Ф. М. Мустафин, Н. Г. Блехерова, О. П. Квятковский
А. Ф. Суворов, Г. Г. Васильев, И. Ш. Гамбург
Ю. С. Спектор, Н. И. Коновалов, С. А. Котельников
Ф. М. Мустафин, Р. А. Харисов

СВАРКА ТРУБОПРОВОДОВ

*Утверждено Редакционно-издательским советом
Уфимского государственного нефтяного технического университета
в качестве учебного пособия для студентов вузов,
обучающихся по специальности 090700
«Проектирование, сооружение и эксплуатация
газонефтепроводов и газонефтехранилищ»*

Москва «НЕДРА» 2002

УДК 621.774.21
ББК 34.641
С **24**

Книга выпущена при содействии ООО «СМУ-4»

Авторы:

Ф. М. МУСТАФИН, Н. Г. БЛЕХЕРОВА, О. П. КВЯТКОВСКИЙ,
А Ф. СУВОРОВ, Г. Г. ВАСИЛЬЕВ, И. Ш. ГАМБУРГ, Ю. И. СПЕКТОР,
Н. И. КОНОВАЛОВ, С. А. КОТЕЛЬНИКОВ, Ф. М. МУСТАФИН,
Р.А.ХАРИСОВ

Рецензенты:

директор ООО "СМУ-4" *В. В. Кулаков,*

зам. директора Уфимского филиала ЦУП

ООО "Стройнефть" *В. П. Кулагин*

Сварка трубопроводов: Учеб. пособие / Ф. М. Мустафин,
С 24 Н. Г. Блехерова, О. П. Квятковский и др.— М.: ООО "Недра-Бизнесцентр", 2002.— 350 с.

ISBN 5-247-03883-5

Рассмотрены теоретические основы сварочного производства, приведены различные виды и технологии сварки трубопроводов, а также применяемые материалы и оборудование.

Для специалистов, занятых в области проектирования, строительства, эксплуатации и ремонта трубопроводов, а также для студентов, обучающихся по специальности 090700 "Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ"

ISBN 5-247-03883-5
© Коллектив авторов, 2002
© Оформление. ООО "Недра-Бизнесцентр", 2002

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 6

Глава *Р*. Теоретические основы сварки 7
1.1. Классификация и сущность сварки V
1.2. Сварные соединения и швы . . . . . Д*0)
1.3. Термические источники энергии при сварке 13
1.4. Физико-химические процессы при сварке . . . . . (Т8)
1.4.1. Общие сведения 18
1.4.2. Плавление электродного и основного металла 20
1.4.3. Тепловые процессы при сварке . . . . . (22) *L*
1.4.4. Формирование и кристаллизация сварочной ванны . . . 24
1.4.5. Металлургические процессы при сварке . . . . . (27/ *[У*
1.4.6. Термический цикл сварки и структура сварного соединения 31

Глава 2. Подготовка труб к сборке и сварке . . . . . **/35)** *[у*
2.1, Входной контроль и подготовка труб . . . . . (35) ^*у*
2.2. Газопламенная резка 44
2.2.1. Газовое пламя 46
2.2.2. Оборудование для кислородной резки 49
2.2.3. Техника резки 49
2.2.4. Газы, применяемые при сварке и резке 53
2.2.5. Машинная кислородная резка 56

Глава 3. Виды сварки 61
3.**1**. Ручная электродуговая сварка 61
3.1.1. Технология ручной дуговой сварки 61
3.1.2. Оборудование для ручной дуговой сварки . . . . . *($9j* *-^
3.1.2.1. Источники питания для ручной дуговой сварки 79
3.1.2.2. Требования к источникам тока при сварке трубопроводов 80
3.1.2.3. Агрегаты с коллекторными генераторами 82
3.1.2.4. Агрегаты с вентильными генераторами 85
3.1.2.5. Агрегаты со сварочными выпрямителями 88
3.2. Сварка под флюсом поворотных стыков . . . . . '94
3.2.1. Технология сварки под флюсом поворотных стыков на трубосварочных базах . . . . . (.94) v/

*

3.2.2. Оборудование для сварки под флюсом поворотных стыков на трубосварочных базах 109
3.3. Стыковая контактная сварка трубопроводов 122
3.3.1. Технология И организация стыковой контактной сварки трубопроводов 122
3.3.2. Оборудование для стыковой контактной сварки 131
3.4. Автоматическая дуговая сварка неповоротных стыков трубопроводов порошковой проволокой с принудительным формированием шва 144
3.4.1. Технология автоматической дуговой сварки порошковой проволокой **144**
3.4.2. Оборудование для сварки порошковой проволокой стыков магистральных трубопроводов 149
3.5. Полуавтоматическая сварка труб процессом STT 154
3.5.1. Технология полуавтоматической сварки труб процессом STT 154
3.5.2. Сварка корневого шва неповоротных стыков труб **156**
3.5.3. Техника сварки . . . . . M59)
3.5.4. Влияние различных сварочных параметров процесса **STT** на форму корневого шва 162
3.5.5. Основные сварочные параметры 163
3.6. Автоматическая сварка труб в среде защитных газов комплексом CRC-Evans AW 170
3.6.1. Технология автоматической сварки труб комплексом **CRC-Evans AW** 170
3.6.2. Оборудование сварочного комплекса CRC-Evans AW . 173
3.7. Полуавтоматическая сварка самозащитной порошковой проволокой типа Иннершилд 187
3.7.1. Технология полуавтоматической сварки самозащитной порошковой проволокой типа Иннершилд 187
3.7.2. Оборудование и режимы сварки проволокой типа Иннершилд 197
3.8. Сварка захлестов и разнотолщинных соединений 198
3.8.1. Сварка захлестов 198
3.8.2. Сварка разнотолщинных соединений труб 202
3.9. Ремонт стыков с помощью сварки 204

Глава 4. Сварочные материалы 208
4.1. Сварочная проволока 208
4.2. Металлические электроды 213
4.3. флюсы для дуговой и электрошлаковой сварки 226
4.4. Газы, применяемые при электрической сварке плавлением . . 229
4.5. Условия хранения и транспортировки сварочных материалов 230

ПРЕДИСЛОВИЕ

Сварка трубопроводов — основной и наиболее ответственный эт

Сварочные работы в трубопроводном строительстве непрерывно совер сварки резко повысились производительность труда, темпы сварочно-монтажных работ и качество свариваемых соединений. За последние годы разработаны и широко применяются принципиально новые виды сварки.

В книге авторы постарались кратко раскрыть теоретические основы сварочного производства, позволяющие понять физические и химические процессы, происходящие при термическом воздействии на свариваемые детали. Авторы обобщили свой опыт работы при строительстве трубопроводов в Западной Сибири и при строительстве магистрального трубопровода Каспийского трубопроводного консорциума (КТК). В книге рассмотрены технологии ручной электродуговой сварки, сварки под флюсом поворотных стыков на трубосварочных базах, стыковой контактной сварки, сварки порошковой проволокой, полуавтоматической сварки труб процессом STT, автоматической сварки труб в среде защитных газов комплексом фирмы CRC-Evans AW, полуавтоматической сварки самозащитной порошковой проволокой типа Иннершилд, сварки захлестов и разнотолщинных соединений, а также ремонт стыков с помощью сварки. Представлены применяемые сварочные материалы и оборудование. Рассмотрены контроль качества кольцевых сварных соединений трубопроводов и техника безопасности при сварке магистральных и промысловых трубопроводов.

ГЛАВА *ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СВАРКИ*

1.1. КЛАССИФИКАЦИЯ И СУЩНОСТЬ СВАРКИ

Сваркой называется процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их местном или общем нагреве или пластическом деформировании, или совместном действии того и другого [4].

Сущность сварки заключается в сближении элементарных частиц свариваемых частей настолько, чтобы между ними начали действовать межатомные связи, которые обеспечивают прочность соединения.

Так как свариваемые поверхности неоднородны, имеют макро- и микронеровности, оксидные пленки, загрязнения, то для сварки необходимо приложить внешнюю энергию. В зависимости от вида энергии различают три класса сварки: термический, термомеханический и механический [1].

К термическому **классу** относят виды сварки, осуществляемой плавлением, т. е. местным расплавлением соединяемых частей с использованием тепловой энергии: дуговую, газовую, электрошлаковую, электронно-лучевую, плазменно-лучевую, термитную и др.

Дуговая сварка — сварка плавлением, при которой нагрев осуществляют электрической дугой. Особым видом дуговой сварки является плазменная сварка, при которой нагрев осуществляют сжатой дугой.

Газовая сварка — сварка плавлением, при которой кромки соединяемых частей нагревают пламенем газов, сжигаемых на выходе горелки для газовой сварки.

Электрошлаковая сварка — сварка плавлением, при которой

для нагрева металла используют тепло, выделяющееся при прохождении электрического тока через расплавленный электропроводный шлак.

При **электронно-лучевой сварке** для нагрева соединяемых частей используют энергию электронного луча. Тепло выделяется за счет бомбардировки зоны сварки направленным электронным потоком.

Местное расплавление соединяемых частей при **лазерной сварке** осуществляют энергией светового луча, полученного от оптического квантового генератора — лазера.

При **термитной сварке** используют тепло, образующееся в результате сжигания термит-порошка, состоящего из смеси алюминия и окиси железа.

К **термомеханическому классу** относят виды сварки, при которых используют тепловую энергию и давление: контактную, диффузионную, газопрессовую, дугопрессовую и др.

Основным видом термомеханического класса является **контактная сварка** — сварка с применением давления, при которой нагрев осуществляют теплом, выделяемым при прохождении электрического тока через находящиеся в контакте соединяемые части.

Диффузионная сварка — сварка давлением, осуществляемая взаимной диффузией атомов контактирующих частей при относительно длительном воздействии повышенной температуры и при незначительной пластической деформации.

При **прессовых** видах сварки соединяемые части могут нагреваться пламенем газов, сжигаемых на выходе сварочной горелки (газопрессовая сварка), дугой (дугопрессовая сварка), электрошлаковым процессом (шлакопрессовая сварка), индукционным нагревом (индукционно-прессовая сварка), термитом (термитно-прессовая сварка) и т. п.

К **механическому классу** относят виды сварки, осуществляемые с использованием механической энергии и давления: холодную, взрывом, ультразвуковую, трением и **др.**

Холодная сварка — сварка давлением при значительной пластической деформации без внешнего нагрева соединяемых частей.

Сварка взрывом — сварка, при которой соединение осуществляется в результате вызванного взрывом соударения быстро движущихся частей.

Ультразвуковая сварка — сварка давлением, осуществляемая при воздействии ультразвуковых колебаний.

Сварка трением — сварка давлением, при которой нагрев осуществляется трением, вызываемым вращением свариваемых частей друг относительно друга.

Наплавка — это нанесение с помощью сварки слоя металла на поверхность изделия. Наплавочные работы выполняют для восстановления размеров изношенных деталей (ремонтная наплавка, восстановительная наплавка) и при изготовлении новых изделий наплавкой на их поверхность слоев металла с особыми свойствами, например с повышенной коррозионной стойкостью, износостойкостью, жаростойкостью, жаропрочностью.

Термическая разделительная резка основана на способности металла сгорать в струе технически чистого кислорода и удалении продуктов сгорания из полости реза. В зависимости от источника тепла, применяемого для резки, различают: газовую резку, основанную на использовании тепла газового пламени; дуговую резку расплавлением с использованием тепла электрической дуги, обычно горящей между разрезаемым металлом и электродом; плазменно-дуговую резку (резку сжатой дугой) — особый вид дуговой резки, основанный на выплавлении металла из полости реза направленным потоком плазмы; воздушно-плазменную резку, отличающуюся от плазменно-дуговой использованием струи сжатого воздуха.

Металл из полости реза в процессе термической резки удаляют:

термическим способом за счет расплавления и вытекания металла из полости реза;

химическим способом за счет окисления металла, его превращения в окислы и шлаки, которые также удаляют из полости реза;

механическим способом за счет механического действия струи воздуха или газа, способствующей выталкиванию жидких и размягченных продуктов из полости реза.

При газовой резке одновременно действуют все три способа, при дуговой, плазменно-дуговой и воздушно-плазменной резке действуют преимущественно термический и механический.

1.2. СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И ШВЫ

Сварное соединение — это неразъемное соединение, выполненное сваркой. Сварные соединения могут быть стыковыми, угловыми, тавровыми и нахлесточными (рис. 1.1) [7].

Стыковым называется сварное соединение двух элементов, расположенных в одной плоскости или на одной поверхности.

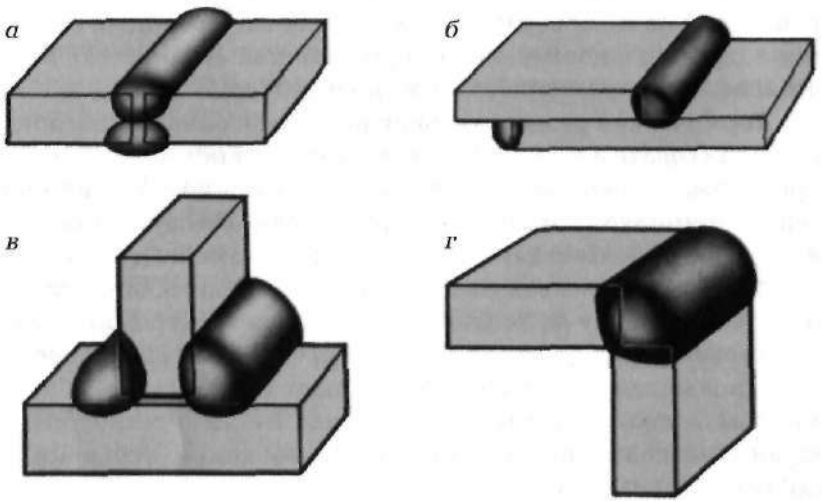


Рис. 1.1. Сварные соединения:
а — стыковое; *б* — нахлесточное; *в* — тавровое; *г* — угловое

Угловым называется соединение двух элементов, расположенных под прямым углом и сваренных в месте примыкания их краев.

Нахлесточным называют сварное соединение, в котором свариваемые элементы расположены параллельно и перекрывают друг друга.

Тавровым называется сварное соединение, в котором к боковой поверхности одного элемента примыкает под углом и приварен торцом другой элемент.

Сварной шов — участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации металла сварочной ванны.

Угловой **шов** — сварной шов углового, таврового и нахлестанного соединений.

Сварные швы могут быть непрерывными, прерывистыми, одно- и многослойными, одно- и двусторонними. Сварные швы, применяемые для фиксации взаимного расположения, размеров и формы собираемых под сварку элементов, называются *прихватками.*

Для качественного формирования сварного шва делают подготовку кромок под сварку. Элементы геометрической формы подготовки кромок под сварку (рис. 1.3, *а)* — угол разделки кромок а, угол скоса одной кромки р\ толщина свариваемого металла *S,* зазор между стыкуемыми кромками Ь, притупление кромки, т. е. нескошенная часть торца кромки с.

Элементы геометрической формы сварного шва (рис. 1.3, *б)* — высота шва *h,* ширина шва е, глубина провара $Л_{пр}$, усиление (ослабление) шва *q.*

На рис. 1.4 показаны основные положения швов в пространстве.

1.3. ТЕРМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ ПРИ СВАРКЕ

Основными термическими источниками энергии (тепла) при сварке плавлением являются сварочная дуга, газовое пламя, лучевые источники энергии и тепло, выделяемое при электрошлаковом процессе.

Термические источники энергии характеризуются температурой источника, степенью сосредоточенности, определяемой наименьшей площадью нагрева (пятно нагрева), и наибольшей плотностью в пятне нагрева.

Эти энергетические характеристики (табл. 1.1) определяют технологические свойства источников нагрева металла при сварке, наплавке и резке.

Виды сварочных дуг. Источником теплоты при дуговой сварке является сварочная дуга — устойчивый электрический разряд в сильно ионизированной смеси газов и паров материалов, используемых при сварке, характеризуемый высокой плотностью тока и высокой температурой. Процесс возникновения сварочной

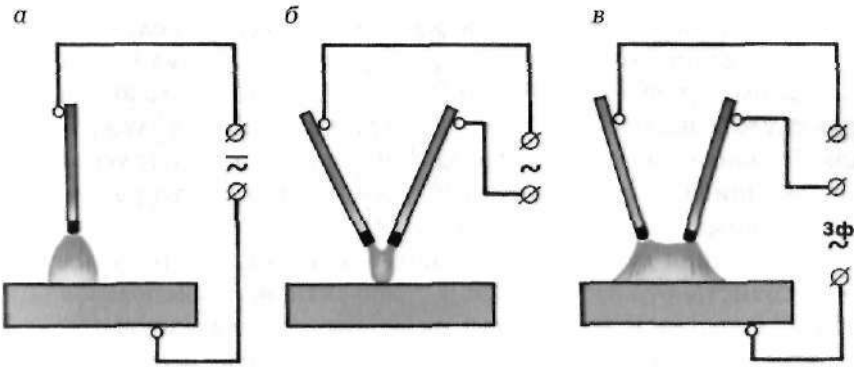


Рис. 1.6. Классификация сварочной дуги по подключению к источнику питания:
а — прямого действия; *б* — косвенного действия; *в* — комбинированная (трехфазная)

сварке и наплавке;

трехфазная дуга, возбуждаемая между двумя электродами, а также между каждым электродом и основным металлом, — используется при сварке спиралешовных труб на станках автоматической сварки под флюсом.

