

В. А. Щекин, Д. В. Рогозин

СВАРКА НЕФТЕГАЗОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Допущено ФУМО по университетскому политехническому образованию в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 15.00.00 «Машиностроение»

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2021

УДК 621.791.7 (075.8)

ББК 34.641

Щ38

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *Н. Г. Дюргеров* (РГУПС, г. Ростов-на-Дону);

главный сварщик АО «Черномортранснефть» (г. Новороссийск) *В. С. Бутов*;

главный инженер ООО «Монтажтехстрой» (г. Краснодар) *И. Н. Остроух*

Научный редактор:

академик РИА, доктор технических наук, профессор *В. Ф. Лукьянов*

Щекин, В.А.

Щ38 Сварка нефтегазовых сооружений : учебное пособие / В.А. Щекин, Д.В. Рогозин. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 176 с. : ил., табл.

ISBN 978-5-9729-0649-9

Рассмотрена технологическая схема изготовления магистральных трубопроводов и конструктивных узлов резервуаров. Перечислены основные требования к источникам питания дуги и сварочным материалам, дано описание технологических операций и способов сварки трубопроводов. Показаны особенности сварки при пониженных температурах воздуха. Уделено внимание проверке качества сварных соединений, неразрушающим методам контроля и ремонту сварных швов.

Для студентов сварочных направлений подготовки и специалистов сварочного дела, работающих в различных отраслях нефтедобывающей промышленности. Материал пособия может быть использован при аттестации специалистов сварочного производства и технологий сварки.

УДК 621.791.7 (075.8)

ББК 34.641

ISBN 978-5-9729-0649-9

© Щекин В.А., Рогозин Д.В., 2021

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2021

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2021

ЧАСТЬ I. МАГИСТРАЛЬНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ

1. Введение

В настоящее время в нашей стране реализована большая программа проектирования и строительства крупных российских и транснациональных трубопроводных систем. Это газопроводы «Южный поток», «Турецкий поток», «Северный поток», «Сила Сибири», нефтепроводы «ВСТО – Восточная Сибирь – Тихий Океан» и др. Проекты были ориентированы на сооружение магистральных трубопроводов нового поколения, как класса капитальных сооружений высокого уровня безопасности, надежности и эффективности. В то же время развитие нефтяной и газовой промышленности, транспортировка продуктов на большие расстояния требуют строительства большого количества резервуаров емкостью от 20 000 до 100 000 м³.

В ближайшее время будут строиться магистральные трубопроводы диаметром 1020...1420 мм с толщиной стенки до 41 мм на давление:

- сухопутные газопроводы – 10...12 МПа;
- сухопутные нефтепроводы – 10...14 МПа;
- морские газопроводы – до 20...22 МПа.

Для прокладки магистральных трубопроводов предусматривается использование труб из сталей класса прочности К54 (Х60), К55-К60 (Х70) и К65 (Х80). Определяющей технической политику в проектировании и строительстве СНиП 2.05.06-85* «Магистральные трубопроводы» распространяется на системы с рабочим давлением до 10 МПа. Для трубопроводов высокого давления (выше 10 МПа) разрабатываются новые

общероссийские нормативные документы. Для каждого проекта сухопутных трубопроводов высокого давления составляются специальные технические условия.

В более выигрышном положении оказалась прокладка морских трубопроводов, для которых ПАО «Газпром» утвердил в 2006 г. норвежский стандарт DNV-05-F 101 «Подводные трубопроводные системы» как стандарт СТО Газпром 2-3-7-050-2006.

В связи с резким возрастанием фронта сварочных работ в этой области ощущается острый недостаток специалистов-сварщиков, знакомых со спецификой этой отрасли (способами сварки, требованиями к сварным соединениям и т.д.).

В данном учебном пособии содержатся сведения из нормативно-технической документации (НТД) на объекты «Нефтегазодобывающее оборудование» по ПАО «Транснефть» и ПАО «Газпром». Порядок изложения материала в пособии соответствует нормативным документам отраслей, это сделано для лучшего усвоения всего объема материала.

