DOI: 10.17122/ntj-oil-2017-4-84-91

УДК 622.24

И.Ф. Тимирханов, Ф.Н. Янгиров., А.А. Альмухаметов, А.В. Греб (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация)

ИССЛЕДОВАНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОСНОВНОЙ ТРУБНОЙ КОНСТРУКЦИИ БУРОВОГО РАЙЗЕРА АБР-Г

I.F. Timirkhanov, F.N. Yangirov, A.A. Almukhametov, A.V. Greb
(Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation)

INVESTIGATIONS OF WELDED CONNECTIONS OF THE BASIC TUBE DESIGN OF DRILLING RISER ABR-G

Введение

Рассматривается проблема обеспечения работоспособности основных трубных конструкций райзера (водоотделяющей колонны). Райзер является одной из основных составляющих в процессе разработки нефтяных и газовых месторождений на шельфе и море. Существуют различные виды водоотделяющих колонн, которые применяются в зависимости от технологических задач. Система райзера является промежуточным звеном между морской платформой и устьем скважины на морском дне. Райзер изолирует скважину от окружающей среды, обеспечивает замкнутую циркуляцию бурового раствора, служит каналом для спуска в скважину бурильных и обсадных труб, геофизической аппаратуры, а также позволяет управлять элементами противовыбросового оборудования и соединителями через гидравлические и сервисные трубопроводные линии, расположенные по всей длине райзера.

Конструкция райзера низкого давления - это 21-дюймовые трубы с приварными фланцевыми соединениями типа «Vetco». Райзер имеет две гидравлические линии, две линии глушения-дросселирования и одну линию бустерную.

Background

This article deals with the problem of ensuring the operability of the main pipe structures of the riser. Riser is one of the main components in the development of oil and gas fields on the shelf and sea. There are different types of risers, which are used depending on technological tasks. The system of the riser is an intermediate link between the offshore platform and the wellhead on the seabed. Riser isolates the well from the environment, provides a closed circulation of the drilling fluid, serves as a channel for drilling and casing pipes, geophysical equipment, and also manages the blowout device components and connectors through hydraulic and service pipelines laid along the entire length of the riser.

The design of the low-pressure riser is the concept of a 21-inch pipe with welded flange connections of the «Vetco» type. Riser has two hydraulic lines, two lines of jamming-throttling and one booster.

Материалом для изготовления трубной конструкции райзера служит сталь, обладающая хорошими пластическими свойствами. Однако в условиях глубоководной морской разведки и разработки месторождений с увеличением глубины и приближением веса конструкции к критическим значениям прочности встал вопрос о возможности применения титановых и алюминиевых сплавов, а также композитных материалов.

Цели и задачи

Целью исследования является определение прочностных характеристик образцов сварных соединений, выполненных ручной дуговой сваркой, на статический предел прочности и динамический - малоцикловую усталость и сравнение полученных результатов с данными, которые были определяющими при выборе технологии производства сварочных работ при изготовлении райзера АБР-Г.

Методы

Испытания образцов сварных соединений на разрывной машине INSTON 5900 Series. Анализ сплава на малоцикловую усталость с помощью сервогидравлической испытательной машины PSA, 100 кН (Schenck Trebel Corporation).

Результаты

По результатам проведенных исследований были сделаны выводы, что технология производства сварочных работ ручной дуговой сваркой не обеспечивает необходимых прочностных характеристик, требуемых для эксплуатации райзера АБР-Г. Прочность сварного соединения составила $0,60-0,61\sigma$ от предела текучести основного металла, тогда как эталонные значения составили $0,98\sigma$.

A typical material for the construction of the pipe structure of the riser is steel with good plastic properties, however, as the depth of the sea increases, exploration and development of deposits is becoming a matter of the possibility of using titanium and aluminum alloys, as well as composite materials. This is due to the increase in weight of equipment as the depth increases - a consequence of approaching the weight of the structure to critical strength values.

Aims and Objectives

The main objective of the research is the analysis of displacement characteristics of oil wells and oil fields.