По роду тока различают дуги, питаемые переменным и постоянным током. При применении постоянного тока различают сварку на прямой и обратной полярности (см. рис. 1.7). В первом случае

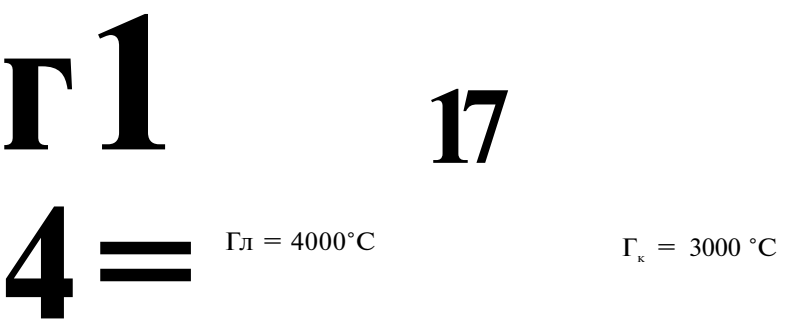


Рис. 1.7. Классификация сварочной дуги по полярности постоянного тока:
а — прямая полярность; *б* — обратная полярность

электрод подключается к отрицательному полюсу и служит катодом, а изделие — к положительному полюсу и служит анодом; во втором случае электрод подключается к положительному полюсу и служит анодом, а изделие — к отрицательному и служит катодом. В зависимости от материала электрода различают дуги между неплавящимися электродами (угольными или вольфрамовыми) и плавящимися металлическими электродами.

Сварочная дуга обладает рядом физических и технологических свойств, от которых зависит эффективность использования дуги для сварки. К физическим свойствам относят электрические, электромагнитные, кинетические, температурные, световые.

Основными технологическими свойствами являются: мощность дуги, пространственная устойчивость, саморегулирование.

Электрические свойства дуги. Для образования и поддержания горения дуги необходимо иметь в пространстве между электродами электрически заряженные частицы — электроны, положительные и отрицательные ионы. Процесс образования ионов и электронов называется *ионизацией,* а газ, содержащий электроны и ионы, ионизированным. Ионизация дугового промежутка происходит во время зажигания дуги и непрерывно поддерживается в процессе ее горения.

В дуговом промежутке выделяют следующие области (рис. 1.8): катодную $1_к$ и анодную $L_а$, где наблюдается значительное падение напряжения, вызванное образованием около электродов пространственных зарядов (скоплением заряженных частиц), и расположенную между ними область дугового разряда, называемую столбом дуги $1_с$. На поверхности анода и катода образуются электродные пятна, представляющие собой основания столба дуги, через которые проходит весь сварочный ток. Электродные пятна выделяются яркостью свечения. Общая длина сварочной дуги $1_д$ равна сумме длин всех трех областей: $I_А = I_К + I_с + I_а$, где $1_к$ — длина катодной области, равная примерно Ю$^{-5}$ см; $1_с$ — длина столба дуги; $1_а$ — длина анодной области, равная примерно 10~^{3} — Ю$^{-4}$ см.

Общее напряжение сварочной дуги соответственно слагается из суммы падений напряжений в отдельных областях дуги: $C/_д = £/_к + U_с + U_а$, где *Up, $U_к$, $U_с$, $U_а$* — соответственно падение напряжения общее на дуге, в катодной области, столбе дуги и анодной области, В.

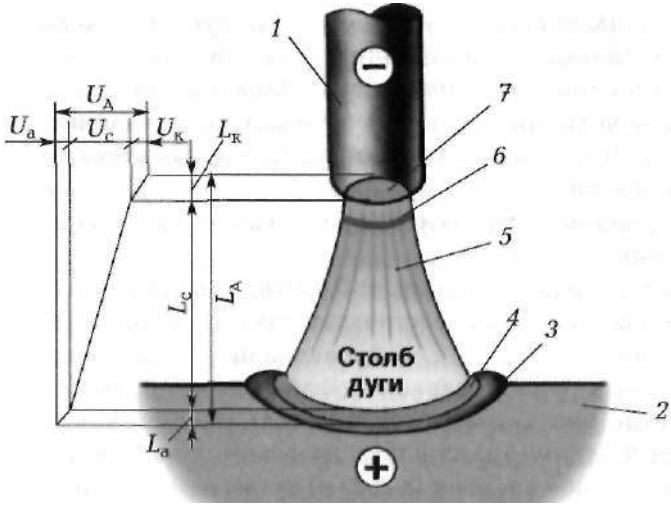


Рис. 1.8. Схема сварочной дуги и падения напряжения в ней:
1 — электрод; *2* — изделие; *3* — анодное пятно; *4* — анодная область дуги; *5* — столб дуги; *6* — катодная область дуги; 7 — катодное пятно

Зависимость напряжения в сварочной дуге от ее длины описывается уравнением £/$_д$=а + Ы$_д$, где *а* — сумма падений напряжения в прикатодной **и** прианодной областях, В; 1$_д$ — длина столба дуги, мм; *b* — удельное падение напряжения в дуге, отнесенное к 1 мм столба дуги, В/мм.

Тепловая мощность дуги. Основной характеристикой сварочной дуги как источника энергии для сварки является эффективная тепловая мощность д$_и$. Эффективная тепловая мощность источника сварочного нагрева — это количество теплоты, введенное в металл за единицу времени и затраченное на его нагрев. Эффективная тепловая мощность является частью общей тепловой мощности дуги *q,* так как некоторое количество тепла дуги непроизводительно расходуется на теплоотвод в металле, излучение, нагрев капель при разбрызгивании.

Отношение эффективной тепловой мощности к полной тепловой мощности источника теплоты называется эффективным коэффициентом полезного действия (к. п. д.) процесса нагрева

Пи - Ж
(J

Полную тепловую мощность сварочной дуги, т. е. количество теплоты, выделяемое дугой в единицу времени, приближенно считают равной тепловому эквиваленту ее электрической мощности $q = IU_A$, где /— величина сварочного тока, А; С/$_д$ — падение напряжения на дуге, В; g — тепловой эквивалент электрической мощности сварочной дуги, Дж/с.

Соответственно, эффективная тепловая мощность определяется выражением д$_и$ = IU_A г|$_и$.

Значение *г*\$_и$ может меняться от 0,3 до 0,95 и для различных видов сварки ориентировочно составляет: открытая угольная дуга — 0,5 — 0,65; дуга в аргоне — 0,5 — 0,6; сварка штучными покрытыми электродами — 0,7 — 0,85; сварка под флюсом — 0,85 — 0,93.

Количество тепла, вводимое в металл источником нагрева и отнесенное к единице длины шва, называется погонной энергией сварки. Погонная энергия (в Дж/м) равна отношению эффективной мощности источника тепла (дуги) д$_и$ к скорости перемещения дуги v.

$$\partial_{v} = \frac{Я/_{д}Т)_{и}}{v}$$

При образовании сварного шва эффективная тепловая мощность дуги расходуется на расплавление основного и присадочного металла.

1.4. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ СВАРКЕ

1.4.1. Общие сведения

Образование сварного соединения в связи с введением концентрированной энергии в зону соединения сопровождается сложными физическими и химическими процессами.

К физическим относят процессы, которые, изменяя физические свойства вещества, не изменяют строение элементарных частиц, из которых состоит данное вещество, и не приводят к изменению его химических свойств [1, 22].

Химические процессы изменяют строение элементарных ча-

стиц, из которых состоит данное вещество, в результате чего получаются новые вещества с новыми химическими и физическими свойствами.

К основным физическим процессам при сварке плавлением относят электрические, тепловые, механические процессы в источниках нагрева; плавление основного и электродного (присадочного) металла, их перемешивание, формирование и кристаллизацию сварочной ванны; ввод и распространение тепла в свариваемом соединении, приводящее к изменению структуры металла в шве и зоне термического влияния и образованию собственных сварочных деформаций и напряжений.

К основным химическим процессам относятся химические реакции в газовой и жидкой фазах, на границах фаз (газовой с жидкой, газовой с твердой, жидкой с твердой) при взаимодействии компонентов покрытий, флюсов, защитных газов с жидким металлом с образованием окислов, шлаков, окислением поверхности И т. д.

Физические и химические процессы при сварке сопряжены между собой во времени и пространстве, поэтому их можно объединить общим понятием — физико-химические процессы.

Под действием физико-химических процессов возникает характерное строение сварного соединения.

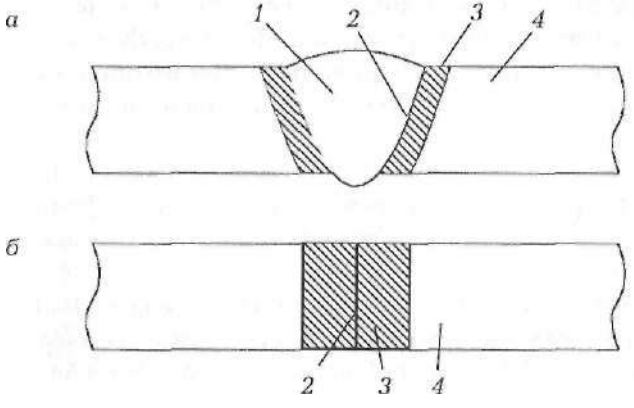


Рис. 1.9. Схема сварного соединения:
а — при сварке плавлением; *б* — при сварке давлением

Сварное соединение при сварке плавлением (рис. 1.9, *а)* включает в себя: сварной шов *1,* т. е. участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации сварочной ванны; зону сплавления *2* (сцепления), где находятся частично оплавившиеся зерна металла на границе основного металла и шва; зону термического влияния *3,* т. е. участок основного металла, не подвергшийся расплавлению, структура и свойства которого изменились в результате нагрева при сварке плавлением или резке; основной металл *4,* т. е. металл подвергающихся сварке соединяемых частей, не изменивший свойств при сварке.

Соединение, выполненное сваркой давлением (рис. 1.9, *б)* в твердом состоянии, состоит из зоны соединения 2, где образовались межатомные связи соединяемых частей, зоны термомеханического влияния *3,* основного металла *4.*

В формировании структуры и свойств сварного соединения при сварке плавлением определяющая роль принадлежит тепловым процессам, при сварке давлением — пластической деформации.

1.4.2. Плавление электродного и основного металла

Сварной шов образуется в результате кристаллизации металла сварочной ванны. При сварке без дополнительного металла расплавляется только основной металл. Металл, предназначенный для введения в сварочную ванну в дополнение к расплавленному основному металлу, называется присадочным металлом [1, 28].

Расплавленные основной и присадочный металлы, сливаясь, образуют общую сварочную ванну. Границами сварочной ванны служат оплавленные участки основного металла и ранее образовавшегося **шва.**

Плавление и перенос электродного металла. Электродный металл при дуговой сварке плавится за счет: тепла, выделяемого на конце электрода в приэлектродной области дуги; тепла, попадающего из столба дуги; нагрева вылета электрода при прохождении сварочного тока от токопровода и до дуги. Чем больше вылет электрода, тем больше его сопротивление и тем больше выделяется

тепла.

Конец электрода нагревается до температур 2300 — 2500 °С, что и обеспечивает его плавление. На конце электрода образуются капли расплавленного металла, которые переносятся через дуговое пространство в сварочную ванну.

Капли формируются на конце электрода и переносятся под воздействием сил поверхностного натяжения, сил тяжести, давления газов, образующихся внутри расплавленного металла, давления газового потока, электростатических и электродинамических сил, реактивного давления паров металла.

В зависимости от соотношения сил, действующих на каплю, характер переноса электродного металла может быть различным:

за счет коротких замыканий (характерен для сварки в углекислом газе, рис. 1.10, а);

крупнокапельным (характерен для ручной дуговой сварки покрытым электродом) или мелкокапельным (наблюдается при сварке под флюсом и в защитных газах — аргоне, углекислом газе и др., рис. 1.10, *б);*

струйным (имеет место при сварке в аргоне при токах, больших некоторых критических значений, рис. 1.10, в).

Главными силами, формирующими и удерживающими каплю на конце электрода, являются силы поверхностного натяжения, возникающие на поверхности капли и направленные внутрь ее.

Отрыв капли и ее перенос обеспечивается электродинамическими силами и давлением газовых потоков. Эти силы увеличиваются с ростом сварочного тока, увеличение тока приводит к измельчению капель. Сила тяжести капли имеет существенное зна-

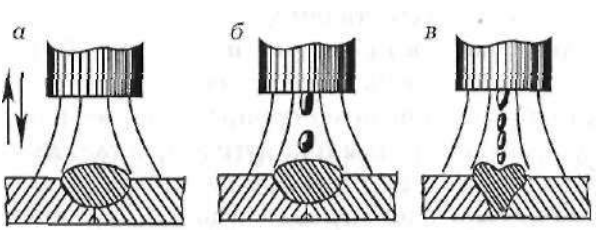


Рис. 1.10. Схемы расплавления и переноса электродного металла: *а* — короткими замыканиями; *б* — капельный; в — струйный

чение при малых плотностях тока и способствует отрыву и переносу капель металла только при сварке в нижнем положении.

Перенос электродного металла в дуге сопровождается выбросом части металла за пределы сварочной ванны — разбрызгиванием. Разбрызгивание связано главным образом с электрическим взрывом перемычки между отделяющейся каплей и торцом электрода под действием электромагнитных сил.

Плавление основного металла. Основной металл плавится в результате выделения тепла в активном пятне (в приэлектроднои области) на поверхности изделия и тепла столба дуги.

Форма проплавления (глубина и ширина) определяется концентрацией теплового и силового воздействия дуги.

Основные компоненты силового воздействия дуги:

поверхностные силы — давление, вызываемое торможением струи плазмы дуги о поверхность металла, реактивное давление струи пара с поверхности сварочной ванны;

объемная электродинамическая сила в жидком металле.

Давление осевого плазменного потока вызывается электромагнитными силами, его величина пропорциональна квадрату силы тока. Дуга с плавящимся электродом оказывает большее силовое воздействие на сварочную ванну, чем дуга с неплавящимся электродом. Сила давления от газового потока невелика и составляет около 1 % силы давления потока, вызываемого электромагнитными силами.

1.4.3. Тепловые процессы при сварке

Процесс проплавления металла определяется тепловым и силовым воздействием дуги.

Производительность процессов плавления. В наибольшей степени тепловую мощность дуги, производительность процесса плавления и глубину проплавления определяет величина сварочного тока. С увеличением силы тока дуги возрастает длина сварочной ванны, ее ширина и глубина проплавления *H,* которая приближенно может быть оценена зависимостью, близкой к линейной:

$$H = К/д.$$

С увеличением напряжения также возрастает тепловая мощность дуги, а следовательно, и размеры сварочной ванны. Особенно интенсивно возрастают ширина *B* и длина ванны I:

ев v св»-»

где $v_{св}$ — скорость сварки; *S* — толщина свариваемого металла; *K* — коэффициент, зависящий от рода тока, полярности, диаметра электрода, степени сжатия дуги и др.

Производительность сварки плавящимся электродом определяется коэффициентами расплавления и наплавки. Расплавление присадочного металла характеризуется коэффициентом расплавления

г

— Ь р

где $a_р$ — коэффициент расплавления, г/(Ач); $G_р$ — масса расплавленного за время *t* электродного металла, г; *t* — время горения дуги, ч; /— сварочный ток, А.

Количество наплавленного металла или скорость наплавки определяется коэффициентом наплавки

$$a_н = \frac{}{It}.$$

где $cc_н$ — коэффициент наплавки, г/(Ач); $G_„$ — масса наплавленного за время *t* металла, г (с учетом потерь).

Разница в коэффициентах $a_р$ и $a_н$ определяется потерями электродного металла на угар, разбрызгивание, испарение и т. п. Коэффициент этих потерь $ц/_п$ (%) определяется по формуле

$$Т п \quad \frac{a„-0Сн}{It}$$

Коэффициенты $a_р$, $a_н$ и $\backslash j/_п$ зависят от вида, способа и параметров режима сварки. При малых плотностях тока (ручная дуговая сварка) значения коэффициентов расплавления и наплавки не превышают 7 — 10 г/(Ач). С увеличением плотности тока значения коэффициентов возрастают до 17 г/(Ач) и более. Коэффициент потерь для различных способов сварки составляет 1 — 15 %.

1.4.4. Формирование и кристаллизация сварочной ванны

Формирование сварочной ванны происходит под действием силы тяжести расплавленного металла $P_м$, давления источника теплоты (например, давления дуги) $P_д$ и сил поверхностного натяжения $P_п$, действующих на поверхности металла (рис. 1.11). Характер действия этих сил зависит от положения сварки.