Необходимо отметить, что порядок изложения материала в НДТ ПАО «Транснефть» и ПАО «Газпром» одинаков, однако имеется незначительная разница в цифровых значениях по областям применения способов сварки, режимам сварки и т.д., что касается применяемых способов сварки и технологии, то они одинаковы.

Целью настоящего учебного пособия является изложение материала, способствующего практической работе будущих инженеров-сварщиков в данных отраслях с объяснением назначения операций и действий, которые позволяют повысить качество сварных соединений.

2. Характеристика труб и деталей трубопроводов

Трубы на объекты магистральных трубопроводов поставляются по техническим условиям поставщиков и ГОСТ. Каждая партия труб должна иметь сертификат качества (паспорт) завода-изготовителя, оформленный в установленном порядке с указанием регламентируемых техническими условиями приемо-сдаточных характеристик.

Все трубы и детали трубопроводов, применяемые в процессе выполнения сварочных работ, объединяются в группы по классам прочности, табл. 1.

Таблица 1

Группы по классам прочности труб и деталей трубопроводов

Номер группы	Класс прочности	Нормативное значение временного сопротивления разрыву основного металла, МПа
1	До К54 включительно	До 530 включительно
2	К55...К60	539...590
3.1	К65	640
3.2	К70	690

При строительстве нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий Океан» в нормативный документ введено понятие – «уровень качества трубы», который определяет требования к трубной стали и заводским сварным швам. В зависимости от условий прокладки нефтепровода (рельефа местности, сейсмичности района, подземной или надземной прокладки) применяются трубы 3 уровней качества. В районах с сейсмичностью более 8 баллов применяются трубы третьего уровня качества, имеющие более высокие пластические свойства.

Максимальная величина эквивалента углерода ($C_{\text{экв}}$) поставляемых труб не должна превышать 0,43 % для труб первого и второго уровня качества и 0,41 % для труб третьего уровня качества.

Эквивалент углерода определяется по формуле:

$$C_{\text{экв}} = C + Mn / 6 + (Cr + Mo + V) / 5 + (Cu + Ni) / 15,$$

где C, Mn, Cr, Mo, V, Cu, Ni – массовые доли (%) элементов в металле трубной стали.

Для сооружения и ремонта линейной части магистральных трубопроводов применяются сварные прямошовные и спиральношовные трубы диаметром от 530 до 1220 мм (для нефти) и 1420 мм (для газа), изготовленные из низколегированных сталей.

Сварные трубы диаметром 159...426 мм с толщиной стенки от 4 до 12 мм могут поставляться по ГОСТ 20295, а диаметром 42...426 мм с толщиной стенки от 3 до 14 мм – по ГОСТ 10704, ГОСТ 10705 и техническим условиям, разработанным и утвержденным в установленном порядке. Металл трубы – спокойная или полуспокойная углеродистая или низколегированная сталь. Показатели механических свойств устанавливаются в соответствии с классами прочности, которые регламентированы ГОСТ 20295 или техническими условиями на поставку труб и приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Классы прочности* и механические свойства металла
труб из углеродистых и низколегированных сталей
по ГОСТ 20295**

Класс прочности	Механические свойства (не менее)		
	Временное сопротивление разрыву, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %
K34	333	206	24
K38	372	235	22
K42	412	245	21
K50	490	343	20
K52	510	353	20
K55	539	372	20

В табл. 3 приведены марки сталей труб магистральных трубопроводов.

* Номер класса прочности соответствует минимально допустимому (нормативному) значению временного сопротивления разрыву основного металла труб в кгс/мм². Для труб, поставляемых по техническим условиям, дополнительно к классам прочности, указанным в таблице, могут быть установлены также классы прочности K46, K48, K54, K56, K58, K60.

