

УДК 622.692.4

С.И. Костин, заместитель коммерческого директора, e-mail: kostin_si@svsokol.lipetsk.ru;

А.В. Минченков, к.т.н., начальник технического отдела, ОАО ЛМЗ «Свободный Сокол»;

К.М. Гумеров, д.т.н., профессор, заведующий отделом ГУП «ИПТЭР»

ТРУБЫ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Рассматривается вариант решения проблемы защиты от коррозии нефтегазопромысловых трубопроводов за счет использования труб из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом, которые помимо более высокой коррозионной стойкости обладают рядом дополнительных положительных свойств. Проведены испытания двух методов соединений, исключающих сварку: раструбно-замковых типа RJ и прессовой посадкой типа ПП. Показано, что данные виды соединений обеспечивают герметичность и прочность трубопровода в пределах до 4,0 МПа с достаточным запасом. В настоящее время продолжаются промышленные испытания на опытных участках, создается необходимая нормативная база.

В числе нерешенных важных проблем при обустройстве нефтяных месторождений – защита от коррозии трубопроводных систем. Стальные нефтегазопромысловые трубопроводы из-за сильной коррозионной агрессивности продуктов скважин имеют небольшой ресурс. Увеличения ресурса можно добиться разными путями, один из которых связан с применением труб, обладающих повышенной стойкостью в коррозионно-активных средах: пластмассовых, металлопластовых, стеклопластиковых, а также стальных труб с внутренним защитным покрытием. Каждый из них имеет свои положительные и отрицательные особенности. Практически во всех случаях повышение ресурса приводит либо к снижению прочности, либо к повышению стоимости. Поэтому поиск более эффективных решений до сих пор остается актуальной задачей.

Один из вариантов решения данной задачи связан с применением труб из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ). Такие трубы обладают рядом положительных качеств. По сравнению с трубами из обычных трубопроводных сталей коррозионная стойкость труб из ВЧШГ в 4–10 раз выше, стоимость ниже, прочность практически на том же уровне. Такое благоприятное сочетание свойств способствовало заметному росту производства труб из

ВЧШГ в мире. Они нашли широкое применение в ряде жизненно важных отраслей, в частности в водопроводных, канализационных, газопроводных сетях и системах теплоснабжения крупных городов мира. Продолжаются исследования свойств и совершенствование структуры металла труб и соединительных элементов из ВЧШГ. Выяснилось, что такие трубы в наибольшей степени отвечают экологическим требованиям, что особенно важно для водоснабжения населенных пунктов. Трубы из ВЧШГ обладают высокой хладостойкостью, что очень важно для северных регионов. Они практически не подвергаются старению, в том числе под воздействием сероводородсодержащих сред. Эта особенность могла быть востребована при обустройстве месторождений с большим содержанием серы.

Таким образом, трубы из ВЧШГ обладают множеством положительных свойств, но для их реализации в нефтяных месторождениях требуется решить ряд научных, технических и организационных задач.

Чугун, в том числе ВЧШГ, из-за высокого содержания углерода плохо поддается сварке, особенно в трассовых условиях. На заводе сварку чугуна выполняют специальными никельсодержащими электродами в защитном газе; свариваемые детали предварительно

нагревают, а после сварки подвергают термообработке. Даже после этого не исключаются дефекты сварки. Поэтому монтаж трубопроводов из чугунных труб выполняют методами, исключающими сварку.

Пластичность труб из ВЧШГ приблизительно в два раза ниже, чем у стальных труб. Это требуется учитывать при изготовлении гнутых отводов.

Чугунные трубы изготавливаются методом центробежного литья и имеют шероховатую поверхность. Это может сыграть как положительную, так и отрицательную роль при нанесении защитных покрытий в зависимости от материалов и технологий покрытий.

Отдельного рассмотрения требуют вопросы контроля в приемки труб из ВЧШГ и монтажа трубопроводов, а также диагностики и ремонта трубопроводов в процессе эксплуатации. По мере накопления практического опыта могут появиться новые вопросы, требующие решения.

Широкое применение труб из ВЧШГ в нефтяной отрасли невозможно без соответствующей нормативной базы, учитывающей особенности отрасли.