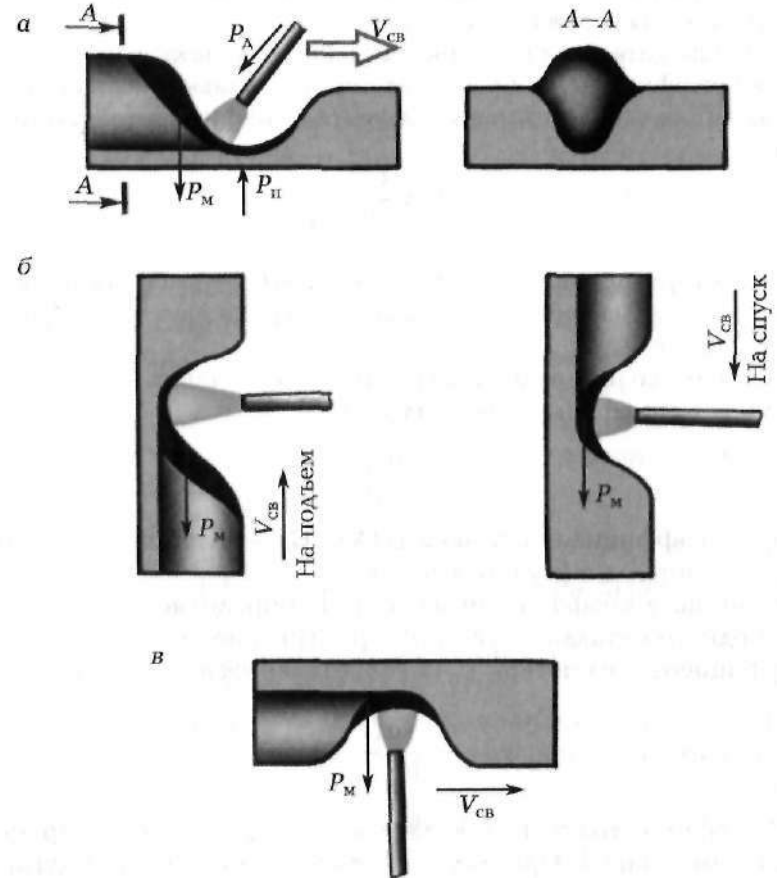


Рис. 1.11. Схема сил, действующих в сварочной ванне, и формирование шва в разных пространственных положениях:
а — нижнее положение; *б* — вертикальное; *в* — потолочное

При сварке в нижнем положении при сквозном проплавлении жидкая ванна удерживается на весу силами поверхностного натяжения $P_п$, которые уравновешивают давление, оказываемое на ванну источником теплоты $P_д$, и силу тяжести (вес) жидкого металла $P_м$: $P_д + P_м = P_п$.

Если сила тяжести расплавленного металла и сила давления источника теплоты превысят силы поверхностного натяжения, т. е. $P_д + P_м > P_п$, то произойдет разрыв поверхностного слоя в проплаве и жидкий металл вытечет из ванны, образуя прожог.

В условиях движущейся сварочной ванны (во время сварки) возникают дополнительные гидродинамические силы, вызванные перемещением расплавленного металла в хвостовую часть ванны.

В случаях, когда силы поверхностного натяжения не могут уравновесить разрушающие силы, необходимо применять специальные меры — ограничивать объем сварочной ванны, применять сварку на подкладках, использовать удерживающие приспособления. Удержание ванны от стекания имеет особенно важное значение при сварке в вертикальном и потолочном положениях. При сварке в вертикальном положении процесс можно вести сверху вниз (на спуск) и снизу вверх (на подъем). В обоих случаях сила тяжести ванны направлена вниз по продольной оси шва. При сварке на спуск удержанию ванны от стекания способствуют давление дуги и силы поверхностного натяжения, при этом глубина провара уменьшается, а ширина шва увеличивается. При сварке на подъем ванна удерживается только силами поверхностного натяжения, при этом глубина провара увеличивается, а ширина шва уменьшается. При сварке в вертикальном положении для удержания ванны необходимо ограничивать тепловую мощность и размеры ванны.

Выполнение швов в потолочном положении осложняется не только опасностью стекания ванны. Возникает необходимость переноса присадочного металла в ванну в направлении, противоположном действию силы тяжести. При сварке в потолочном положении ванна удерживается силами поверхностного натяжения и давлением дуги. Для удержания ванны в потолочном положении также необходимо ограничивать ее объем.

Очень неблагоприятны условия формирования шва при выполнении горизонтальных швов на вертикальной плоскости. Расплавленный металл ванны натекает на нижнюю свариваемую

кромку, что приводит к формированию несимметричного усиления шва, а также подрезов. При сварке горизонтальных швов предъявляются жесткие требования к сокращению размеров сварочной ванны.

Кристаллизация металла сварочной ванны. При сварке плавлением сварочную ванну можно условно разделить на два участка: головной, где происходит плавление основного и дополнительного металлов, и хвостовой, где происходит затвердевание расплавленного металла. Переход металла сварочной ванны из жидкого состояния в твердое называют *кристаллизацией.* Отличительные особенности кристаллизации сварочной ванны:

1. Источник тепла при сварке перемещается вдоль соединяемых кромок, а вместе с ним движутся плавильное пространство и сварочная ванна. При дуговой сварке столб дуги, расположенный в головной части ванны, оказывает механическое воздействие — давление на поверхность расплавленного металла за счет удара заряженных частиц, давления газов и дутья дуги. Давление приводит к вытеснению жидкого металла из-под основания дуги и погружению столба дуги в толщу основного металла. Жидкий металл, вытесненный из-под основания дуги, по мере передвижения дуги отбрасывается в хвостовую часть сварочной ванны. При удалении дуги отвод тепла начинает преобладать над притоком и начинается затвердевание (кристаллизация) сварочной ванны. В процессе затвердевания по границе расплавления образуются общие кристаллиты, что и обеспечивает монолитность соединения.

2. Малый объем сварочной ванны зависит от вида и режима сварки и изменяется от 0,1 до 10 см^3, поэтому теплоотвод в прилегающий холодный металл очень велик, велика и скорость кристаллизации.

3. Значительный перегрев расплавленного металла и его интенсивное перемешивание.

4. Кристаллизация сварочной ванны при сварке плавлением начинается в основном от готовых центров кристаллизации — частично оплавленных зерен основного металла. Металл шва, выполненного сваркой плавлением, имеет столбчатое строение, так как состоит из вытянутых (столбчатых) кристаллитов, растущих при кристаллизации в направлении, обратном теплоотводу.

1.4.5. Металлургические процессы **при сварке**

Химический состав металла **шва.** Химический состав металла шва и его свойства зависят от состава и доли участия в формировании шва основного и электродного (присадочного) металла, реакций взаимодействия расплавляемого металла с газами атмосферы и защитными средствами [1, 22].

Металл шва в общем случае при сварке плавящимся электродом или применении металлических присадок (проволоки, порошка и т. п.) образуется в результате перемешивания в ванне основного и электродного (присадочного) металла. Доля основного металла (ψ_0) в шве зависит от вида соединения (с разделкой, без разделки), вида и режима сварки и может быть определена по отношению площади, занятой основным металлом в поперечном сечении шва, ко всей его площади (рис. 1.12):

где $F_{пр}$, $F_н$ — площади, занятые основным и электродным (присадочным) металлом соответственно.

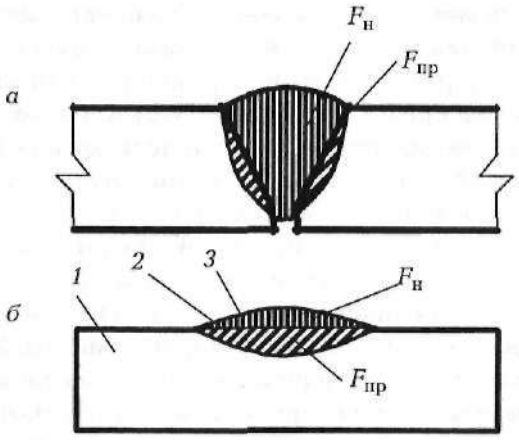


Рис. 1.12. Поперечное сечение шва:
а — стыковое соединение; *б* — наплавка; *1* — основной металл; *2* — проплавленный (основной) металл; *3* — наплавленный (присадочный) металл

При ручной дуговой сварке покрытым электродом доля основного металла в шве составляет: 0,15 — 0,40 — при наплавке валиков; 0,25 — 0,50 — при сварке корневых швов; 0,25 — 0,60 — при сварке под флюсом.

При отсутствии химических реакций в зоне сварки содержание любого элемента в металле шва ($C_ш$) может быть найдено по формуле $C_ш = C_0 \psi_0 + C_э(1 - \psi_0)$, где C_0, $C_э$ — исходное содержание элемента в основном и электродном металле; ψ_0 — доля основного металла. Например, определим содержание никеля в металле шва при дуговой сварке стали, содержащей 1,2 % никеля, с использованием электродной проволоки с содержанием никеля 1,5 % (сварка встык без разделки). Принимая среднее значение $\psi_0 = 0,3$, получаем $C_ш$ (Ni %) = 1,2 • 0,3 + 1,5(1 - 0,3) = 1,41 %.

В случае химических реакций расплавленного металла с газами, покрытиями, шлаковой ванной состав металла шва определяют с учетом коэффициентов перехода, показывающих, какая доля металла, содержащегося в электродной проволоке, переходит в металл шва: $C_ш = C_0 \psi_0 + г \psi C_э(\psi - Щ)$, где г) — коэффициент перехода, он изменяется в широких пределах (0,3 — 0,95) в зависимости от химической активности элемента, вида сварки, технологии сварки и др.

Металлургические реакции при сварке. При сварке без защиты расплавляемый металл интенсивно поглощает газы атмосферы, поэтому сварные швы обладают низкими механическими свойствами. Для изоляции металла от воздуха в процессе сварки применяют различные средства защиты: электродные покрытия, флюсы, защитные газы, вакуум. Однако полностью изолировать металл от воздуха обычно не удается. Сами средства защиты также взаимодействуют с металлом, даже инертный газ и вакуум, содержат некоторое количество примесей. Химические реакции взаимодействия расплавленного металла с газами и средствами защиты называются сварочными металлургическими реакциями.

Выделяют две основные зоны или стадии взаимодействия расплавленного металла с газами и шлаком: торец электрода с образующимися на нем каплями и сварочную ванну. Полнота протекания металлургических реакций зависит от температуры, времени взаимодействия, поверхности и концентрации реагирующих веществ.

Характерные условия металлургических реакций при сварке,

как и при кристаллизации, — высокая температура нагрева, относительно малый объем расплавляемого металла, кратковременность процесса.

Средняя температура капель электродного металла, поступающих в ванну, возрастает с увеличением плотности тока и составляет при сварке сталей от 2200 до 2700 °С, т. е. характеризуется значительным перегревом. Температура сварочной ванны при дуговой сварке также характеризуется значительным превышением над точкой плавления, перегрев составляет 100 — 500 °С. Высокая температура способствует высокой скорости протекания реакций, однако из-за больших скоростей охлаждения реакции при сварке обычно не успевают завершиться полностью.

Металлургические реакции при сварке одновременно протекают в газовой, шлаковой и металлической фазах.

Взаимодействие металла с газами. При дуговой сварке газовая фаза зоны дуги, контактирующая с расплавленным металлом, состоит из смеси N_2, 0_2, H_2, $C0_2$, CO, паров H_20, а также продуктов их диссоциации и паров металла и шлака. Азот попадает в зону сварки главным образом из воздуха. Источниками кислорода и водорода являются воздух, сварочные материалы (электродные покрытия, флюсы, защитные газы и т. п.), а также окислы, поверхностная влага и другие загрязнения на поверхности основного и присадочного металла. Наконец, кислород, водород и азот могут содержаться в избыточном количестве в переплавляемом металле. В зоне высоких температур происходит распад молекул газа на атомы (диссоциация). Молекулярный кислород, азот и водород распадаются и переходят в атомарное состояние: $0_2 \leftrightarrow 20$, N_2 **о** 2N, $H_2 \leftrightarrow 2H$. Активность газов в атомарном состоянии резко повышается.

При контакте расплавленного металла, содержащегося в газовой или шлаковой фазах, происходит растворение кислорода в металле, а при достижении предела растворимости — химическое взаимодействие с образованием оксидов. Одновременно происходит окисление примесей и легирующих элементов, содержащихся в металле. В первую очередь окисляются элементы, обладающие большим сродством к кислороду. Например, титан окисляется по реакции $Ti + 0_2 = ТЮ_2$, марганец — по реакции $Мп + 0_2 = Мп0_2$.

Железо образует с кислородом три соединения (оксиды): закись железа FeO, содержащую 22,27 % 0_2; закись-окись железа

Fe_3O_4, содержащую 27,64 % O_2; окись железа, содержащую 30,06 % O_2. Кислород снижает прочностные и пластические свойства металла.

Азот растворяется в большинстве конструкционных материалов и со многими элементами образует соединения, которые называются нитридами. С железом он образует нитриды Fe_2N и др. Азот вызывает охрупчивание, появление пор и старение деталей.

Водород также растворяется в большинстве металлов. Металлы, способные растворять водород, можно разделить на две группы. К первой группе относят металлы, не имеющие химических соединений с водородом (железо, никель, кобальт, медь и др.). Ко второй группе относятся металлы (титан, цирконий, ванадий, ниобий, тантал, палладий, редкоземельные элементы и др.), образующие с водородом химические соединения, которые называются гидридами. Водород очень вредная примесь, так как является причиной образования пор, микро- и макротрещин в шве и в зоне термического влияния.

Углекислый газ, присутствующий в зоне дуги при сварке в CO_2, активно окисляет металл по реакции, которая протекает в две стадии:

$$CO_2 \rightarrow CO + 1/2\ O_2$$
$$Fe_ж + 1/2\ O_2 \rightarrow [FeO]$$

В суммарном виде реакция имеет вид:

$$CO_2 + Fe_ж \leftrightarrow [FeO] + CO\ T,$$

где [FeO] — закись железа, растворившаяся в железе.

Образующаяся окись углерода CO в металле шва не растворяется, в процессе кристаллизации сварочной ванны она выделяется и может образовать поры. Углекислый газ применяют для защиты зоны сварки при использовании раскисляющих элементов (Mn, Si), нейтрализующих окислительное действие CO_2.

Водяной пар, находящийся в газовой фазе, взаимодействует с жидким металлом по уравнению $H_2O + Fe_ж \leftrightarrow [FeO] + H_2\ T$.

Основные способы борьбы с вредным влиянием газов — качественная защита и применение элементов раскислителей в сварочных материалах.

Взаимодействие металла со **шлаком.** При расплавлении сварочного флюса, электродного покрытия, сердечника порошковой проволоки образуется шлак. Основное назначение сварочного шлака — изоляция расплавленного металла от воздуха. Флюсы и покрытия стабилизируют дугу, способствуют качественному формированию шва, осуществляют металлургическую обработку расплавленного металла — его раскисление и легирование.

Характерными реакциями раскисления являются реакции раскисления закиси железа кремнием и марганцем, содержащимися в сварочных флюсах и покрытиях:

$$2FeO + Si \Leftrightarrow 2Fe + SiO_2$$
$$FeO + Mn \Leftrightarrow Fe + MnO$$

Окислы кремния и марганца переходят в шлак.

Сварочные материалы наряду с окислителями могут содержать вредные компоненты — серу и фосфор, так как они являются причиной горячих трещин и охрупчивания металла шва. Сера, соединяясь с железом, образует сульфид железа FeS. Металл очищают от серы, вводя более активный элемент, чем свариваемый металл, по реакции FeS + Mn **о** Fe + MnS. Сульфид марганца менее растворим в стали, чем сульфид железа, что вызывает перераспределение серы из расплавленного металла в шлак.

1.4.6. Термический цикл сварки и структура сварного соединения

Металл в любой зоне сварного соединения испытывает нагрев и последующее охлаждение. Изменение температуры металла во время сварки называется термическим циклом сварки. Максимальная температура нагрева в разных зонах соединений различна: в шве максимальная температура превышает, в зоне сплавления — близка, в зоне термического влияния — меньше температуры плавления, постепенно уменьшаясь по мере удаления от шва [1, 22].

При нагреве в металле происходят следующие структурные и фазовые превращения:

растворение фаз в металле в твердом состоянии, например, карбидов (соединений металла с углеродом) в нагретом металле;

полиморфное превращение, т. е. превращение низкотемпературной модификации материала в высокотемпературную;

плавление металла в участках, нагреваемых выше температуры плавления.

При охлаждении структурные и фазовые превращения идут в обратном порядке:

кристаллизация;

полиморфное превращение, т. е. переход из высокотемпературной фазы в низкотемпературную;

выпадение из металла различных вторичных фаз: карбидов, интерметаллидов и др.