Таблица 3

Стали для труб магистральных трубопроводов

Класс прочно-сти	Временное сопротивление разрыву, МПа	Марка стали	Примечание
K42, K46	420, 460	ВСт.Зсп, Ст. 10, Ст. 20, 19Г	Упрочнение за счет повышенного содержания С, Mn; низкая ударная вязкость
K52	520	09Г2С, 17Г1С, 17Г1С-У	Упрочнение за счет Si, Mn при пониженном содержании серы (S < 0,02 %); ударная вязкость повышена
K55, K60 (Х-70)	560, 600	14Г2САФ, 17Г2АФ, 13ГС, 10Г2ФБ, 09Г2БТ	Микролегирование ванадием и азотом (N до 0,025 %) повышает ударную вязкость
K65 (Х-80)	640	03Г2БТР, 08Г2МФБ, 09Г2ФБЮ	С игольчатым ферритом, ферритно-бейнитной структурой
K70 (Х-80)	700	12ГСБ, 12Г2СБ, 10Г2СБ	Получены электрошлаковым переплавом

Бесшовные трубы поставляются по ГОСТ 8731, 8732 (группа В – с нормированием механических свойств и химического состава), ГОСТ 8733 (группа В), ГОСТ 8734, ГОСТ 9567, ГОСТ 550, а также по техническим условиям разработанным и утвержденным в установленном порядке. Диапазон диаметров – от 14 до 426 мм из спокойной или полуспокойной углеродистой или низколегированной стали. Бесшовные трубы по ГОСТ 8731 и ГОСТ 8733 с толщиной стенки от 5 до 20 мм должны иметь фаску под углом от 35° до 40° и притупление от 1 до 3 мм.

Для строительства и ремонта трубопроводов не связанных с транспортировкой нефти, нефтепродуктов и газа допускаются к применению трубы из аустенитных высоколегированных сталей изготовленных по ГОСТ 9941-81, ГОСТ 9940-81, ГОСТ 24030-80, а также трубы с силикатно-эмалевым покрытием изготовленных в соответствии с общими техническими требованиями на трубы с силикатно-эмалевым покрытием.

Соединительные детали трубопроводов диаметром от 530 до 1220 (1420) мм прочностных классов от K42 до K60 включительно должны соответствовать общим и специальным техническим требованиям ПАО «Транснефть» или ПАО «Газпром». Для строительства и ремонта трубопроводов применяются такие конструкции соединительных деталей

(фитингов), как тройники, переходы и отводы разной конструкции, днища (заглушки) эллиптические.

Тип и конструкция запорной арматуры (задвижек, обратных клапанов) определяются требованиями проектной документации. Запорная арматура номинальным диаметром более 300 мм должна поставляться с приваренными переходными кольцами.

3. Требования к сварочному оборудованию и сварочным материалам

3.1. Требования к источникам питания дуги

Сварочное оборудование и сварочные материалы, применяемые для реализации технологии сварки при строительстве и ремонте трубопроводов, должны выпускаться в соответствии с действующими государственными стандартами и специальными техническими условиями (ТУ) на каждую марку сварочного оборудования и сварочных материалов. Они должны быть аттестованы на группу «Нефтегазодобывающее оборудование», в соответствии с требованиями РД 03-613-03, РД 03-614-03, иметь соответствующие свидетельства об аттестации и входить в реестр ТУ и ПМИ ПАО «Транснефть» или ПАО «Газпром».

Для сварки магистральных трубопроводов применяются источники питания дуги только постоянного тока. В настоящее время в сварочных источниках питания дуги (выпрямителях, инверторах) проявляются следующие тенденции:

- универсальность источников, предназначенных для разных способов сварки,
- наличие «горячего старта»,
- возможность регулирования наклона внешних характеристик,
- цифровая индикация режимов сварки,
- переход с обратной на прямую полярность,
- возможность регулирования индуктивности.

Для многопостовой сварки (методами ММА, МАГ и ТИГ) вместо балластных реостатов применяются конверторы марок КСУ-320, КСУ-400 и КСУ-500, которые имеют лучшие показатели по расходу электроэнергии, уменьшают потери металла на разбрызгивание и повышают технологические свойства дуги.

Подробно сварочное оборудование (источники питания дуги, полуавтоматы и автоматические аппараты) будут рассмотрены при описании технологии сварки различными способами.