Methods

Samples of welded joints were subjected on the tensile machine INSTON 5900 Series. Alloy was analyzed for low-cycle fatigue, on a test machine PSA, 100 kN (Schenck Trebel Corporation).

Results

Based on the results of the conducted studies, it was concluded that the technology of welding manual arc welding does not provide the necessary strength characteristics required for operation of the ADB-G riser. The strength of the welded joint was $0.60-0.61\sigma$ from the yield strength of the base metal, while the reference values were 0.98σ .

Ключевые слова: райзер, металлы, разрывная машина, испытания, нагрузка, алюминиевый сплав, секция, сварное соединение, материал, коррозия

Key words: riser, metals, tensile machine, tests, load, aluminum alloy, section, welded joint, material, corrosion

---

Технологический процесс проектирования райзера включает комплекс исследований, расчетов, направленных на определение основных технических характеристик проек-

тируемого объекта в заданных условиях эксплуатации. Программа разработки и испытаний основных элементов конструкции состоит из следующих этапов:

1) оценка нагрузок, действующих на райзер;

2) проектирование и разработка конструкции райзера;

3) разработка (выбор) технологии производства заготовок, механической обработки и сварки;

4) изготовление полноразмерного образца секции райзера, включающей главную трубу, соединение и сервисные линии;

5) механические испытания малых и полномасштабных образцов секции райзера;

6) металлографические исследования и коррозионные испытания.

Весь этот комплекс работ является трудоемким, требующим большой материально-технической базы. Для определения основных прочностных характеристик трубной конструкции достаточно провести испытания образцов сварных соединений.

В качестве образца был взят райзер низкого давления АБР-Г, разработанный компанией по НИОКР и инжинирингу в России ООО «Везерфорд» [1-4]. Марка алюминиевого сплава для главной трубы райзера представлена в виде системы алюминиевых сплавов (Al-Zn-Mg) 1980T1.

Основной особенностью сплава 1980T1 являются его высокие прочностные характеристики (предел прочности, предел текучести), хорошие показатели свариваемости с термообработкой шва. Выбор материала является основной задачей, стоящей перед инженерами, так как от характеристик металла зависит его работоспособность в данных условиях эксплуатации [5, 6]. Основные прочностные характеристики алюминиевого сплава представлены в таблице 1.

Таблица 1. Прочностные характеристики алюминиевого сплава

Параметры	Фланец и основная труба
Система сплавов	Al-Zn-Mg
Маркировка	1980T1
Предел прочности, МПа	400
Предел текучести, МПа	350

Не менее важной задачей является определение технологии производства сварочных работ. Сварное соединение отвечает за надежность всей конструкции. Металл в зоне сварного соединения сильно отличается от основного металла по прочностным характеристикам и наличием отдельных зон со структурной и физико-химической неоднородностью, большим разбросом электрохимического потенциала (ЭХП) в различных коррозионных средах. Данное явление провоцирует коррозионное разрушение при общей достаточно высокой коррозионной стойкости выбранных конструкционных алюминиевых сплавов.

Исследования характеристики сварных соединений проводились согласно ГОСТ 6996-66 [7]. Настоящий стандарт устанавливает методы определения механических свойств сварного соединения в целом и его отдельных участков, а также наплавленного металла при всех видах сварки металлов и их сплавов в следующих видах:

а) на статическое растяжение;

б) усталостные испытания.

При испытании сварного соединения на статическое растяжение определяют временное сопротивление наиболее слабого участка. Временное сопротивление подсчитывают по ГОСТ 1497 [8]. При испытании определяют место разрушения образца (по металлу шва, по металлу околошовной зоны, по основному металлу).

Испытания проводят, как правило, на образцах, толщина или диаметр которых равны толщине или диаметру основного металла. Форма и размер плоских образцов для испытания стыковых соединений должны соответствовать технологическим чертежам.