Кроме названных превращений, в металле в низкотемпературной области при сварке происходят структурные изменения, вызывающие разупрочнение основного металла: рекристаллизация, старение и др.

Рассмотрим термический цикл и структуру сварного соединения при дуговой сварке низкоуглеродистой стали. На рис. 1.13 показано, как распределяется максимальная температура в сварном соединении, схематичная структура разных зон соединения, изменение температуры (термические циклы) в этих зонах и свойств металла.

Каждый металл состоит из очень мелких зерен. Эти зерна можно видеть на изломе. Совокупность всех зерен металла называется эгоструктурой. В металле различают макро- и микроструктуру. Макроструктура рассматривается невооруженным глазом и при небольших (до 10—15 раз) увеличениях. Структура металла, изучаемая при увеличениях более чем в 60—100 раз, называется микроструктурой.

На участке 1 металл, который находился в расплавленном состоянии, затвердевая, образует сварной шов, имеющий литую структуру из столбчатых кристаллов. Грубая столбчатая структура металла шва является неблагоприятной, так как снижает прочность и пластичность металла. Зона термического влияния имеет несколько структурных участков, различающихся формой и строением зерна, вызванных различной температурой нагрева в пределах 1530 °С. Ширина участка 1 составляет примерно половину ширины шва.

Участок неполного расплавления 2 — переходный от наплавленного металла к основному. На этом участке происходит образо-

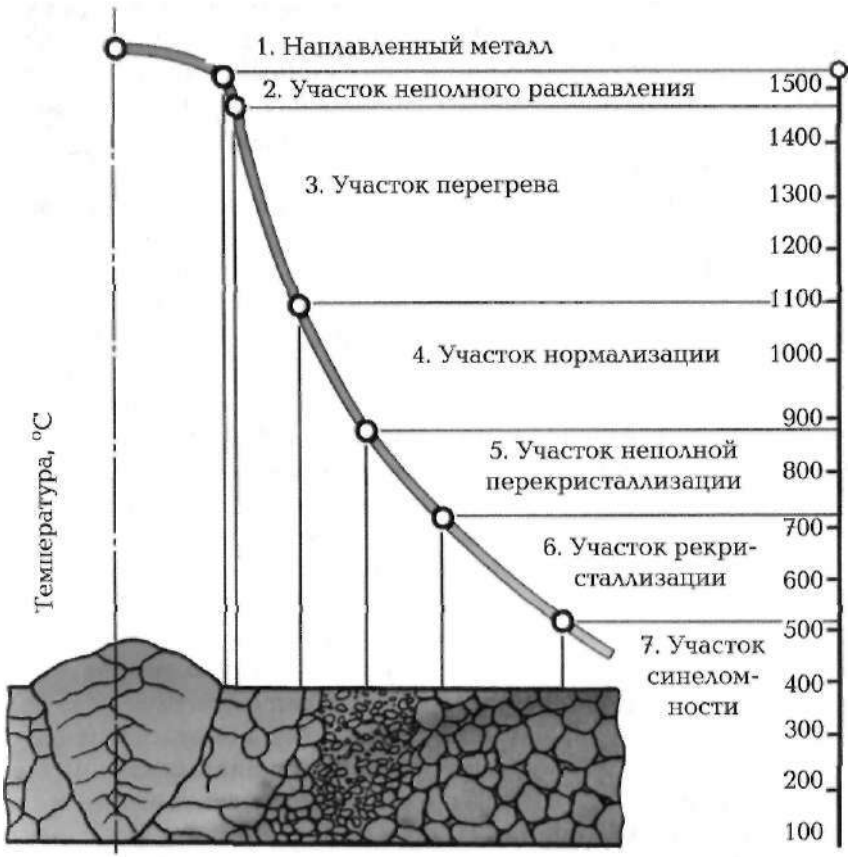


Рис. 1.13. Термический цикл сварного соединения низкоуглеродистой стали при однопроходной сварке

вание соединения и проходит граница сплавления, он представляет собой очень узкую область (0,1 —0,4 мм) основного металла, нагретого до частичного оплавления зерен. Здесь наблюдается значительный рост зерен, скопление примесей, поэтому этот участок обычно является наиболее слабым местом сварного соединения с пониженной прочностью и пластичностью. Температура участка составляет 1530- 1470 °С.

Участок перегрева 3 — область основного металла, нагреваемого до температур 1470 — 1100 °С, в связи с чем металл отличается крупнозернистой структурой и пониженными механическими свойствами (пластичностью и ударной вязкостью). Эти свойства тем ниже, чем крупнее зерно и шире зона перегрева. Ширина участка 3 составляет 3 — 4 мм.

Участок нормализации 4 — область металла, нагреваемого до температур от 880 до 1100 °С. Металл этого участка обладает высокими механическими свойствами, так как при нагреве и охлаждении на этом участке образуется мелкозернистая структура в результате перекристаллизации без перегрева. Ширина участка 4 составляет 0,2 —0,4 мм.

Участок неполной перекристаллизации 5 — зона металла, нагреваемого при сварке до температур 720 — 880 °С. В связи с неполной перекристаллизацией, вызванной недостаточным временем и температурой нагрева, структура этого участка характеризуется смесью мелких перекристаллизовавшихся зерен и крупных зерен, которые не успели перекристаллизоваться. Металл этого участка имеет более низкие механические свойства, чем металл предыдущего участка. Ширина его составляет 0,1—3 мм.

Участок рекристаллизации 6 — область металла, нагреваемого в пределах температур от 510 до 720 °С. Если сталь перед сваркой испытала холодную деформацию (прокатку, ковку, штамповку), то на этом участке развиваются процессы рекристаллизации, приводящие к росту зерна, огрублению структуры и, как следствие, к разупрочнению. Ширина участка 6 составляет 0,1 — 1,5 мм.

Участок 7, нагреваемый в области температур 200 — 510 °С, является зоной перехода от зоны термического влияния к основному металлу. В этой зоне могут протекать процессы старения_из-за выпадения карбидов железа и нитридов, в связи с чем механические свойства металла этой зоны понижаются.

Если металл перед сваркой был отожжен, то существенных изменений на участках 6 и 7 не происходит.

Ширина зоны термического влияния зависит от толщины металла, вида и режимов сварки. При ручной дуговой сварке она составляет обычно 5 — 6 мм, при сварке под флюсом средних толщин — около 10 мм, при газовой сварке — до 25 мм.

JLA ПОДГОТОВКА ТРУБ К СБОРКЕ
ГЛАВА И СВАРКЕ

2.1. ВХОДНОЙ КОНТРОЛЬ И ПОДГОТОВКА ТРУБ

Перед началом сварочно-монтажных работ необходимо убедиться в том, что используемые трубы, соединительные детали, запорная и распределительная арматура имеют сертификаты качества и соответствуют проекту, техническим условиям на их поставку, а также требованиям действующих нормативно-технических документов. Трубы и детали должны пройти обязательный входной контроль [18,19].

Входной контроль труб производят для проверки их соответствия техническим требованиям, изложенным в ГОСТе или **ТУ** и.) трубы, а также СНИП 2.05.06 — 85*. При входном контроле проверяют:

1. Наличие сертификатов соответствия.

Сертификат содержит: номинальный размер трубы, номер и дату ТУ, по которому изготовлена труба; марку стали; номер Партии; результаты мехиспытаний с указанием номера плавки, і которым относятся результаты испытаний; результаты гидравлических испытаний и рентгеновской дефектоскопии; вид термообработки; химический анализ плавки.

2. На внутренней поверхности каждой трубы, на расстоянии .>()() мм от одного из ее концов несмываемой краской наносят марі ировку: завод-изготовитель, номер контракта, номер плавки, номинальные размеры, номер трубы, дата изготовления, эквивалент . рлерода.

3. Длину трубы.

Длина трубы должна быть в пределах от 10,5 до 11,6 м (и до 11,8 м Во согласованию). Предельные отклонения по длине для труб I і ласса точности (+ 15, — 0) мм, для труб 2 класса (+ 100, — 0) мм.

Длину труб измеряют рулетками или мерными проволоками.

4. Диаметр и толщину стенки трубы (диаметр измеряют по ГОСТ 20.295 — 85). Наружный диаметр трубы определяют путем измерения периметра трубы рулеткой, с последующим пересчетом по формуле

$$Д, = Р/3,14159 - 2Др - 0,2 \text{ мм},$$

где P — периметр трубы, мм; Ар — толщина полотна рулетки, мм; 0,2 мм — припуск на прилегание полотна рулетки к телу трубы.

Предельные отклонения по наружному диаметру труб:

$D_н < 200$ мм — ±1,5 мм;

$D_н$ = 200 - 350 мм — ±2 мм;

$D_н$ = 350 - 530 мм — ±2,2 мм;

$D_н$ = 530 — 630 мм — ±3 мм;

$D_н$ = 720 - 820 мм — ±4 мм;

$D_н$ = 820 - 1020 мм — ±0,7 %;

$D_н$ > 1020 мм — ±0,6 %.

Толщину стенки измеряют штангенциркулями с ценой деления 0,01 мм. Минусовой допуск должен быть не более 5 % номинальной толщины. Отклонения толщины стенки трубы должны соответствовать требованиям ГОСТ или ТУ на трубы.

5. Овальность концов труб.

Овальность определяют путем измерения диаметра торца трубы нутромером или индикаторной скобой в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Овальность — отношение разности между наибольшим и наименьшим диаметром к номинальному диаметру должна быть не более 1 % $D_н$ при толщине стенки 8 < 20 мм и 0,8 % $D_н$ при 8 > 20 мм.

6. Кривизну труб.

Кривизна труб не должна превышать 1,5 мм на 1 м длины: общая кривизна не должна превышать 0,15 % длины трубы.

7. Состояние кромок и косину реза.

Концы труб обрезают под прямым углом. Отклонение от перпендикулярности торцов (косина реза) не должно превышать 1,6 мм для труб номинальным наружным диаметром 1020 мм и более и 1,2 мм дд^я^ труб номинальным наружным диаметром менее 1020 мм. Кромки труб должны иметь разделку под сварку. Для

нефтепроводов косина реза должна быть < 1,0 мм — для $D_н$ < 530 мм; 1,6 мм — для $D_н$ > 530 мм. Концы труб должны иметь фаску, выполненную механическим способом. Для труб с номинальной толщиной стенки менее 15 мм используется фаска с углом скоса 30 ° и допускаемым отклонением минус 5 °.

Притупление должно быть в пределах 1 — 3 мм.

8. Наличие дефектов на поверхности труб.

Не допускается наличие трещин, рванин, плены, закатов, *и* также выходящих на поверхность или торцевые участки расслоений. В зоне шириной не менее 40 мм от торцов труб не допускаются расслоения, превышающие 6,5 мм. В основном металле труб допускаются расслоения, если их размер в любом направлении не превышает 80 мм, а площадь не превышает 5000 мм^2. Расслоения площадью не менее 5000 мм^2 и длиной в любом направлении 30 — 80 мм должны располагаться друг от друга на расстоянии Не менее 500 мм.

Трубы изготавливают из листов, прошедших 100 % УЗ контроль.

Допускается зачистка поверхностных дефектов, кроме трещин, при условии, что толщина стенки после зачистки не выходит 30 пределы своего минимального значения. Поверхностные дефекты типа задира, царапины допускаются, если при последующей их шлифовке толщина стенки трубы не выйдет за пределы допуска на толщину стенки. Допускаются вмятины глубиной не более 6 мм.

9. Сварной шов. Должен быть плавный переход к основному металлу.

Высота усиления 0,5 — 2,5 мм для 5 < 10 мм,
0,5 —3,0 мм для 8 > 10 мм.

Высота усиления внутреннего шва должна быть 0,5 — 3,0 мм.

На концах труб на длине L > 150 мм усиление внутреннего шва д(1Лжно удаляться до высоты 0 — 0,5 мм. Не допускаются трещины, иепровары, подрезы глубиной более 0,4 мм, выходящие на поверхность поры.

10. Трубы могут подвергаться ремонту, если (ВСН 012 —88 п. 4.6) глубина царапин, задиров не более 5 % от толщины стенки; вмятины на концах труб имеют глубину не более 3,5 % от $D_н$; глубина задиров фасок не более 5 мм.

11. Химический состав, углеродный эквивалент, механиче-

ские свойства основного металла и сварочного шва контролируют дополнительно — одна труба из партии. Все остальные параметры контролируются на всех трубах — 100 %.

12. Трубы разбраковывает (т. е. определяет бракованные трубы или нет) комиссия, состоящая из представителей строительно-монтажной организации, заказчика и транспортных ведомств (ж/д, Морфлот, речфлот).

Перед сборкой труб необходимо очистить внутреннюю полость труб и трубных деталей от попавшего внутрь грунта, грязи, снега, а также очистить до металлического блеска кромки и прилегающие к ним внутреннюю и наружную поверхности труб и соединительных деталей на ширину не менее 10 мм [16].

Участки усиления наружных заводских швов, прилегающие к свариваемому торцу, рекомендуется удалять до высоты 0 — 0,5 мм на расстоянии от торца не менее 10 мм.

При контактной стыковой сварке кольцевых стыков трубопроводов необходимо дополнительно:

провести контрольную проверку размеров стыкуемых труб по торцам, при этом разница в фактическом периметре стыкуемых труб не должна превышать 12 мм, а разница в фактической толщине их стенок — 1 и 2,2 мм, соответственно для толщин стенок до 10 и более 10 мм;

выполнить в соответствии с технологической инструкцией и картой зачистку до металлического блеска поверхностей труб под токоподводящие башмаки сварочных машин;

проверить и, в случае необходимости, удалить усиление продольных швов труб в месте расположения силовых и токоподводящих башмаков, при этом высота оставшегося усиления продольного шва после его удаления должна быть не более 0,5 мм.

Газокислородную резку труб можно выполнять механизированным или ручным способом.

Перед резкой необходимо зачистить проволочной щеткой зону реза шириной 50—100 мм от праймера, изоляции, окалины, ржавчины, пыли, масляных и жирных пятен.

Шероховатость кромки реза не должна превышать 0,32 мм (3-й класс по ГОСТ 14792).

Перед сваркой после резки необходимо тщательно удалить с кромки реза грат и окалину. Перед сваркой электродами с покрытием целлюлозного вида поверхность реза необходимо зачи-

стить шлифмашинкой (см. рис. 2.1) или подвергнуть механической обработке.

При отрицательных температурах окружающего воздуха машинную резку рекомендуется выполнять с подогревом до 50 — 100 °С.

Рис. 2.1. Подготовка торцов труб к сварке

Правку концов труб после резки при отрицательных температурах окружающего воздуха можно выполнять только после подогрева до 150-200 °С.

При использовании для удаления дефектов воздушно-дуговой поверхностной резки угольным электродом перед сваркой поверхность реза следует зачистить от грата абразивным кругом с использованием шлифмашинки на глубину 0,3 — 0,5 мм (до металлического блеска). Рекомендуемые типы разделки кромок труб приведены на рис. 2.2.

Примечания: 1. После газовой резки в монтажных условиях разделка кромок труб должна соответствовать рис. 2.2, *а* независимо от толщины стенки труб.

2. Размер *B* (мм) на рис. 2.2, *б* зависит от **толщины** стенки трубы мм:

В, мм	7	8	10	12
Толщина стенки трубы, мм	15-19	19-21,5	21,5-26	26-32

На рис. 2.3 показана подготовка торцов труб и монтаж трубной секции.

Перед началом выполнения работ по сварке стыков труб производится сушка или подогрев торцов труб (рис. 2.4) и прилегающих к ним участков.

Необходимость проведения предварительного подогрева и его режим определяются:

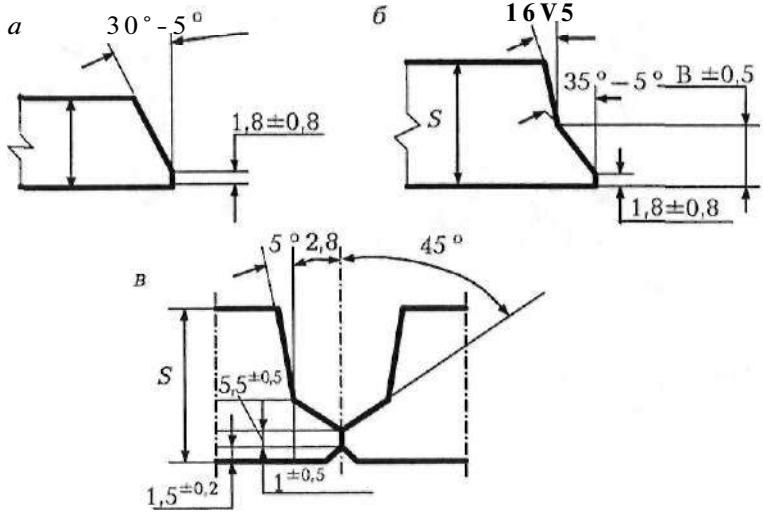


Рис. 2.2. Типы разделки кромок труб для ручной дуговой сварки, односторонней автоматической сварки под флюсом, автоматической дуговой сварки порошковой проволокой с принудительным формированием, полуавтоматической сварки в защитных газах:

а — для труб диаметром 57— 1420 мм с толщиной стенки *S* до 16 мм; *б* — для труб диаметром 273— 1420 мм с толщиной стенки более 15 мм; *в* — для автоматической сварки труб в защитных газах

видом покрытия электрода;

эквивалентом углерода и толщиной стенки свариваемой стали;

температурой окружающего воздуха.