3.2. Требования к сварочным материалам

Для сварки кольцевых стыков трубопроводов применяются следующие сварочные материалы:

- электроды с основным и целлюлозным видами покрытия для ручной дуговой сварки;
- флюсы плавленные и агломерированные для автоматической сварки поворотных стыков;
- сварочные проволоки сплошного сечения;
- самозащитные порошковые проволоки;
- порошковые проволоки для сварки в среде активных газов и смесях;
- защитные газы – аргон, углекислый газ и их смеси.

В качестве защитного газа для сварки используются: аргон высшего сорта по ГОСТ 10157-2016; углекислота техническая высшего сорта по ГОСТ 8050; готовая смесь $Ar + CO_2$. Используемые в смеси защитные газы должны соответствовать требованиям ГОСТ 8050 для сорта «Высший» (углекислый газ) и ГОСТ 10157-2016 для сорта «Высший» (аргон).

Выбор электродов для сварки кольцевых швов производится по следующей схеме:

- для корневого слоя по сварочно-технологическим свойствам;
- для заполняющих и облицовочного слоев по пределу прочности трубы.

Так, например, при сварке труб класса прочности K55...K60 для корневого слоя применяются электроды типа Э50А, а для остальных слоев – Э60. Это связано с необходимостью получения в корне шва металла с более высокими пластическими свойствами. Применение электродов с целлюлозным покрытием для корневого слоя объясняется большей их проплавливающей способностью, что способствует формированию обратного валика.

При применении элементов трубопровода с различными классами прочности выбор сварочных материалов **производится:**

- при одинаковой толщине стенки деталей – по материалу детали меньшей прочности;
- при различной толщине детали – по материалу детали имеющей меньшую толщину по НТД ПАО «Транснефть» (и по большему классу прочности по НТД ПАО «Газпром»);
- при выполнении угловых швов – по материалу привариваемой к основной трубе детали по НТД ПАО «Транснефть» (и по классу прочности металла основной трубы по НТД ПАО «Газпром»).

Сварочные материалы следует хранить в сухих отапливаемых помещениях при температуре не ниже +15 °С с влажностью не более 50 % в условиях, предохраняющих от загрязнения и механических повреждений, с соблюдением следующих дополнительных требований:

- сварочные материалы следует хранить в упаковке завода-изготовителя на стеллажах или в штабеле;
- высота укладки упаковок электродов и порошковой проволоки не должна превышать 5 рядов;
- флюсы необходимо хранить в бумажных мешках, уложенных в штабель, или в специальных закрытых емкостях (контейнерах, бункерах, ларях). В случае повреждения упаковки флюсы следует хранить только в контейнерах, бункерах, ларях;
- порошковая проволока должна быть уложена отдельными мотками в герметизированную банку. Банки с проволокой должны храниться на стеллажах. Моток должен иметь бирку, на которой указывают марку порошковой проволоки, номер партии, дату изготовления. Мотки должны быть упакованы в мешки с прокаленным силикагелем – 0,5 % от массы проволоки.

Сварочные электроды, флюсы, порошковую проволоку непосредственно перед их выдачей в производство, при отсутствии специальных указаний производителя сварочных материалов необходимо просушить (прокалить) согласно режимам, приведенным в табл. 4.

Таблица 4

Режимы прокаливания сварочных материалов

Тип и марка сварочных материалов	Температура прокаливания, °С	Время выдержки, ч
Электроды с целлюлозным* видом покрытия: Э42, Э50	100...150	1,0
Электроды с основным видом покрытия: до Э55А	300	1,0
Э60, Э70	350	1,0
Флюсы:		
АН-348А	200...300	1,5
АН-47	300...350	1,5
АН-ВС	300...350	1,5

* Электроды с целлюлозным покрытием, доставленные к месту работ с неповрежденной герметической упаковкой (жестяных банках или картонных коробках с герметизирующей пленкой), разрешается использовать по назначению без предварительной сушки.