Предварительное общение с техническими специалистами нефтедобывающих компаний показывает заинтересованность в применении новых материалов и технологий, в том числе

труб из ВЧШГ. В то же время в их сознании крепко утвердилось мнение, что металлические трубы обязательно должны быть соединены сваркой; что сварка – самый надежный способ монтажа и ремонта трубопроводов. Поэтому разрабатываемые технологии без применения сварки должны быть надежными и убедительными. Обозначенные выше проблемы и анализ путей их решения позволил сформулировать следующие задачи для исследований:

- изучение физико-химических характеристик чугуна с шаровидным графитом, коррозионной стойкости в разных средах нефтегазовых промыслов, механических характеристик труб, конструктивных особенностей и технологий соединения труб;
- проведение стендовых испытаний плетей, смонтированных с применением нескольких видов соединений;
- промышленные испытания опытных участков трубопроводов, смонтированных с применением труб из ВЧШГ;
- создание нормативной базы технологий монтажа, эксплуатации, диагностики и ремонта трубопроводов из ВЧШГ;
- анализ проблем, связанных с обеспечением безопасности при строительстве и эксплуатации трубопроводов из ВЧШГ.

В настоящее время в России трубы и соединительные детали из ВЧШГ выпускаются только одним заводом – ОАО «Липецкий металлургический завод «Свободный сокол» по ТУ 1461-075-50254094-2011 и ТУ 1460-076-50254094-2011. Металл труб обладает следующими механическими свойствами: временное сопротивление $\sigma_b \geq 420$ МПа; условный предел текучести $\sigma_{0,2} \geq 300$ МПа; относительное удлинение $\delta \geq 10\%$; ударная вязкость на образцах без надреза не менее 3 кгс·м/см². Химический состав ВЧШГ соответствует таблице:

Таблица

C	Si	Mn	Mg	S	P
3,3–3,9	1,9–2,9	до 0,4	0,025–0,05	£ 0,015	£ 0,1

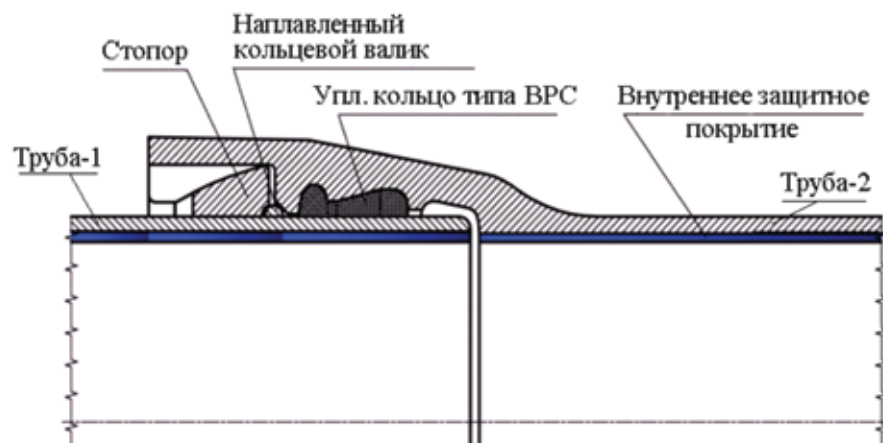


Рис. 1. Раструбно-замковое соединение типа RJ

В настоящее время разработан ряд способов соединения труб из ВЧШГ без применения сварки, среди которых наиболее надежным и апробированным является раструбно-замковое соединение (RJ). На рисунке 1 показано соединение типа RJ, где используется уплотнительное резиновое кольцо типа ВРС (также могут использоваться кольца типа TYTON). Особенность такого соединения состоит в том, что оно является самоуплотняющимся: под воздействием внутреннего давления резиновое кольцо деформируется и закрывает собой все зазоры в стыке. Прочность в кольцевом направлении обеспечивается толщиной стенки труб, в осевом направлении – наличием наплавленного кольцевого валика и стопорами.

Соединение типа RJ не является жестким и обеспечивает взаимный поворот

осей труб в пределах $\pm 5^\circ$. Это свойство позволяет без напряжений укладывать трубопровод в неровной местности, а также обеспечивает прочность в нестабильных грунтах и сейсмически активных районах.

Соединение типа RJ не нуждается в температурных компенсаторах, так как в каждом стыке имеется возможность свободного взаимного смещения труб в осевом направлении в пределах нескольких миллиметров.