Особенности сварки алюминия и его сплавов состоят в наличие тугоплавкой оксидной пленки, которая препятствует сплавлению металла сварочной ванны с основным металлом с образованием неметаллических включений. Удалением оксидной пленки в процессе сварки достигается действием тока при горении дуги. При сварке с постоянным током обратной полярности очищающий процесс протекает на протяжении всего времени горения дуги, при сварке переменным током -

в полупериоды, когда изделие является катодом. Способ удаления пленки действием тока используется при сварке в защитных газах. Основной механизм действия эклектического тока состоит в том, что движущиеся с большой скоростью положительные ионы, попадая на поверхность металла, разрушают оксидную пленку и в результате катодного распыления удаляют ее.

Большую проблему при сварке алюминия и его сплавов вызывает образование пор в сварном шве металла.

В отличие от стали поры в алюминии располагаются преимущественно внутри шва вблизи сплавления его с основным металлом и у поверхности шва, так как основным возбудителем пор в сварном соединении алюминия является водород. Борьба с пористостью при сварке алюминия и его сплавов - первоочередная задача.

Подготовка деталей из алюминия и сплавов на основе данного металла к сварке должна решить сразу две задачи: удаление с поверхности металла тугоплавкой оксидной пленки и исключение возможности деформации соединяемых заготовок в процессе выполнения сварочных работ. Пленку удаляют при помощи механической зачистки области соединения металлическими щетками, напильниками и шлифовальными машинками либо специальными флюсами. Чтобы избежать деформации соединяемых деталей в процессе сварки, их предварительно нагревают в печах или при помощи газовой горелки. Подогрев облегчает удаление газовых пузырьков из сварочной ванны. Процесс ручной дуговой сварки (РДС) в аргоне произведен на аппарате TIG 315 P AC/DC, в качестве

электрода использовалась проволока марки TIG ER-5183 2,0 x 1000,0 мм (AlMg4,5Mn), проволока для случаев сварки, когда требуется очень высокая коррозионная стойкость в морской воде (область применения: кораблестроение, производство нефтяных платформ, криогенных заводов, автомобиле- и вагоностроение).

Основные характеристики режима сварки

Предварительная обработка кромок: очистка, обезжиривание.

Ток обратный, переменный $I = 70-80$ А.

С двойным поддувом аргона.

Перед началом процесса металл был подогрет до температуры $t = 100$ °С.

На разрывной машине INSTON серии 5900 образцы были подвергнуты нагрузкам на разрыв.

В ходе испытания был составлен отчет в виде таблицы 2 и графика зависимости нагрузки от удлинения образца (рисунок 1).

По результатам проведенных исследований установлено, что прочность сварного соединения составила $0,60-0,61\sigma$ от предела текучести основного металла.

Все 3 образца разрушались по сварному шву. Структура шва однородная, без пор и непроваров, отсутствуют видимые дефекты.

Далее был проведен анализ сплава на малоцикловую усталость на сервогидравлической испытательной машине PSA, 100 кН (Schenck Trebel Corporation).

Режим работы аппарата SCHENCK hidroplus SPA определялся на базе испытания сварного соединения на статическое растяжение.

Таблица 2. Сводная таблица результатов испытаний сварных соединений

№ образца	Площадь сечения сварного соединения образца $a*b$, мм	Максимальная нагрузка, N	Предел прочности, МПа	Место разрушения
1	115	26100	227	По сварному шву (рисунок 2)
2	115	27400	238	По сварному шву (рисунок 2)
3	110	25600	232	По сварному шву (рисунок 2)

Данные: Канал 1. Скорость испытания: 1 мм/мин.	Время: 16 октября 2017

Рисунок 1. Диаграмма нагрузок образцов

Рисунок 2. Сварные соединения образцов после испытания на разрывной машине INSTON серии 5900

Вследствие технической несовместимости конструкции машины для продолжения экспериментов пришлось уменьшить площадь сечения сварного соединения в 2 раза для эквивалентного снижения нагрузок:

$$P_{\max} = N_{\text{ср}} / 2; P_{\max} = 26366 / 2 = 13183 \text{ (Н)}.$$

Максимальное и минимальное нагружения определены из условий:

$$P_{\max} = 0,7 \times N_{\max} = 0,7 \times 13183 = 9228 \text{ (Н)};$$

$$P_{\min} = 0,2 \times P_{\max} = 0,2 \times 9228 = 1845 \text{ (Н)};$$

$$P_{\text{const}} = (P_{\max} - P_{\min}) / 2 + P_{\min} = (9228 - 1845) / 2 + 1845 = 3876 \text{ (Н)}.$$

На рисунке 3 представлена диаграмма нагружения образцов.