Окончание таблицы 4

Тип и марка сварочных материалов	Температура прокалики, °С	Время выдержки, ч
ФЦ-16	400...500	3,0...3,5
Порошковая проволока	200...230	1,5...2,0

Разная температура прокалики электродов с основным и целлюлозным видом покрытия объясняется тем, что газообразующие компоненты, входящие в целлюлозное покрытие (древесная мука, целлюлоза и др.) разлагаются при температуре 200 °С, а газообразующие компоненты основного покрытия (мрамор) – при температуре 500 °С. Прокалика необходима для удаления влаги из покрытия, которая является источником водорода и может привести к пористости в сварном шве и способствует образованию холодных трещин.

Электроды, флюсы и порошковая проволока используются после сушки (прокалики) в сроки, указанные в табл. 5. Дальнейшее их применение разрешается только после проведения повторной просушки (прокалики).

Таблица 5

Сроки хранения сварочных материалов

Сварочные материалы	Срок годности при хранении в сухих помещениях, сут.
Электроды с основным видом покрытия и порошковая проволока	2
Электроды с целлюлозным видом покрытия	5
Флюс	15

Повторная прокалика электродов с основным покрытием должна выполняться не более 5 раз, если общее время прокалики не превышает 10 часов. Прокалика электродов с целлюлозным видом покрытия, как правило, не выполняется при наличии герметичной упаковки. В случае нарушения целостности упаковки электродов и прямого попадания влаги допускается их просушка при температуре от +80 °С до +90 °С в течение 10...20 мин.

При температуре окружающего воздуха ниже +5 °С прокаленные электроды, предназначенные для сварки корневого слоя шва с основным видом покрытия непосредственно после прокалики, необходимо хранить в термопеналах.

Сварочные материалы (электроды, флюсы, порошковую проволоку, проволоку сплошного сечения) следует выдавать сварщику в количестве,

необходимом для односменной работы. Неиспользованные за смену электроды с покрытием основного вида следует хранить в термопеналах, сушильных шкафах, а флюс – в закрытой таре. При хранении прокаленных электродов с покрытием основного вида и порошковой проволоки в сушильных шкафах (с температурой 135...150 °С), а флюсов – в герметичной таре срок их хранения не ограничивается.

Сварочную проволоку сплошного сечения перед выдачей на трубосварочную базу необходимо очистить от ржавчины, загрязнений и масел.

Выбор конкретных марок сварочных материалов для разных способов сварки с учетом класса прочности трубы и условий прокладки трубопровода производится по нормативно-технической документации отрасли.

4. Технологическая схема сварки стыков магистральных трубопроводов

Технология сварки – это комплекс операций, сварочных материалов и оборудования, который позволяет получить сварное соединение, отвечающее требованиям действующей нормативной документации на данный объект сварки и требованиям эксплуатации.

Технологическая схема сварки стыков труб, представленная в табл. 6, включает все необходимые операции для строительства трубопровода и их краткое содержание.

Таблица 6

**Технологическая схема сварки стыков магистральных
трубопроводов**

№ п/п	Операции	Примечание
1	Осмотр и подготовка трубы	Исправление дефектов (при их наличии)
2	Подготовка кромки трубы	Заводская или с помощью СПК
3	Сборка труб и установление необходимого зазора	С помощью центриатора: · внутреннего при $D_{тр} \geq 377$ (426 мм); · наружного при $D_{тр} < 377$ (426 мм)
4	Подогрев труб	В зависимости от: $C_{экв}$, T воздуха, толщины стенки, способа сварки
5	Выбор сварочных материалов и их подготовка	Сварочные материалы выбираются: · для заполняющих и облицовочных слоев по σ_v трубы; · для корневого слоя – по сварочно-технологическим свойствам
6	Прихватки стыков	Сварочные материалы и режимы те же, что и для сварки корневого слоя шва

Окончание таблицы 6

№ п/п	Операции	Примечание
7	Сварка неповоротных стыков	Ручная электродами (Б) и (Ц) Механизированная порошковой проволокой Иннершилд Механизированная процессом STT в CO ₂ Автоматическая в защитных газах по технологии CRC и PWT Автоматическая порошковой проволокой системой M 300C
	Поворотный стык	Ручная электродами (Б) и (Ц) Механизированная процессом STT в CO ₂ Автоматическая под слоем флюса
8	Контроль сварных стыков	Визуальный и с помощью неразрушающих методов контроля
9	Ремонт дефектных стыков	С помощью вышлифовки или вырезки дефектного участка и сварки электродами с основным покрытием (Б)
10	Термообработка стыка после сварки	Отпуск (высокий отпуск)

Подробное описание содержания всех операций будет описано ниже.