Сушка или предварительный подогрев должны осуществляться однопламенными или кольцевыми наружными или внутренними пропановыми горелками, или путем индукционного нагрева. Во всех случаях должна быть обеспечена равномерность нагрева торцов по периметру и прилегающих к ним участков поверхности трубы на ширине 10—15 мм от торца.

Продолжительность подогрева определяется экспериментально для каждого подогревателя в зависимости от температуры окружающего воздуха и стенки трубы.

При наличии изоляции на трубах проведение подогрева не должно нарушать ее целостность. В этом случае следует применять термоизолирующие пояса и/или боковые ограничители пламени.

Предварительный подогрев или сушку производят перед выполнением прихваток либо перед сваркой корневого слоя шва.

Режимы предварительного подогрева при сварке корневого слоя шва электродами с основным видом покрытия и проволокой сплошного сечения методом STT приведены в табл. 2.1 **[16].**

Рис. 2.3. Подготовка торцов труб и монтаж трубной секции

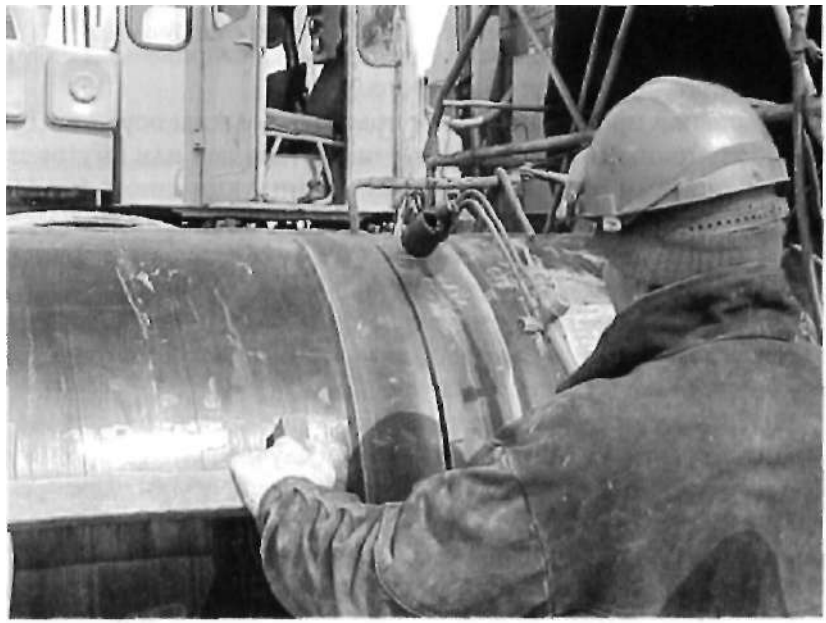


Рис. 2.4. Сушка кромок пропановой горелкой

Таблица 2.1

Условия предварительного подогрева при сварке корневого слоя шва электродами с основным покрытием, проволокой сплошного сечения при сварке методом STT

Эквивалент углерода металла труб, %	Температура предварительного подогрева (°С) при толщине стенки трубы, мм							
	До 8,0	8,1-10,0	10,1-12,0	12,1-14,0	14,1-16,0	16,1-18,0	18,1-20,0	Свыше 20,0
£0,41					-35	-20	-5	
0,42-0,46				-15	+5			

— подогрев не требуется

— подогрев до +100 °С при температуре окружающего воздуха ниже указанной

— подогрев до +100 °С независимо от температуры окружающего воздуха

Режимы предварительного подогрева при сварке корневого слоя шва электродами с целлюлозным видом покрытия приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Условия предварительного подогрева при сварке корневого слоя шва электродами с целлюлозным покрытием

Эквивалент углерода металла труб, %	Температура предварительного подогрева (°С) при толщине стенки трубы, мм							
	До 8,0	8,1-10,0	10,1 — 12,0	12,1 — 14,0	14,1-16,0	16,1-18,0	18,1-20,0	Свыше 20,0
<0,41		-10	0					
0,42-0,46		0						

— подогрев не требуется

„о — подогрев до +100 "С при температуре окружающего воздуха ниже указанной

— подогрев до +100 °С независимо от температуры окружающего воз-Духа

— подогрев до +150 °С независимо от температуры окружающего воз-Духа

I — подогрев до + 200 °С независимо от температуры окружающего воз- 1 АУха

При выполнении корневого слоя шва электродами с целлюлозным покрытием температура на кромках труб непосредственно перед сваркой не должна опускаться ниже значений, приведенных в табл. 2.2. В случае остывания кромок ниже указанной температуры необходимо осуществить сопутствующий подогрев до температуры предварительного подогрева.

При двусторонней автоматической сварке под флюсом поворотных стыков труб диаметром 1020— 1220 мм с эквивалентом углерода 0,42 — 0,46 % на трубосварочных базах типа БТС осуществляется предварительный подогрев до 50^{+30} °С при температуре окружающего воздуха ниже 0 °С. При наличии влаги на торцах труб необходимо производить их сушку.

В случае отсутствия необходимости в проведении предварительного подогрева производится сушка торцов труб и прилегаю-

щих к ним участков до температуры 20 — 50 °С при температуре окружающего воздуха ниже + 5 °С либо наличии влаги на торцах труб.

При наличии следов влаги или наледи на торцах произвести их осушку путем нагрева до температуры 20 — 50 °С.

При выполнении ремонтных работ для устранения дефектов сварных соединений изнутри и снаружи трубы произвести предварительный подогрев до 100^{+30} °С независимо от температуры окружающего воздуха.

Температуру предварительного подогрева стыков труб различных прочностных классов, разнотолщинных труб или разнотолщинных соединений устанавливают по максимальному значению, требуемому для одного из стыкуемых элементов.

2.2. ГАЗОПЛАМЕННАЯ РЕЗКА

Под газопламенной резкой (чаще ее называют кислородной) понимают способ разделения металла по прямому или криволинейному контуру. Метод основан на использовании для нагрева смеси горючих газов с кислородом и экзотермической (с выделением тепла) реакции окисления металла. Суть кислородной резки заключается в сгорании железа в струе чистого кислорода, нагретого до температуры, близкой к температуре плавления (рис. 2.5) [10].

Резке поддаются металлы, удовлетворяющие следующим требованиям:

температура плавления металла должна быть выше температуры воспламенения его в кислороде. Металл, не отвечающий этому требованию, плавится, а не сгорает. Например, низкоуглеродистая сталь имеет температуру плавления около 1500 °С, а воспламеняется в кислороде при температуре 1300 — 1350 °С. Увеличение содержания углерода в стали сопровождается понижением температуры плавления и повышением температуры воспламенения в кислороде. Поэтому резка стали с увеличением содержания углерода и примесей усложняется **[12];**

температура плавления оксидов должна быть ниже температуры плавления самого металла, чтобы образующиеся оксиды лег-

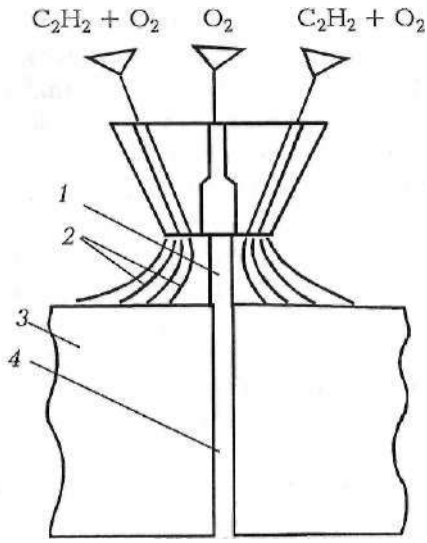


Рис. 2.5. Кислородная резка:
1 — струя кислорода; *2* — подогревающее пламя; *3* — металл; *4* — зона реза; *5* — оксиды железа

ко выдувались и не препятствовали дальнейшему окислению и процессу резки. Например, при резке хромистых сталей образуются оксиды хрома с температурой плавления 2000 °С, а при резке алюминия — оксиды с температурой плавления около 2050 °С. Эти оксиды покрывают поверхность металла и прекращают дальнейший процесс резки;

образующиеся при резке шлаки должны быть достаточно текучи и легко выдуваться из разреза. Тугоплавкие и вязкие шлаки будут препятствовать процессу резки;

теплопроводность металла должна быть наименьшей, так как при высокой теплопроводности теплота, сообщаемая металлу, будет интенсивно отводиться от участка резки и подогреть металл до температуры воспламенения будет трудно;

количество теплоты, выделяющейся при сгорании металла, должно быть возможно большим — она способствует нагреванию

прилегающих участков металла и тем самым обеспечивает непрерывность процесса резки. Например, при резке низкоуглеродистой стали около 70 % общего количества теплоты выделяется от сгорания металла в струе кислорода и только 30 % составляет теплота от подогревающего пламени резака.

Различают два вида кислородной резки — разделительную и поверхностную.

Разделительную резку применяют для вырезки различного вида заготовок, раскроя листового металла, разделки кромок под сварку и других работ, связанных с разрезкой металла на части. Сущность процесса заключается в том, что металл вдоль линии реза нагревают до температуры воспламенения его в кислороде, он сгорает в струе кислорода, а образующиеся оксиды выдуваются этой струей из места разреза.

Поверхностную резку применяют для снятия поверхностного слоя металла, разделки каналов, удаления поверхностных дефектов и других работ. Резаки имеют большую длину и увеличенные сечения каналов для газов подогревающего пламени и режущего кислорода.

2.2.1. Газовое пламя

При газопламенной обработке (сварке, резке, поверхностной обработке, пайке) в качестве источника тепла используется газовое пламя — пламя горючего газа, сжигаемого для этой цели в кислороде в специальных горелках [6].

В качестве горючих газов используют ацетилен, водород, пропан, природные газы, нефтяной газ, пары бензина, керосина и др. Наиболее высокую температуру по сравнению с пламенем других газов имеет ацетилено-кислородное пламя, поэтому оно нашло наибольшее применение.

Ацетилен (C_2H_2) является химическим соединением углерода и водорода. Его получают в специальных аппаратах — газогенераторах при взаимодействии воды с карбидом кальция (CaC_2). Реакция разложения карбида кальция с образованием газообразного ацетилена и гашеной извести протекает со значительным выделением теплоты Q:

$$CaC_2 + 2H_20 = C_2H_2 + Ca(OH)_2 + Q.$$

При разложении 1 кг карбида кальция образуется 0,25 — 0,3 $м^3$ ацетилена.

Карбид кальция получают в электрических дуговых печах при температуре 1900-2300 °С сплавлением кокса с негашеной известью по реакции

$$CaO + 3C = CaC_2 + CO.$$

Ацетилено-кислородное пламя состоит из трех зон (рис. 2.6): ядра пламени *1,* средней восстановительной зоны 2, факела пламени _ окислительной зоны *3.* Ядро представляет собой газовую смесь сильно нагретого кислорода и диссоциированного (разло-

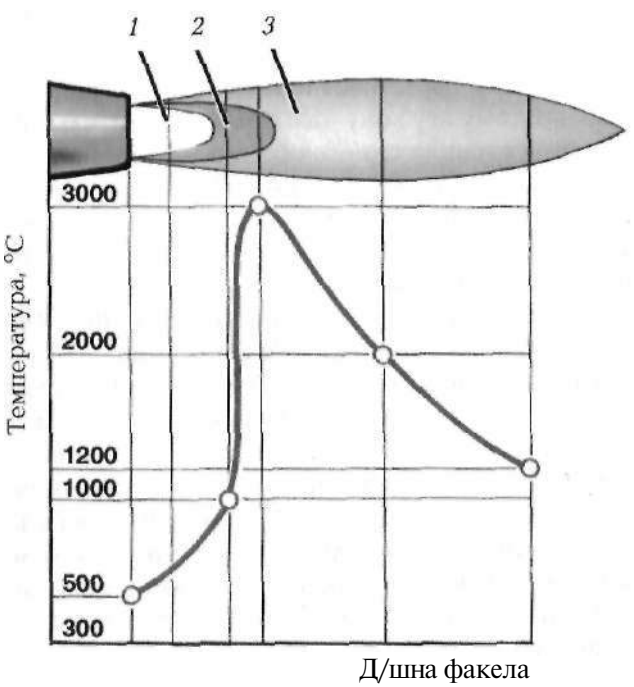


Рис. 2.6. Схема строения нормального ацетилено-кислородного пламени и распределения температур

женного) ацетилена — $2C + H_2 + <Э_2$, ядро выделяется резким очертанием и ярким свечением. Горение начинается на внешней оболочке ядра и продолжается во второй зоне. В зоне *2* происходит первая стадия сгорания ацетилена за счет кислорода, поступающего из баллона по реакции

$$2C + H_2 + 0_2 - * 2CO + H_2.$$

Углерод сгорает не полностью, а водород, как имеющий меньшее сродство к кислороду по сравнению с углеродом, в этой зоне не окисляется (не сгорает). Зона 2, имеющая самую высокую температуру и обладающая восстановительными свойствами, называется сварочной или рабочей зоной. В зоне *3* (факеле) протекает вторая стадия горения ацетилена за счет атмосферного кислорода по реакции

$$2CO + H_2 + 3/20_2 = 2C0_2 + H_20.$$

Углекислый газ и пары воды при высоких температурах окисляют железо, поэтому эту зону называют окислительной.

Для полного сгорания одного объема ацетилена требуется два с половиной объема кислорода: один объем поступает из кислородного баллона и полтора объема — из воздуха. Количество тепла в джоулях, получаемое при полном сгорании 1 $м^3$ газа, называется теплотворной способностью.

Газовое пламя нагревает металл вследствие процессов теплообмена — вынужденной конвекции и излучения.

Тепловые характеристики газового пламени (температура, эффективная тепловая мощность, распределение теплового потока пламени по пятну нагрева) зависят от теплотворной способности горючего газа, чистоты кислорода и их соотношения в смеси.

Температура газового пламени (°С) неодинакова в различных его частях и достигает наибольшего значения на оси пламени вблизи конца ядра. Тепловую мощность газового пламени, получаемого в сварочных горелках, условно оценивают часовым расходом ацетилена (л/ч).

Эффективная мощность пламени q_3, т. е. количество тепла, вводимое в нагреваемый металл в единицу времени, возрастает с увеличением расхода газа.

Эффективный к. п. д. процесса нагрева металла *г*$_э$ газовым пламенем, определяемый как отношение эффективной мощности <$_э$ к полной мощности пламени *q,* равен

где *КУс$_2$н$_г$* —полная тепловая мощность ацетилено-кислородного пламени; *К*—коэффициент, *К~0,84;г*$_и$* зависит от мощности пламени и меняется в пределах от 0,8 (малая мощность) до 0,25 (большая мощность).

Газовое пламя является рассредоточенным источником тепла. Наибольший тепловой поток на оси ацетилено-кислородного пламени обычной сварочной горелки в 8— 12 раз меньше, чем у открытой сварочной дуги примерно одинаковой эффективной мощности, поэтому газовое пламя нагревает металл медленнее и плавнее, чем сварочная дуга.

2.2.2. Оборудование для кислородной резки

Резаки классифицируют по назначению — универсальные и специальные; по принципу смешения газов — инжекторные и безынжекторные (рис. 2.7, 2.8.); по виду резки — разделительной и поверхностной резки; по применению — для ручной и машинной резки [12].

В инжекторных горелках горючий газ подается в смесительную камеру за счет подсоса его струей кислорода, вытекающего с большой скоростью из отверстий сопла.

В безынжекторных горелках горючий газ и кислород подаются под одинаковым давлением в смесительную камеру. Образующаяся горючая смесь поступает в мундштук горелки.