Был проведен большой объем испытаний таких соединений, в том числе стендовые испытания и в составе реальных трубопроводов. Например, соединения типа RJ подвергались трем видам стендовых испытаний:

- испытаниям внутренним давлением;
- испытаниям внутренним давлением и изгибом;

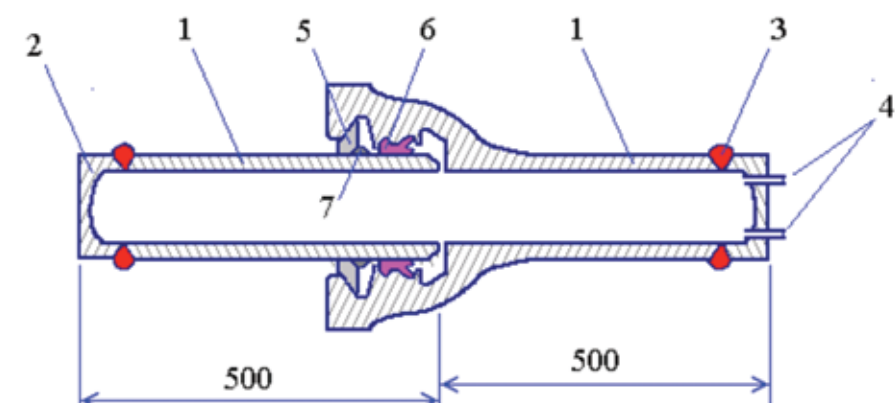


Рис. 3. – Образец для гидротестирования соединения RJ
1 – катушки трубы из ВЧШГ; 2 – приварные заглушки; 3 – сварной шов; 4 – штуцера для закачки испытательной жидкости и выпуска воздуха; 5 – стопор; 6 – резиновая манжета; 7 – наплавленный валик

ТРУБЫ ИЗ ВЧШГ ВЫДЕРЖИВАЮТ ЗАВОДСКОЕ ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ:

- при условном диаметре DN от 80 до 300 мм – не менее 6,0 МПа;
- при условном диаметре DN от 400 до 500 мм – не менее 4,0 МПа.

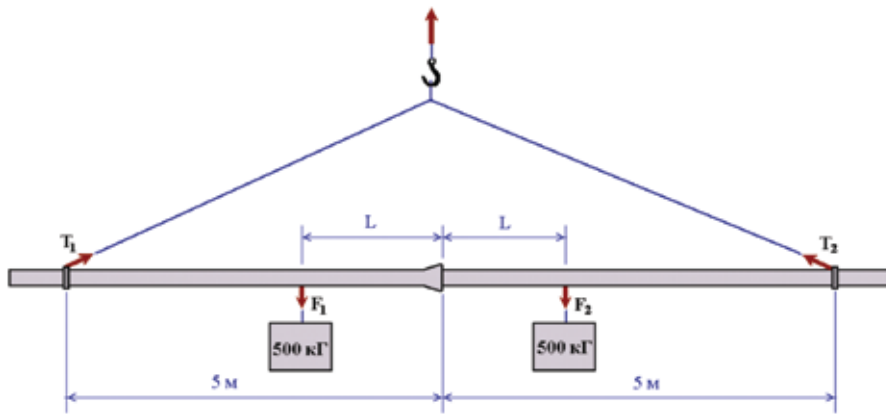


Рис. 4. Схема испытаний соединения RJ на внутреннее давление и изгиб

• циклическим испытаниям внутренним давлением и поперечным изгибом. Испытания внутренним давлением проведены в ООО «ЧугунСпецСтрой» под руководством В.А. Носова (г. Липецк). Для этого изготовлены три образца из труб с условным диаметром DN=100 мм, как показано на рисунке 3.

ИСПЫТАНИЯ ВЫПОЛНЕНЫ В СЛЕДУЮЩЕМ РЕЖИМЕ:

1) закачка воды и подъем давления – до 10,0 МПа; выдержка – 10 минут; сброс давления – до 0;
 2) подъем давления – до 15,0 МПа; выдержка – 10 минут; сброс давления;
 3) подъем давления – до 20,0 МПа; выдержка – 10 минут; сброс давления.
 В результате испытаний получены следующие результаты. Два образца выдержали до конца все три этапа испытаний. Третий образец выдержал первые два этапа, а на третьем этапе произошло разрушение при давлении 19,0 МПа.