Установлено, что разрушение образцов

произошло по телу сварного соединения.

В таблице 3 приведены данные о разрушениях образцов.

Рисунок 3. Диаграмма нагружения образцов.

Таблица 3. Данные о разрушениях образцов

№ образца	Количество циклов нагружения до образования трещины	Количество циклов нагружения до разрушения образца	Место разрушения
1	1150	1455	По сварному шву (рисунок 4)
2	1200	1380	По сварному шву (рисунок 4)
3	1020	1311	По сварному шву (рисунок 4)

Рисунок 4. Испытания сварных соединений на малоциковую усталость на сервогидравлической испытательной машине PSA, 100 кН

Вывод

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что данная технология производства сварочных работ (РДС) не обеспечивает необходимых прочностных характеристик. Прочность сварного соединения составила $0,60-0,61\sigma$ от предела текучести основного металла при эталонных значениях $0,98\sigma$.

Все образцы на всех испытаниях разрушались по сварному шву.

Необходимо провести дополнительные исследования:

1. определение характеристик образцов сварных соединений РДС с присадочной проволокой СВ 1557, которая обеспечивает более высокие (на 8 %) прочностные характеристики сварного шва, но более склонна к коррозионному разрушению;

2. для определения качества сварного соединения необходимо произвести неразрушающий контроль, хотя визуальный контроль не выявил явных дефектов сварного соединения по сечению разрыва: отсутствуют поры и непровары, структура зерна шва одноцветная и однородная.

Список литературы

1. Гельфгат М.Я., Тихонов В.С. Райзеры из алюминиевых сплавов. Опыт инновационного проекта для морских нефтегазовых скважин // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. 2013. Т. 1, № 1. С. 40-47.
2. Нефтегазовое дело: в 6 т.: учеб. пособие / Под ред. проф. А.М. Шаммазова. СПб.: Недра, 2012. Т. 2: Бурение нефтяных и газовых скважин / Ф.А. Агзамов и др. 436 с.
3. Гамсахурдия Г.Р., Вайнерман М.И., Басович Д.В., Бачурин А.А. Технология разведочного бурения на нефть и газ с бурового научно-исследовательского судна // Технические науки: теория и практика: матер. II Междунар. науч. конф. (г. Чита, январь 2014 г.). Чита: Изд-во «Молодой ученый», 2014. С. 65-74.
4. Яхин А.Р., Исмаков Р.А., Гарифуллин Р.Р., Янгиров Ф.Н. Упрочнение поверхностей для повышения ресурса работы буровых труб // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2014. № 4. С. 381-399. URL: http://ogbus.ru/issues/4_2014/ogbus_4_2014_p.381-399_YakhinAR_ru.pdf. (in Russ.).
5. Deul H. Aluminum Alloy Allows Deeper Drilling at Existing Plants // SPE/IADC Drilling Conference. Amsterdam, February, 23-25, 2005.
6. Tikhonov V.S., Safronov A.I., Gelfgat M.Ya., Grebtsov N.N., Podrazhansky A.M. Selection of Parameters and Bending Vibrations of Deepwater Drilling Aluminum Riser in Random Waves // Proceedings of the 17th International Conference on OMAE. Lisbon, Portugal, 1998.
7. ГОСТ 6996-66. Сварные соединения. Методы определения механических свойств. М.: Изд-во стандартов, 1976. 83 с.
8. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение. М., 1981. 25 с.