2.2.3. Техника резки

Поверхность разрезаемого металла должна быть хорошо очищена от грязи, краски, окалины и ржавчины. Для удаления окалины, краски и масла достаточно медленно провести пламенем горелки или резака по поверхности металла вдоль наме-

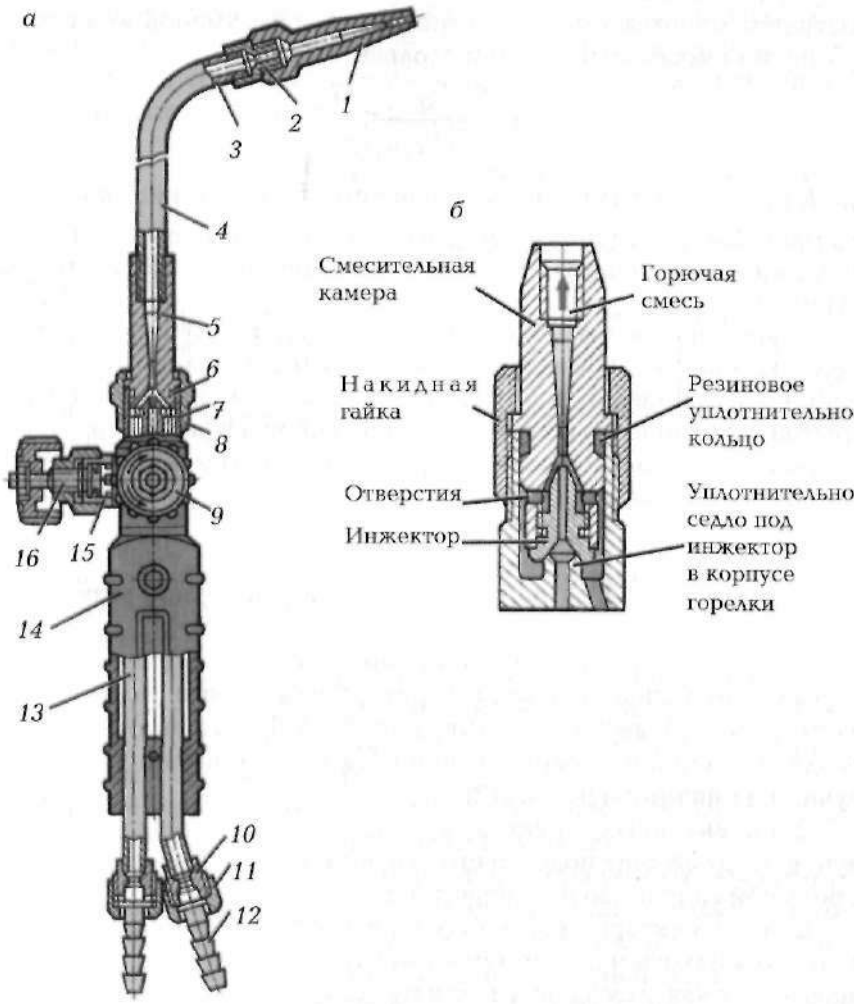


Рис. 2.7. Инжекторная газовая горелка:
а — горелка; *б* — инжекторное устройство; *1* — мундштук; *2* — ниппель мундштука; *3* — наконечник; *4* — трубчатый мундштук; *5* — смесительная камера; *6* — резиновое кольцо; *7* — инжектор; *8* — накидная гайка; *9* — ацетиленовый вентиль; *10* — штуцер; *11* — накидная гайка; *12* — шланговый ниппель; *13* — трубка; *14* — рукоятка; *15* — сальниковая набивка; *16* — кислородный вентиль

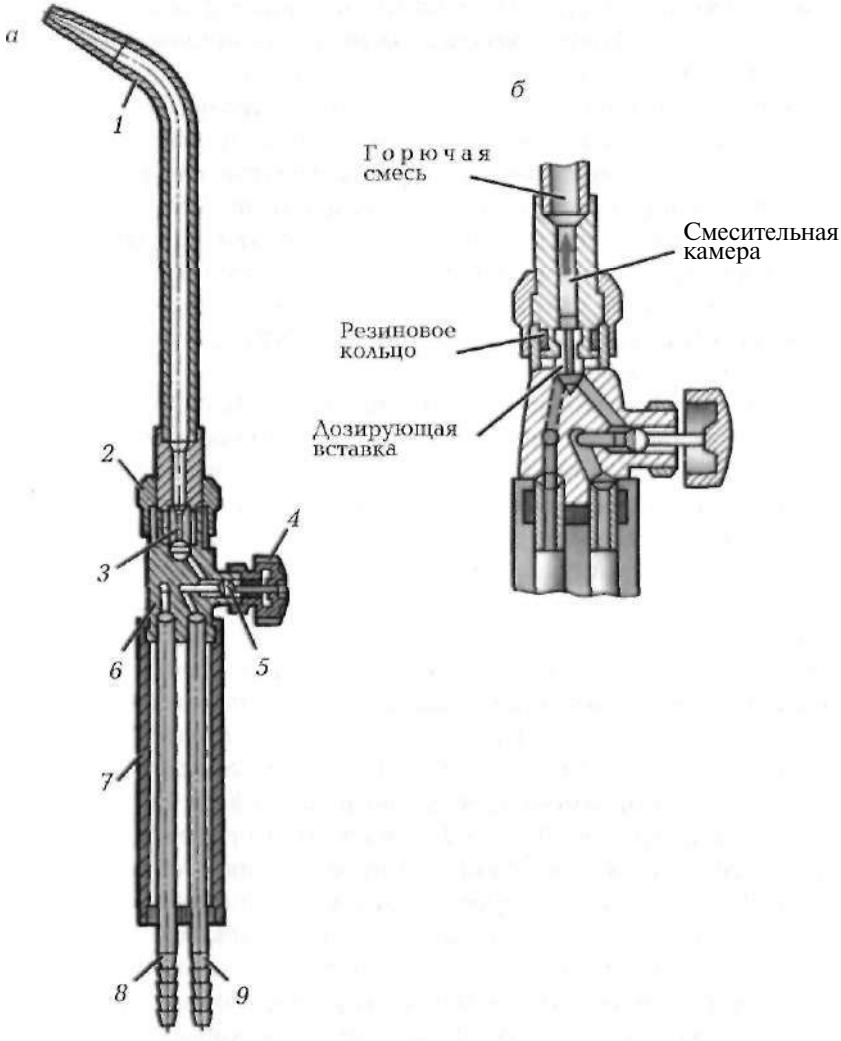


Рис. 2.8. Безынжекторная газовая горелка:
а — горелка; *б* — узел смешения газов; *1* — наконечник; *2* — накидная гайка; *3* — дозирующие каналы; *4* — вентиль; *5* — игольчатый шпиндель; *6* — корпус; 7 — рукоятка; *8* — кислородный ниппель; *9* — ацетиленовый ниппель

ченной линии реза. При этом краска и масло выгорают, а окалина отстает от металла. Затем поверхность металла зачищают металлической щеткой.

Процесс резки начинают с нагревания металла. Подогревающее пламя резака направляют на край разрезаемого металла и нагревают до температуры воспламенения его в кислороде, практически составляющей температуру плавления. Затем пускают струю режущего кислорода и перемещают резак вдоль линии разреза. Кислород сжигает верхние нагретые слои металла. Теплота, выделяющаяся при сгорании, нагревает нижележащие слои металла до температуры воспламенения и поддерживает непрерывность процесса резки.

Резку металла большой толщины выполняют следующим образом. Мундштук резака вначале устанавливают перпендикулярно поверхности разрезаемого металла так, чтобы струя подогревающего пламени, а затем и режущего кислорода располагалась вдоль вертикальной грани разрезаемого металла. После прогрева металла до температуры воспламенения пускают струю режущего кислорода. Перемещение резака вдоль линии резания начинают после того, как в начале этой линии металл будет прорезан на всю его толщину. Чтобы не допустить отставания резки в нижних слоях металла, в конце процесса следует постепенно замедлить скорость перемещения резака и увеличивать наклон мундштука резака до 10— 15 ° в сторону, обратную его движению. Рекомендуется начинать процесс резки с нижней кромки. Предварительный подогрев до 300 — 400 °С позволяет производить резку с повышенной скоростью. Скорость перемещения резака должна соответствовать скорости горения металла. Если скорость перемещения резака установлена правильно, то поток искр и шлака вылетает из разреза прямо вниз, а кромки получаются чистыми, без натеков и подплавлений. При большой скорости перемещения резака поток искр отстает от него, металл в нижней кромке не успевает сгореть и сквозное прорезание прекращается. При малой скорости сноп искр опережает резак, кромки разреза оплавляются и покрываются натеками.

Давление режущего кислорода устанавливают в зависимости от толщины разрезаемого металла и чистоты кислорода. Чем выше чистота кислорода, тем меньше его давление и расход.

Ширина и чистота разреза зависят от способа резки и толщи-

ны разрезаемого металла. Машинная резка дает более чистые кромки и меньшую ширину разреза, чем ручная резка. Чем больше толщина металла, тем больше ширина разреза.

Процесс резки вызывает изменение структуры, химического состава и механических свойств металла. При резке низкоуглеродистой стали тепловое влияние процесса на ее структуру незначительно. Наряду с участками перлита появляется неравновесная составляющая сорбита, что даже несколько улучшает механические качества металла.

2.2.4. Газы, применяемые при сварке и резке

Кислород при атмосферном давлении и обычной температуре — это газ без цвета и запаха, несколько тяжелее воздуха. При атмосферном давлении и температуре 20 °С масса 1м^3 кислорода равна 1,33 кг. Сгорание горючих газов или паров горючих жидкостей в чистом кислороде происходит очень интенсивно, В зоне горения развивается высокая температура [11].

Технический кислород добывают из атмосферного воздуха, который подвергают обработке в воздухоразделительных установках, где он очищается от пыли, углекислоты и осушается от влаги. Перерабатываемый в установке воздух сжимается компрессором до высокого давления и охлаждается в теплообменниках до сжижения. Жидкий воздух разделяют на кислород и азот. Процесс разделения происходит вследствие того, что температура кипения жидкого азота ниже температуры жидкого кислорода На 13 °С. Азот оказывается более легкокипящим газом и испаряется первым, поэтому его отводят из воздухоразделительной установки в атмосферу. Жидкий чистый кислород накапливается и иоздухоразделительном аппарате. При испарении кислорода им заполняют баллоны под давлением, создаваемым с помощью компрессора. Технический кислород транспортируют в стальных баллонах (см. рис. 2.8) согласно требованиям ГОСТ 949 — 73 или в авторецилиентах под давлением (15 ± 0,5) МПа (150 ± 5 кгс/см^2) или (20 ± 1,0) МПа (200 ± 10 кгс/см^2) при 20 °С. При наполнении баллонов, их хранении и транспортировании в интервале температур (IT минус 50 °С до плюс 30 °С давление газа в баллоне должно соотнетствовать приведенному в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Давление кислорода в баллоне в зависимости от температуры окружающего воздуха

Температура газа, °С	Давление газа в баллоне, МПа (кгс/см^2)	Допустимое отклонение, МПа (кгс/см^2	Давление газа в баллоне, МПа (кгс/см^2)	Допустимое отклонение, МПа (кгс/см^2)
	15 МПа (150 кгс/см^2) при 20 °С		20 МПа (200 кгс/см^2) при 20 °С	
-50	9,3 (93)		12,3(123)	
-40	10,2(102)		13,2(132)	
-30	11,1 (111)		14,6(146)	
-20	11,9(119)		15,8 (158)	
-10	12,7(127)	**± 0,5 (5)**	16,9(169)	+ 1,0(10)
0	13,5 (135)		17,9(179)	
+ 10	14,3(143)		19,0(190)	
+ 20	15,0(150)		20,0 (200)	
+ 30	15,7 (157)		21,0(210)	

Ацетилен (C_2H_2) является химическим соединением углерода с водородом. Это бесцветный горючий газ, имеющий резкий характерный запах. Длительное вдыхание ацетилена вызывает головокружение, тошноту, а иногда и сильное общее отравление. Ацетилен легче воздуха: 1м^3 ацетилена при 20 °С и атмосферном давлении имеет массу 1,09 кг. Ацетилен является взрывоопасным газом. Температура самовоспламенения ацетилена лежит в пределах от 240 до 630 °С и зависит от давления и присутствия в ацетилене различных примесей. При атмосферном давлении смесь ацетилена с воздухом взрывается при содержании в ней ацетилена 2,2 % и более, а в смеси с кислородом при содержании — 2,8 % и более. Взрыв ацетилено-воздушнои или ацетилено-кислороднои смеси может произойти от искры, пламени или сильного местного нагрева. Поэтому обращение с карбидом кальция и с ацетиленом требует осторожности и строгого соблюдения правил техники безопасности.

В промышленности ацетилен получают: при разложении жидких горючих веществ, таких как нефть, керосин; воздействием электродугового разряда.

Промышленный ацетилен закачивают в баллоны (рис. 2.9), где

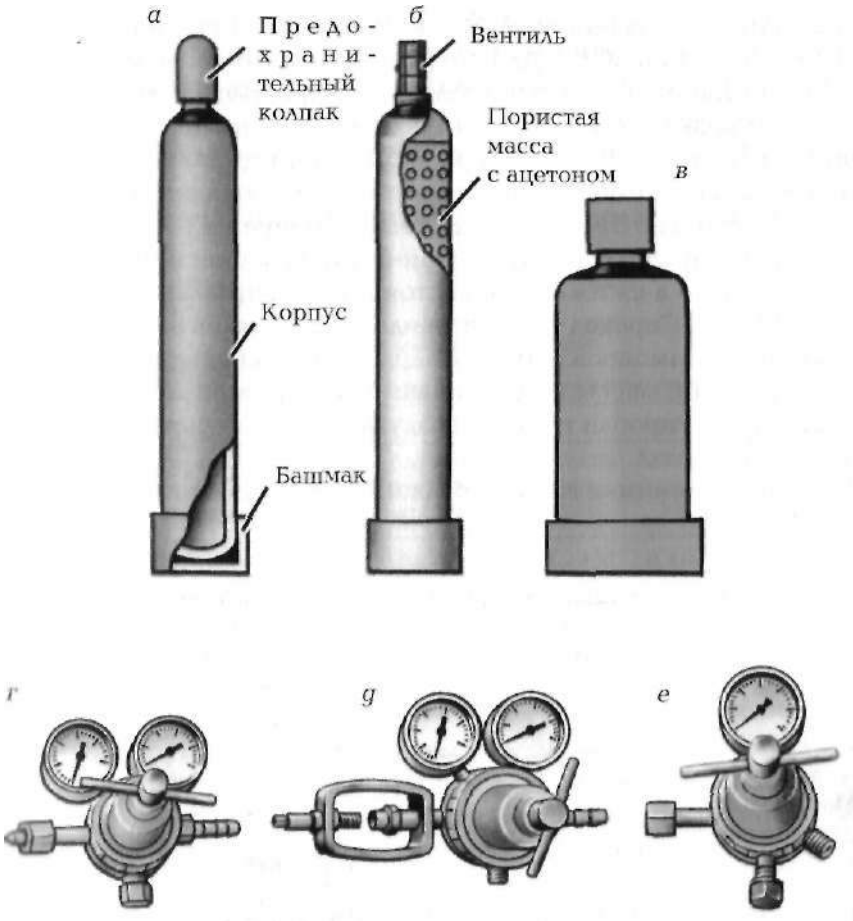


РИС. 2.9. Газовые баллоны и редукторы:
Ьаллоны: *а* — кислородный; *б* — ацетиленовый; *в* — пропановый;
1'сдукторы: *г* — кислородный; *д* — ацетиленовый; е — пропановый

..... аходится в порах специальной массы растворенным в ацетоне. Г. таком виде потребители получают баллонный промышленный Щетилен. Свойства ацетилена не зависят от способа его получения. Остаточное давление в ацетиленовом баллоне при температуре 20 "С должно быть 0,05-0,1 МПа (0,5-1,0 кгс/см^2). Рабочее

давление в наполненном баллоне не должно превышать 1,9 МПа (19 кгс/см^2) при 20 °С. Для сохранности наполнительной массы нельзя отбирать ацетилен из баллона со скоростью более 1700 дм^3/ч.

При резке металла используют пропан. Пропан — это горючий газ, который получают при добыче природных газов или при переработке нефти. Обычно получают не чистый пропан, а с примесью бутана до 5 — 30 %. Такая смесь именуется пропан-бутановой. Для сварочных работ пропан-бутановая смесь доставляется потребителю в сжиженном состоянии в специальных баллонах (см. рис. 2.9). Переход смеси из жидкого состояния в газообразное происходит самопроизвольно в верхней части баллона из-за меньшей удельной массы газа по сравнению со сжиженной смесью. Технический пропан тяжелее воздуха и имеет неприятный специфический запах.

Характеристики газовых баллонов представлены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Сводная таблица характеристик газовых баллонов

Характеристика баллона	Кислород	Ацетилен	Пропан
Размеры, мм:			
высота	1370	1370	950
диаметр	219	219	309
Масса без газа, кг	67	83	35
Давление газа, МПа	15	2	1,6
Состояние газа	Сжатый	Растворенный	Сжиженный
Емкость, дм^3	40	40	50
Количество газа	6 м^3	5,32 м^3	24 кг

2.2.5. Машинная кислородная резка

Механизированную резку производят газорезательными машинами "Орбита-2", "Спутник-3" [1, 24].

Перед резкой следует удалить из трубы на участке длиной не менее 0,5— 1,0 м снег и грязь, так как наличие влаги ухудшает качество реза и структуру металла кромки. Разрезаемый участок трубы шириной 50—100 мм по периметру необходимо тщательно

зачистить механической или ручной проволочной щеткой. На поверхности трубы не должно быть слоя праимера, следов изоляции, окалины, ржавчины, пыли, масляных и жировых загрязнений. Резка неочищенного металла приводит к значительному снижению производительности процесса, ухудшению качества поверхности реза.