Таким образом, соединение RJ показало высокие прочностные свойства и обеспечило герметичность при давлениях, более чем в 3 раза превышающих заводское испытательное давление.

Испытания изгибом при наличии внутреннего давления проведены в ООО «ЧугунСпецСтрой» под руководством В.А. Носова (г. Липецк). Для этого изготовлены три плети с условным диаметром DN=100 мм, аналогичные рисунку 3, но состоящие из двух труб в полную длину по 6 м. Испытания проведены по схеме, показанной на рисунке 4. Программа испытаний включала следующие этапы:

1) Заполнение плети водой и создание внутреннего давления 1,6 МПа.
 2) Закрепление грузов F_1 и F_2 на расстоянии $L=4$ м от середины и подъем

плети. Выдержка 10 минут в поднятом состоянии, спуск плети и установка на опоры без снижения давления.

3) Ступенчатое перемещение грузов F_1 и F_2 так, чтобы расстояние уменьшилось на 0,25 м, подъем плети до отрыва грузов от земли. Выдержка 10 минут.

4) Повторение этапа 3 до тех пор, пока соединение не разрушится или плеть не получит необратимые (пластические) деформации.

В результате испытаний первая плеть согнулась пластически при $L=3$ м, вторая и третья плети – при $L=2,75$ м. Во



Рис. 5. Испытания плети с соединением RJ на внутреннее давление с изгибом



Рис. 6. Плеть с соединением RJ после испытаний на внутреннее давление с изгибом

всех случаях герметичность стыка не нарушилась; согнулись сами трубы в районе стыка.

На рисунках 5 и 6 показаны процесс испытаний и вид плети после испытаний.

Циклические испытания внутренним давлением и поперечным изгибом проведены на производственной базе ООО ПКФ «Малый Сок» (г. Бугульма). Для этого изготовлены два образца в виде двухтрубных плетей, аналогичные показанным на рисунке 4, с условным диаметром DN=300 мм.

ПРОГРАММА ИСПЫТАНИЙ ВКЛЮЧАЛА СЛЕДУЮЩИЕ ЭТАПЫ:

1) установка плети на ровную поверхность, заполнение водой и подъем давления до 6,0 МПа с 10-минутной выдержкой через каждые 2,0 МПа;
 2) выдержка под давлением 1 час при давлении 6,0 МПа;
 3) циклические изменения давления в диапазоне 0–6,0 МПа; количество циклов – 100;
 4) создание давления 6,0 МПа, подъем плети за середину, как показано на рисунке 7, положение А) и укладка на две опоры, как показано на рисунке 7, положение Б);
 5) подъем и укладка плети на опоры 10 раз, сохраняя внутреннее давление 6,0 МПа;
 6) укладка плети на ровную площадку, сохраняя давление 6,0 МПа. Циклические изменения давления в диапазоне 0–6,0 МПа с выдержкой на высоком давлении по 10 мин. Количество циклов – 10;
 7) подъем плети за середину и в поднятом состоянии циклические изменения давления в диапазоне 0–6,0 МПа с выдержкой на высоком давлении 10 мин. Количество циклов – 10;
 8) снятие всех нагрузок и разборка соединения. Тщательное обследование состояния всех элементов соединения.

ИСПЫТАНИЯ ПОКАЗАЛИ СЛЕДУЮЩЕЕ:

1) Сборка соединения RJ легко выполняется двумя рабочими без специальной подготовки; достаточно ознакомиться с инструкцией по монтажу.
 2) Соединение обладает свойством самогерметизации под действием внутреннего давления.