References

1. Gel'fgat M.Ya., Tikhonov V.S. Raizery iz alyuminievykh splavov. Opyt innovatsionnogo projekta dlya morskikh neftegazovykh [Raisers from Aluminum Alloys Experience of an Innovative Project for Offshore Oil and Gas]. *Vestnik Assotsiatsii burovyykh podryadchikov - Bulletin of the Association of Drilling Contractors*, 2013, T. 1, No. 1, pp. 40-47. (in Russ.).
2. *Neftgazovoe delo: v 6 t.: ucheb. posobie* [Petroleum Engineering: Tutorial: in 6 T.]. Ed. by prof. A.M. Shammazov. Saint-Petersburg: Nedra Publ., 2012. T. 2: Burenie neftyanykh i gazovykh skvazhin [Oil and Gas Wells Drilling] (F.A. Agzamov et al.). 436 p. (in Russ.).
3. Gamsakhurdiya G.R., Vainerman M.I., Basovich D.V., Bachurin A.A. Tekhnologiya razvedochnogo bureniya na nef' i gaz s burovogo nauchno-issledovatel'skogo sudna [Technology of Exploratory Drilling for Oil and Gas from a Drilling Research Vessel]. *Materialy II Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Tekhnicheskie nauki: teoriya i praktika» (Chita, yanvar' 2014 g.)*. Materials of II International Scientific Conference «Technical Sciences: Theory and Practice» (Chita, January 2014). Chita: Molodoi uchenyi Publ., 2014, pp. 65-74. (in Russ.).
4. Yakhin A.R., Ismakov R.A., Garifullin R.R., Yangirov F.N. Uprochnenie poverkhnostei dlya povysheniya resursa raboty buril'nykh trub [Surface Hardening for Drill Pipe Life Improvement]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftgazovoe delo» - Electronic Scientific Journal Oil and Gas Business*, 2014, No. 4, pp. 381-399. URL: http://ogbus.ru/issues/4_2014/ogbus_4_2014_p.381-399_YakhinAR_ru.pdf. (in Russ.).
5. Deul H. Aluminum Alloy Allows Deeper Drilling at Existing Plants. *SPE/IADC Drilling Conference*. Amsterdam, February, 23-25, 2005.
6. Tikhonov V.S., Safronov A.I., Gelfgat M.Ya., Grebtsov N.N., Podrazhansky A.M. Selection of parameters and bending vibrations of deepwater drilling aluminum riser in random waves. *Proceedings of the*

17th International Conference on OMAE. Lisbon, Portugal, 1998.

7. GOST 6996-66. *Svarnye soedineniya. Metody opredeleniya mekhanicheskikh svoistv* [State Standard 6996-66. Welded Joints. Methods of Mechanical Properties Determination]. Moscow, Izd-vo standartov, 1976. 83 p. (in Russ.).

8. GOST 1497-84. *Metally. Metody ispytaniy na rastyazhenie* [State Standard 1497-84. Metals. Methods for Tension Tests]. Moscow, 1981. 25 p. (in Russ.).

Авторы

• Тимирханов Искандар Фанисович
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Магистрант кафедры «Бурение нефтяных
и газовых скважин»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: timirmade@mail.ru

• Янгиров Фарит Наилович, канд. техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Бурение нефтяных и газовых
скважин»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
тел. (347) 260-98-84
e-mail: bngs-ufa@mail.ru

• Альмухаметов Азат Ахатович, канд. техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Вычислительная техника
и инженерная кибернетика»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
тел. (347) 243-19-14
e-mail: aza73@mail.ru

• Греб Андрей Владимирович, канд. техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Физическое воспитание»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
тел. (347) 243-19-56
e-mail: fizkultura-ugntu@yandex.ru

The Authors

• Timirkhanov Iskandar F.
Ufa State Petroleum Technological University
Undergraduate Student of Oil and Gas Well
Drilling Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: timirmade@mail.ru

• Yangirov Farit N., Candidate of Technical Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Oil and Gas Well
Drilling Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
tel: (347) 260-98-84
e-mail: bngs-ufa@mail.ru

• Almukhametov Azat A., Candidate of Technical
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Computer Engineering
and Cybernetics Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
tel: (347) 243-19-14
e-mail: aza73@mail.ru

• Greb Andrey V., Candidate of Technical Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Physical Education
Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
tel: (347) 243-19-56
e-mail: fizkultura-ugntu@yandex.ru