Скорость резки и давление кислорода должны соответствовать табл. 2.5.

Таблица 2.5

Режимы машинной резки

Толщина металла, **мм**	Режимы машинной резки при применении					
	ацетилена			пропана		
	Скорость резки, мм/мин	Давление кислорода МПа	Давление горючего газа, МПа	Скорость резки, мм/мин	Давление кислорода, МПа	Расход горючего газа, л/м
5 - ю	600-400	0,35-0,4	0,04-0,045	500-400	0,4-0,45-.	25-35
10-20	500-400	0,4-0,5	0,04-0,045	400-300	0,45-0,55	35-45
20-30	400-350	0,5-0,7	0,045-0,05	300-350	0,55-0,75	45-55

Резку начинают прожиганием в теле трубы отверстия следующим образом: резак подводят к месту пробивки отверстия, зажигают горючую смесь резака, разогревают место пробивки до температуры воспламенения в струе кислорода и постоянно включают подачу режущего кислорода.

После пробивки отверстия включают привод перемещения резака по периметру трубы. Резку труб производят по замкнутому периметру трубы, начиная с нижнего положения.

В процессе резки необходимо следить за соблюдением выбранного режима, т. е. сохранять неизменными состав смеси, расстояние между мундштуком резака и металлом, скорость резки, давление газов.

Шероховатость кромки реза не должна превышать 0,16 И 0,32 мм при толщине разрезаемого металла соответственно 5—15 и 16 — 30 мм. /

Перед сваркой после машинной газокислородной резки необходимо тщательно удалить с кромки реза грат и окалину.

По кромкам после машинной газокислородной резки разрешается выполнять ручную дуговую сварку электродами с основным видом покрытия, автоматическую сварку под флюсом по ручной подварке и двустороннюю.

Сварку электродами с покрытием целлюлозного вида разрешается выполнять только после механической обработки кромок реза или зачистки их шлиф-машинками.

Резка труб при отрицательных температурах окружающего воздуха может сопровождаться появлением трещин в кромке реза. Во избежание образования трещин и получения более пластичного металла у линии реза в зависимости от состава стали, толщины металла, режима резки необходимо применять предварительный подогрев.

Для механизированной воздушно-плазменной резки труб при строительстве магистральных трубопроводов предназначена установка "Орбита ПЛ-1" [2].

Для выполнения резки контейнер с установкой необходимо расположить на расстоянии не менее 1,5 — 2 м от разрезаемой трубы.

На обрабатываемую трубу монтируют направляющий пояс (рис. 2.10), соответствующий ее диаметру. Для обеспечения точности резки необходимо произвести тщательную выверку установки направляющего пояса. Ходовую часть машины "Орбита" монтируют на направляющий пояс.

Поверхность трубы в месте, где начинается рез и где должно произойти возбуждение основной дуги, очищают от окалины, грязи, масла, ржавчины, краски, а полость трубы — от грязи, снега и др. При резке изолированных труб место начала реза необходимо очистить от изоляции, после чего в этом месте зачистить поверхность трубы до металлического блеска.

Плазмотрон закрепляют в державке суппорта ходовой части машины "Орбита". Расстояние между плазмотроном и поверхностью разрезаемой трубы должно быть 10—15 мм, а его положение не должно изменяться в процессе резки.

Угол наклона плазмотрона к образующей трубы должен соответствовать требуемому углу скоса кромок.

Шланги, кабель, ведущие от источника питания к плазмотрону, располагают таким образом, чтобы в процессе движения машины вокруг трубы они не мешали работе плазмотрона.

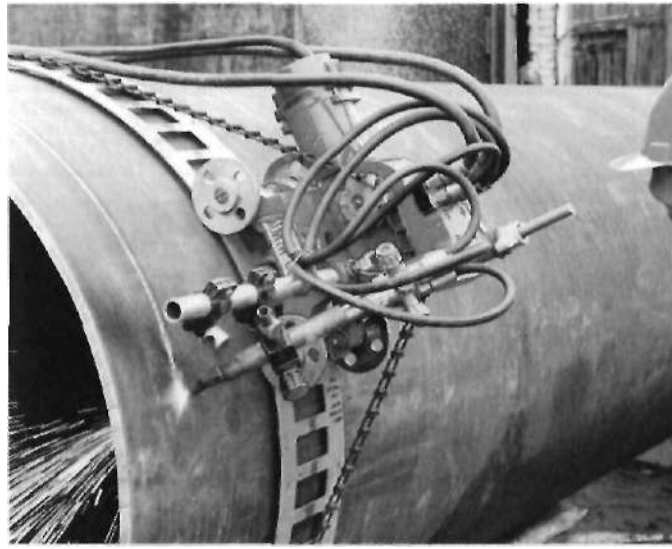


Рис. 2.10. Аппарат машинной резки типа "Орбита"

На источнике питания по указателю с помощью резистора регулирования рабочего тока устанавливают требуемую силу тока и соответствии с режимами воздушно-плазменной резки, приведенными в табл. 2.6 [24].

При воздушно-плазменной резке следует соблюдать:

установленный режим резки (следует обратить внимание ....[равильную форму и постоянство отклонения факела дуги);

стабильность горения дуги;

непрерывность процесса резки;

постоянное рабочее давление воздуха по манометру;

Таблица *2.6*

Режимы воздушно-плазменной резки

Толщина металла, мм	Сила тока, А	Напряжение, В	Скорость резки, м/мин
9-15	150-170	115-120	1,2-0,8
16-25	170-200	110-115	1,0-0,6

Рис. 2.11. Аппарат машинной резки фирмы CRC Evans

постоянное расстояние между резаком и поверхностью разрезаемой трубы (в пределах 10—15 мм).

После остывания кромки с поверхности реза проволочной щеткой и зубилом удаляют шлак и грат. Поверхность реза подвергают внешнему осмотру для проверки качества поверхности реза.

Несовмещение начала и конца кольцевого реза не должно превышать 2 мм. При сварке захлестов (для уменьшения погрешности реза при обрезке торца второй трубы) плазмотрон устанавливают в точке, диаметрально противоположной началу реза первой трубы.

Шероховатость поверхности измеряют по фактической высоте микронеровностей на поверхности реза. Она определяется на базовой длине не менее 8 **мм** по 10 точкам в середине толщины разрезаемой трубы. Шероховатость не должна превышать 1,0 мм при толщине металла трубы 5 — 12 мм и 1,2 **мм** — при толщине 13 — 30 **мм** (ГОСТ 14792-80).

Косина реза (отклонение от перпендикулярности по отношению к продольной оси трубы) не должна превышать 2 мм.

При скорости ветра более 5 м/с и атмосферных осадках выполнять резку без укрытия рабочего места не рекомендуется.

3 ГЛАВА

ВИДЫ СВАРКИ

3.1. РУЧНАЯ ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ СВАРКА

3.1.1. Технология ручной дуговой сварки

Ручную электродуговую сварку применяют для труб всех диаметров. Но при сварке труб больших диаметров производительность ручной электродуговой сварки резко снижается.

Для повышения производительности и качества сварных стыков труб больших диаметров на практике часто используют комбинированные варианты сварки. Например, корневой слой шва выполняют ручной электродуговой сваркой, а последующие — либо полуавтоматической сваркой порошковой проволокой, либо автоматической сваркой под флюсом на трубосварочных базах, либо автоматической сваркой в среде защитных газов.

При сварке стыков труб используют следующие технологические варианты ручной дуговой сварки:

корневой слой шва и "горячий" проход выполняют электродами с целлюлозным видом покрытия, последующие слои — электродами с основным видом покрытия;

все слои шва — электродами с целлюлозным видом покрытия;

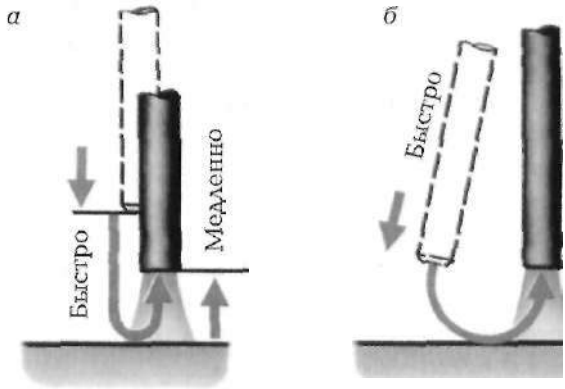
все слои шва — электродами с основным видом покрытия.

Применение электродов с целлюлозным видом покрытия для сиарки корневого шва позволяет увеличить темпы сварки, произподительность и качество работ.

Требования к разделке кромок. Трубы малых диаметров с толщиной стенки до 4 мм включительно можно сваривать без разделки кромок. Трубы с толщиной стенки свыше 4 мм и менее 14,8 —

15,1 мм необходимо сваривать при стандартной V-образной разделке кромок. Трубы с большими толщинами стенок можно сваривать при узкой, двускосой (в форме рюмки, тюльпана) разделке кромок [1, 21].

Зажигание дуги при ручной электродуговой сварке производят мгновенным прикосновением рабочего торца электрода к свариваемой кромке. Для облегчения зажигания рабочий торец электрода должен быть зачищен от покрытия путем снятия равномерной фаски и покрыт *специальной* графитосодержащей *пастой* для возбуждения дуги, которая практически на порядок снижает удельное электросопротивление рабочего торца. Вследствие протекания тока короткого замыкания и наличия определенного контактного сопротивления рабочий торец электрода быстро нагревается до весьма высоких температур, **в** результате происходит ионизация дугового промежутка и устанавливается дуговой разряд. Для надежного зажигания дуги электросварщик резким движением должен отвести электрод от кромки трубы на расстояние 4 — 5 мм, но не более — иначе дута не возникает. Обычно дугу зажигают либо отрывом рабочего конца после короткого замыкания резко вверх (зажигание "впритык"), либо плавным движением торца по дуге в сторону с повторным кратковременным касанием кромок (зажигание "спичкой") (рис. 3.1). В последнем случае техника сварки должна быть отработана таким образом, чтобы



2

Рис. *3Л. Схема* зажигания сварочной дуги:
а — "впритык"; *б* — "спичкой"

не возбудить в точке повторного касания "паразитную" дугу. На практике используют оба способа, однако для электродов с целлюлозным видом покрытия чаще прибегают к зажиганию "впритык" [7].

Сварка традиционными электродами с основным видом покрытия наиболее сложна (по сравнению с другими электродами), поскольку траектория движения торца электрода является результирующей различных сочетаний продольно-поперечных перемещений. Для сварки корневого слоя шва обычно используют электроды диаметром от 2,5 (тонкостенные трубы) до 3,25 мм (сравнительно толстостенные трубы). Для сварки заполняющих слоев шва обычно используют электроды диаметром 3 и 3,25 мм (тонкостенные трубы) и 4 мм (толстостенные трубы). В нижних положениях (10— 12 ч и 2 — 12 ч) можно использовать электроды диаметром 5 мм.

Оптимальную силу сварочного тока можно выбрать по формуле

$$'св = М>л. \qquad (1)$$

где $/_{св}$ — сварочный ток, А; d_{3A}—диаметр электродного стержня, мм; Л — эмпирический коэффициент, А/мм:

d_{3A},ММ	2,5-2,6	2-3,25	4	5
А, А/мм	25-30	30-35	40-45	50-55

Исходное положение электрода — перпендикулярно к касательной окружности в точке возбуждения дуги. При этом положении, универсальном для всех пространственных положений, обеспечивается максимально возможное проплавление корня шва. При необходимости уменьшить степень проплавления (велик зазор, отсутствует притупление кромок) электрод наклоняют: В вертикальном и потолочном положениях — примерно до 70 °, В нижнем положении — до 50 — 60 °. Сварку корневого слоя шва (рис. 3.2) обычно осуществляют без поперечных колебаний способом снизу вверх путем резких продольных колебаний с амплитудой 20 — 40 мм в зависимости от пространственного положения сварки (максимальная амплитуда соответствует вертикальному положению). По мере заполнения разделки возрастает амплитуда поперечных колебаний, а продольных, наоборот, уменьшается.

Рис. 3.2. Сварка корневого слоя шва

Траектория торца электродов во многом определяется профессиональными навыками сварщика, но при сварке корневого и первого (первых) заполняющего слоя шва обычно соответствует вариантам 1 (зигзагом), 2 (полумесяцем вперед) и 3 (полумесяцем назад), представленным на рис. 3.3; при сварке завершающих заполняющих и облицовочного слоя шва траектория обычно соответствует вариантам, показанным рис. 3.4. Если возникает необходимость увеличить тепловложения по кромкам, с целью предотвратить несплавления по кромкам при сварке первых заполняющих слоев, также используют петлеобразные варианты траектории (см. рис. 3.4).

Вариант 1 по рис. 3.3 (зигзагообразные колебательные движения конца электрода) применяют для получения наплавочных валиков при сварке встык без скоса кромок в нижнем положении и если нет вероятности прожечь металл.

Вариант 2 (полумесяцем вперед) используется для стыковых швов со скосом кромок и для угловых швов с катетом менее 6 мм, выполняемых в любом положении электродами диаметром 4 мм.

Вариант 3 (полумесяцем назад) используют для сварки в нижнем положении, а также для вертикальных и потолочных швов с выпуклой наружной поверхностью.

Петлеобразные колебательные движения конца электрода (см. рис. 3.4) используют для усиленного прогревания кромок шва, особенно при сварке высоколегированных сталей. Электрод задерживают на краях, чтобы не было прожога в центре шва или вытекания металла при сварке вертикальных швов **[2,** 24]..

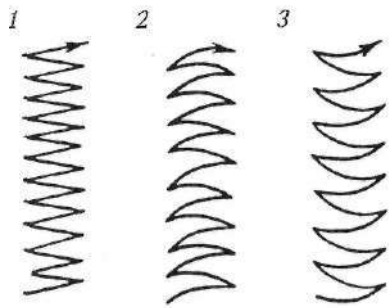


Рис. 3.3. Траектория сварки на подъем корневого и первых заполняющих слоев

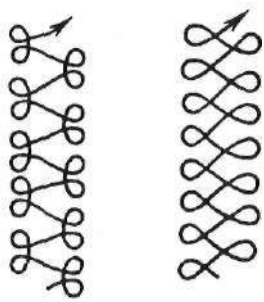


Рис. 3.4. Траектория сварки на подъем второго (и последующих) и заполняющего слоев шва

Следует особо подчеркнуть, что длина дуги при сварке любыми электродами с основным видом покрытия не должна превышать 0,5 $d_{эл}$, другими словами, максимально допустимая длина дуги в зависимости от диаметра электрода составляет:

$d_{эл}$,мм	2,5-2,6	3,0-3,25	4	5
7_{max},мм	1,2-1,4	1,5-1,6	1,8-2,2	2,5-2,6

Сварка электродами с целлюлозным видом покрытия. Исходное положение сварки электродом с целлюлозным видом покрытия зависит от пространственного положения сварки и последовательности наложения слоев (рис. 3.6, 3.7). Для обеспечения нормального формирования шва в наибольшей степени приходится изменять угол наклона электрода в вертикальном положении.

Независимо от диаметра электрода с целлюлозным видом

покрытия коэффициент A в формуле $/_{св} = Ай_{эл}$ составляет 30 — 35 А/мм.

Сварка корневого слоя шва осуществляется на постоянном токе обратной или прямой полярности в направлении сверху вниз (рис. 3.5) без колебательных движений при опирании втулочки электрода на свариваемые кромки. При "слепом" зазоре или при завышенном притуплении более целесообразна сварка *на прямой* полярности.

От механики выполнения корневого слоя шва во многом зависит качество сварного шва и эксплуатационная надежность стыков трубопроводов в целом. Для обеспечения требуемого качества сварку *корневого слоя шва* следует *выполнять* методом "замочной скважины": в процессе сварки сварщик постоянно должен вести окно за торцом электрода. Наличие окна (замочной скважины) позволяет сварщику осуществлять непрерывное наблюдение за процессом оплавления кромок [24].

