizvanov R.G., Fairushin A.M., Kolokhov K.S. Increasing the Reliability of Oil and Gas Equipment Working in the Conditions of Steep Temperature Gradients // Welding International. 2013. Vol. 27. No. 7. P. 557-560.

delo - Online Edition «Oil and Gas Business», 2017, No. 6, pp. 76-95. URL: http://ogbus.ru/issues/6_2017/ogbus_6_2017_p76-95_FairushinAM_ru.pdf. [in Russian].

4. Fairushin A.M., Karetnikov D.V., Salmin A.H., Khaddad Dzh.A. O vliyaniy parametrov vibratsionnoi obrabotki na svoystva metalla svarnogo soedineniya [Influence of Vibration Treatment Conditions on Qualities of Welding Joints]. *Neftegazovoe delo - Petroleum Engineering*, 2011, Vol. 9, No. 2, pp. 70-75. [in Russian].

5. Fairushin A.M., Karetnikov D.V., Rizvanov R.G., Gasimzyanov B.A. Issledovanie vliyaniya vibratsionnoi obrabotki stali 09G2S v protsesse svarki na metall svarnogo shva [Study of Influence of Vibration Steels 09G2S during Welding the Weld Metal]. *Rasplavy - Journal «Melts»*, 2017, No. 2, pp. 162-170. [in Russian].

6. Karetnikov D.V., Rizvanov R.G., Fairushin A.M., Kolokhov K.S. Increasing the Reliability of Oil and Gas Equipment Working in the Conditions of Steep Temperature Gradients. *Welding International*, 2013, Vol. 27, No. 7, pp. 557-560.

Авторы

• Зарипов Марс Зульфатович, канд. техн. наук, доцент
Уфимский государственный
нефтяной технический университет
Доцент кафедры «Технология нефтяного
аппаратостроения»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: mzzaripov@mail.ru

• Файрушин Айрат Миннуллович, канд. техн. наук, доцент
Уфимский государственный
нефтяной технический университет
Доцент кафедры «Технология нефтяного
аппаратостроения»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: tna_ugntu@mail.ru

• Яковлева Дарья Николаевна
Уфимский государственный
нефтяной технический университет
Студент кафедры «Технология нефтяного
аппаратостроения»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: tna_ugntu@mail.ru

The Authors

• Zaripov Mars Z., Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Petroleum Apparatus Technology Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: mzzaripov@mail.ru

• Fairushin Airat M., Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Petroleum Apparatus Technology Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: tna_ugntu@mail.ru

• Yakovleva Darya N.
Ufa State Petroleum Technological University
Student of Petroleum Apparatus Technology Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: tna_ugntu@mail.ru