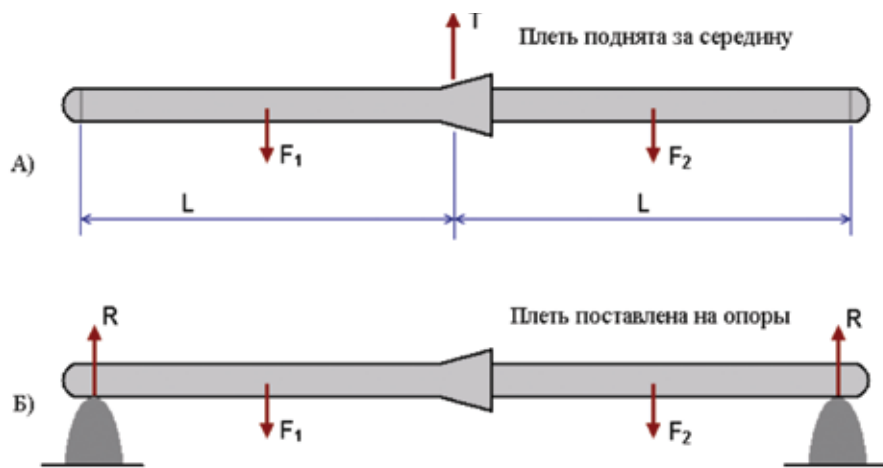


Рис. 7. Циклические испытания на внутреннее давление и изгиб

3) Соединение обладает податливостью при изгибах в рамках заявленных $\pm 5^\circ$.

На всех этапах испытаний соединения в целом и его отдельные элементы не получили видимых повреждений и сохранили при этом герметичность.

Таким образом, раструбно-замковые соединения RJ с уплотняющей резиновой манжетой обеспечивают прочность и герметичность трубопровода из ВЧШГ.

В настоящее время в качестве опытных участков трубы из ВЧШГ проходят апробацию в ряде нефтяных месторождений. На рисунках 8 и 9 показаны отгруженная партия труб и смонтированный трубопровод в траншее перед засыпкой и испытаниями.

Подготовлен проект Свода правил «Проектирование, строительство, эксплуатация и ремонт промысловых

нефтегазопроводов из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом», который проходит апробацию в нефтедобывающих компаниях и научных центрах. Дополнительную информацию о трубах из ВЧШГ, требованиях к ним, технологиях монтажа и ремонта можно получить из нормативно-технической документации [1–9].

ТАКИМ ОБРАЗОМ, СДЕЛАНЫ СЛЕДУЮЩИЕ ГЛАВНЫЕ ВЫВОДЫ:

1. Результаты испытаний показали возможность получения равнопрочных соединений труб из ВЧШГ без использования сварки, что позволяет применять их при строительстве нефтепромысловых трубопроводов.

2. Испытаны и рекомендуются к практическому использованию в нефтепромысловых условиях наиболее эффективные технологии монтажа трубо-



Рис. 8. Партия труб из ВЧШГ под соединения типа RJ, подготовленная к монтажу трубопровода



Рис. 9. Трубопровод Ду 200 мм, смонтированный из труб ВЧШГ с применением соединений типа RJ

проводов из ВЧШГ – с помощью разъемных раструбно-замковых соединений с использованием герметизирующей резиновой манжеты.

Литература:

1. ТУ 1461-075-50254094-2011 Трубы с раструбно-замковым соединением RJ из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом для строительства промысловых трубопроводов на нефтяных месторождениях. Технические условия.
2. ТУ 1460-076-50254094-2011 Соединительные части с раструбно-замковым соединением RJ из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом для строительства промысловых трубопроводов на нефтяных месторождениях. Технические условия.
3. ТУ 2531-077-50254094-2011 Уплотнительные резиновые кольца для строительства промысловых трубопроводов на нефтяных месторождениях из труб с раструбно-замковым соединением RJ. Технические условия.
4. ТУ 1461-008-23967414-2010 Трубы из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом для строительства промысловых трубопроводов на нефтяных месторождениях. Технические условия.
5. ТУ 1468-014-23967414-2011 Части соединительные сварные из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом для строительства промысловых трубопроводов на нефтяных месторождениях. Технические условия.
6. ТИ 01-СН-2011 Сварка труб из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом для обустройства нефтяных и газовых месторождений. Технологическая инструкция.
7. КД 01-2012 Классификатор допустимых поверхностных дефектов труб. Липецк, ОАО «ЛМЗ «Свободный Сокол», 2012.
8. Руководство по монтажу труб и фасонных частей с соединением RJ. ОАО «ЛМЗ «Свободный сокол», 2011.

Ключевые слова: высокопрочный, чугун, нефтегазопромысловый, трубопровод, коррозия, испытания, монтаж, соединения, безогневые технологии.