5. Подготовка труб к сборке под сварку

Трубы, детали трубопроводов, запорная арматура и сварочные материалы, применяемые при выполнении сварочных работ должны пройти входной контроль с оформлением соответствующих актов входного контроля в установленном порядке. Результаты контроля заносят в Журнал входного контроля.

При проведении входного контроля проверяется наличие сертификатов (паспортов) на трубы, детали трубопроводов, запорную арматуру и сварочные материалы, которые будут применены для сооружения объекта. При отсутствии сертификатов (или других документов, удостоверяющих их качество) трубы, детали трубопроводов, запорная арматура и сварочные материалы к сборке и сварке не допускаются.

При сварке трубопроводов проводится операционный контроль, включающий:

- контроль операций, выполняемых в процессе сборки и сварки труб;
- визуально-измерительный контроль сварных соединений;
- проверку сварных швов неразрушающими методами контроля.

Операционный контроль выполняется производителями работ и мастерами, а самоконтроль – исполнителями работ.

В процессе подготовки к сборке необходимо:

- очистить внутреннюю полость труб от попавшего грунта, снега и других загрязнений, а затем механически очистить до металлического блеска кромки и прилегающие к ним внутреннюю и наружную поверхности труб (деталей трубопроводов) на ширину не менее 15 мм от ржавчины, окалины и других загрязнений, которые могут быть источником водорода,
- осмотреть поверхности кромок свариваемых элементов на предмет наличия дефектов,
- удалить усиление наружных заводских продольных и спиральных швов до величины от 0 до 0,5 мм на участке шириной от 10 до 15 мм от торца трубы для лучшего формирования облицовочного слоя кольцевого шва.

В случае несоответствия заводской разделки кромок требованиям технологии сварки следует произвести обработку (переточку) кромок под сварку механическим способом с применением специализированных станков. При применении труб с обработанными специальными станками кромками следует проверить соответствие формы, размеров и качества подготовки свариваемых кромок требованиям нормативно-технической документации отрасли и операционной технологической карты.

Разрешается выполнять следующие виды ремонта:

- устранять шлифованием на наружной поверхности неизолированных торцов труб царапины, риски, задиры глубиной до 5 % от нормативной толщины стенки, но не более минусовых допусков на толщину стенки, оговоренных в соответствующих ГОСТах и общих технических требованиях на трубы, для исключения концентрации напряжений в этих местах,
- допускается правка плавных вмятин на концах труб с классом прочности K54 и менее, глубиной не более 3,5 % от номинального диаметра трубы с помощью безударных разжимных устройств гидравлического типа. При этом обязателен местный подогрев изнутри трубы до 100^{+50} °С независимо от температуры окружающего воздуха,
- допускается ремонт забоин, задиrow фасок глубиной до 5 мм на трубах 1-й группы прочности с толщиной стенки более 6 мм. Ремонт осуществляется электродами с основным видом покрытия типа Э50А диаметром от 2,5 до 3,2 мм. Перед началом сварки осуществляется обязательный предварительный подогрев до 100^{+30} °С.

Ремонт сваркой труб, предназначенных для строительства подводных переходов, не допускается. Если дефекты превышают указанные значения, то такие трубы исправлению не подлежат и должны быть обрезаны.

Резка труб производится с применением специальных станков. Допускается производить резку труб механизированной плазменной, кислородной резкой с последующей обработкой специализированным станком или шлифмашинкой. При этом металл кромок должен быть удален на глубину не менее 1 мм от поверхности реза, так как на этом участке происходит насыщения металла кислородом и азотом воздуха.