В процессе работы сварщик, изменяя угол наклона электрода в пределах, указанных на рис. 3.6, может поддерживать требуемое технологическое окно. Если покрытие электрода начинает оплав-

Рис. 3.5. Ручная электродуговая сварка в направлении сверху вниз

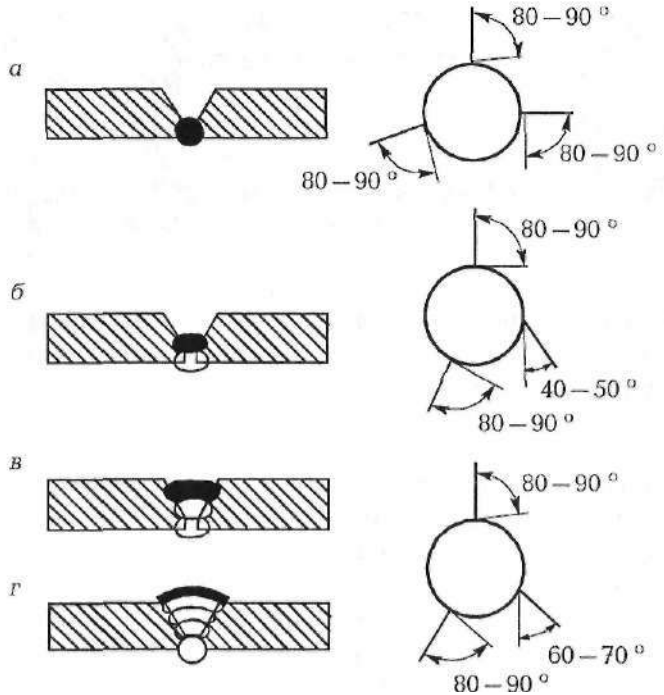


Рис. 3.6. Типичный угол наклона электрода с целлюлозным видом покрытия в зависимости от пространственного положения сварки и последовательности выполнения слоев шва:
(/ — корневой слой (0 4 мм); *б* — "горячий" проход (0 4,5); в — заполняющие слои (0 *4,5\ 5,5 м); г* — облицовочный слой (0 4,5 мм)

литься на одну сторону, сварщик должен резко изменить угол наклона электрода или же энергично раскачать электрод поперек пси шва: при качественном изготовлении электрода (разнотолщинность покрытия на одну сторону 0,12 мм) козырек исчезает и восстанавливается равномерное плавление покрытия.

Скорость сварки должна быть в пределах от 16 до 22 м/ч. Поддержание достаточно высокой скорости сварки обусловлено формированием под дугой жидкой ванны. При скорости сварки менее 10 м/ч, как правило, нарушается нормальное формирование сварного шва и возможно порообразование. При скорости сварки и MI не указанных пределов возрастает опасность несплавления.

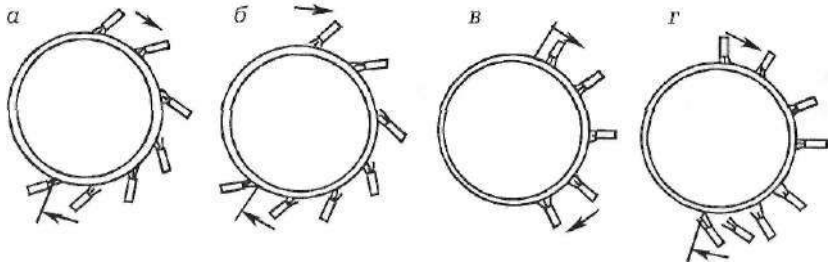


Рис. 3.7. Непрерывное регулирование угла наклона электрода:
а — корневой слой; *б* — "горячий" проход; *в* — заполняющие слои; *г* — облицовочный слой

По-видимому, наиболее сложной является техника сварки второго слоя или, как его обычно называют, "горячего" прохода. При сварке этот слой рекомендуется выполнять так называемыми "хлыстообразными" движениями, т. е. движение руки сварщика напоминает удар хлыста при перемещении его рукоятки в вертикальной плоскости. При этом рабочий торец электрода совершает колебательные движения вдоль оси шва с амплитудой колебаний до 15 — 20 мм и частотой до двух движений в секунду. Эти колебания выполняются неравномерно, со сравнительно длительными остановками в нижней точке колебаний. Обычно около 3/4 с дуга горит в "точке остановки", а затем следует резкое движение руки сварщика вверх и вниз, в следующую "точку остановки". На это резкое движение, которое во французской технической литературе называют "выметанием", затрачивается всего около 1/4 с. Что же достигается при этой довольно сложной технике выполнения второго прохода? При рывке торца электрода "вверх" шлак и часть расплава из сварочной ванны давлением дуги и концентрированного газового потока, образующегося при сгорании целлюлозного покрытия, отбрасываются вверх и обнажают на мгновение дно сварочной ванны. При этом достигается эффективное проплавление неровностей и зашлакованных "карманов" в корневом слое при одновременной хорошей видимости для сварщика наличия этих дефектов. Сварку вторым проходом осуществляют электродами диаметром 4 или 5 мм на форсированных токах 180 —200 А и 210 —230 А (соответственно) при сравнительно высо-

кой линейной скорости сварки (до 25 м/ч).

Таким образом, в задачу сварщика при "горячем" проходе входит не столько наплавление второго слоя, сколько удаление любых наружных дефектов с корневого слоя, получение ровной "подложки" для последующих слоев и в определенной степени модифицирование микроструктуры металла корневого слоя. Толщина этого слоя весьма незначительна; второй проход лишь компенсирует тот Металл корневого слоя, который снимается шлифовальным кругом. Этот слой обычно лишен каких-либо подрезов, поскольку удлинение дуги в верхней точке (конец рывка) до 4 — 5 мм расплавляі 'Т любые неровности на свариваемых кромках. Переход от основного к наплавленному металлу второго слоя получается плавным. 111ов — крупночешуйчатый, с острым рельефом, вершина которо-|| > направлена к зениту трубы.

Подобное "выметание" дефектов с корневого слоя — наиболее оптимальный вариант техники выполнения "горячего" прохода с электродами с целлюлозным видом покрытия. Некоторые сиарщики осуществляют сварку второго слоя даже без колебаний электродом, а тем более без "хлыстообразных" движений. В ряде случаев сварку ведут даже методом опирания электрода на сварипаемые кромки. При этом сварщик иногда пытается наплавить довольно толстый слой, сдерживает скорость сварки, и тогда он мппен возможности наблюдать за выплавлением дефектов, вслед- • гвие чего образуются дефекты даже после тщательной шлифовки і 11рня шва абразивными кругами.

Третий слой варят практически без колебаний, только покачин.lи торец электрода вдоль шва. Если данное место стыка собрано с максимальным зазором и разделка широкая, то осуществляются \егкие колебательные движения поперек шва.

Четвертый и последующие слои (вплоть до слоя, предшествуloiiiero облицовочному) сваривают традиционными зигзагообразны ми колебательными движениями.

Сварка слоя, предшествующего облицовочному,— это фактически не наплавка металла, а исправление (выравнивание высоты in па) шва перед облицовкой. Разделка перед выполнением облицо-|" 'чиого слоя должна быть заполнена полностью, иногда даже с неflo м.шим усилением. Однако чаще всего она имеет или слабовогНутую форму, или одностороннее либо двустороннее ослабление. ' 'in недостатки заполнения разделки исправляют перед выполне-

нием облицовочного слоя.

Облицовочный слой выполняют колебательными движениями поперек оси шва со сравнительно высокой частотой. Облицовочный слой обычно резко "обрывается" **к** основному металлу. Такой резкий переход не должен "смущать" контролеров. Он является следствием технологических особенностей электродов с целлюлозным видом покрытия и вполне допустим при подземной прокладке трубопроводов на линейной части строительства. Сварка "горячего" прохода обычно осуществляется электродами диаметром 4,5 или 5 мм, сварка заполняющих слоев — диаметром 5 или *5,5* мм, сварка облицовочного слоя — диаметром 4 или 4,5 мм (иногда 5 мм).

Для поддержания необходимого уровня относительной влажности покрытия (> 1,5 *%)* сварку электродом с целлюлозным видом покрытия нельзя доводить до конца: необходимо оставлять специально огарок длиной не менее 60 — 80 мм. Это обстоятельство учитывают при планировании расхода электродов.

Сварку электродами с целлюлозным видом покрытия следует производить от современных источников сварочного тока со специальными характеристиками — выпрямителей с тиристорным управлением, источников инверторного типа или генераторов постоянного тока, имеющих дистанционные регуляторы сварочного тока.

Сварка сверху вниз специальными электродами с основным видом покрытия. Исходное положение электрода относительно трубы при всех пространственных положениях сварки должно быть перпендикулярно к касательной окружности в точке возбуждения дуги (рис. 3.8).

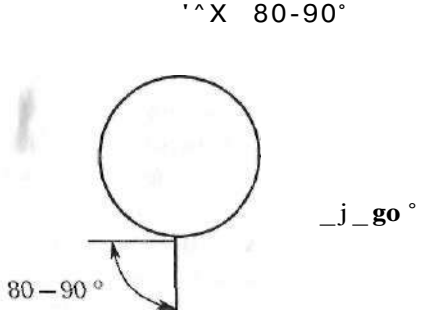


Рис. 3.8. Исходный угол наклона электрода с основным видом покрытия, предназначенного для сварки сверху вниз

Сварку корневого слоя шва выполняют электродами диаметрами 3 или 3,25 мм; при этом зазор выставляется ближе к верхнему Пределу обычно рекомендуемого диапазона (2,5 — 3 мм).

Сварку осуществляют легким опиранием на свариваемые кромкп и ведением электрода сверху вниз без поперечных колебаний. Усилие на электрод в отличие от варианта сварки электродами с целлюлозным видом покрытия минимально. Сварочный ток соответствует коэффициенту А = 25 — 30 А/мм. Скорость сварки должна i)l.пь не менее 10, но не более 15 м/ч. Толщина корневого слоя шва из- i.i повышенного коэффициента наплавки и меньшей скорости сварм i (в сравнении с электродами с целлюлозным покрытием) не меньше, чем суммарная толщина корневого слоя шва (после шлифовки) плюс "горячего" прохода при сварке электродами с целлюлозным видим покрытия. Благодаря особенностям формирования корневого | М >я шва сварка электродами этого вида осуществляется без образования зашлакованных карманов, формы этого шва более плавные, чем в случае электродов с целлюлозным видом покрытия, шлифовка абразивным кругом после сварки не требуется, шлак отделяется хорошо, ввиду формирования низководородистого металла и благоприятной формы наружной поверхности корневого слоя проведение "горячего" прохода необязательно.

Факторы, позволяющие регулировать проплавление, пред- < т.шлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Регулировка проплавления при сварке на спуск электродами с основным видом покрытия

Регулируемые параметры	При отсутствии сквозного проплавления	При наличии прожогов
I Li клон электрода DTiiociггельно ....пухлости i ипрпваемой и пшы	Ближе к перпендикулярному положению (около 90°)	Поддерживать положение электрода под углом 65-70°
I i"l >< >сть переме- .....ни электрода	Медленнее	Быстрее
плие на электрод	Сильнее	Не давить
• или тока	Повысить примерно на 20 А	Уменьшить примерно на 20-3ОА

Сварка заполняющих и облицовочного слоев шва обычно осуществляется электродами диаметром 4 мм без поперечных колебаний (многоваликовые слои) с высокой линейной скоростью до 26 м/ч. Низкое разбрызгивание и повышенный коэффициент наплавки делают эти электроды при сварке заполняющих слоев конкурентоспособными электродам с целлюлозным видом покрытия диаметром 5 и даже *5,5* мм. Достижение сквозного проплавления фиксируется по характерному шуму проходящей "навылет" дуги.

Качество электродов. При правильной технике сварки (соответствующей квалификации сварщика) и соблюдении технологии сборки и сварки (следование регламентации нормативной документации) качество сварных соединений при ручной дуговой сварке во многом определяется качеством сварочных электродов. При этом под качеством понимают в первую очередь качество изготовления и упаковки электродов, а также технологичность электрода как таковую, определяемую рецептурой его покрытия.

С учетом специфики трубопроводного строительства из многообразия оперативных показателей качества электродов следует выделить два первостепенных показателя: чувствительность к образованию козырька в процессе сварки и недопустимый уровень влажности электродного покрытия.

Во избежание образования козырька завод-изготовитель должен *обеспечить* поставку электродов с минимальной разнотолщинностью нанесения покрытия на электродный стержень. Этот критерий во многом связан с толщиной электродного покрытия. Так, для электродов, применяемых в *трубопроводном строительстве,* этот критерий зависит от диаметра электродов и типа покрытия (табл. 3.2). Однако минимальная разнотолщинность нанесения покрытия — требование необходимое, *но недостаточное.* В практике нередко встречаются случаи, когда электрод с почти идеальной равномерностью нанесения покрытия (разнотолщинность 0 — 0,03 мм) образует козырьки, *особенно при* сварке корневого слоя шва в нижней полуокружности трубы. Образование козырька в этом случае обусловлено неоднородностью покрытия, его неудовлетворительными физическими свойствами (тугоплавкость, интервал размягчения шлака, вязкость расплава покрытия и т. д.).

При недостаточной прочности покрытия, особенно в процессе

Таблица 3.2

Максимально допустимая разнотолщинность электродных покрытий, мм

Вид покрытия электрода	Диаметр электрода, мм				
	3-3,25	4	4,5	5	5,5
Целлюлозный	0,08	0,12	0,12	0,135	0,135
i ><иовной для сварки I верху вниз	0,135	0,15	0,175	—	—
1(повной для сварки i низу вверх	0,135	0,18	—	0,25	—

<-парки опиранием, втулочка разрушается, что не только мешает Правильному формированию шва, но может явиться причиной образования пор и шлаковых включений. На рис. 3.9 показаны по- ледствия образования козырька в случае электродов с основным *n* с целлюлозным видом покрытия [1, 24].

В процессе сварки толстопокрытыми электродами с основным ни дом покрытия, чувствительными к образованию козырька, i рупная капля на торце электрода отклоняется в сторону, дуга

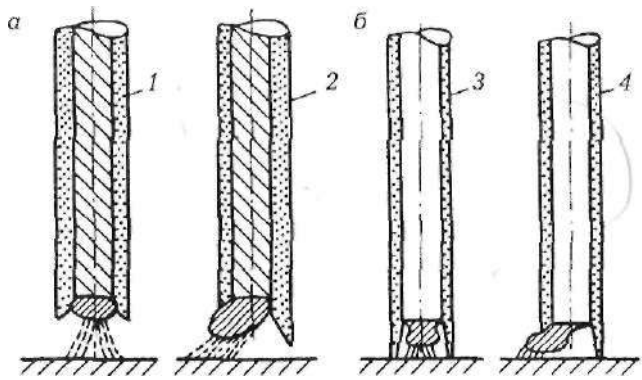


Рис. 3.9. Образование козырька при сварке электродами:
а — с основным видом покрытия; *б* — с целлюлозным видом покрытия: (, *3* равномерное сплавление покрытия; *2и4* — неравномерное оплавление покрытия с образованием "козырька"

продолжает гореть вне втулки, дуга удлиняется, нарушаются условия $I = 0,5d_{зд}$, возникают поры. Образование козырька в условиях ограниченной маневренности при сварке корневого слоя шва в разделку, особенно узкую, пргаодит к тому, что расплавленный металл дутьем дуги оттесняется к одной из кромок разделки, что способствует непровару корня шва и несплавлению по кромкам, существенно затрудняет заполнение разделки и препятствует сплавлению данной порции расплавленного металла с ранее выполненным слоем.

В процессе сварки электродами с целлюлозным видом покрытия со средней толщиной покрытия, особенно чувствительными к образованию козырька (чем тоньше покрытие, тем больше опасность образования "козырька"), более мелкая капля, чем при сварке электродами с основным видом покрытия, под влиянием козырька приобретает форму "сапожка", при этом дуга горит с "носка", т. е. далеко вне зоны кумулятивного действия обычной глубокой втулки, а следовательно, при резком ослаблении давления плазменного потока. Горение дуги сразу же становится крайне нестабильным, резко возрастает разбрызгивание (рис. 3.10), а по-

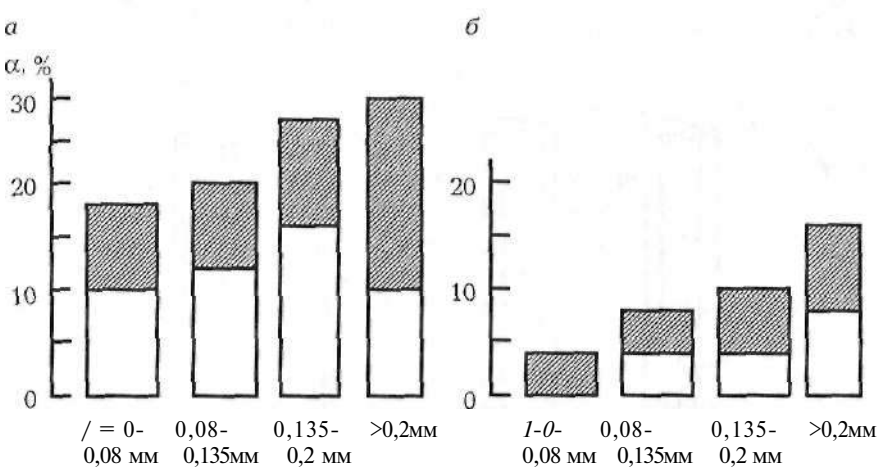


Рис. ЗЛО. Влияние разнотолщинности покрытия на сторону (/) на коэффициент разбрызгивания электродного металла (а) при сварке электродами:

а — с целлюлозным видом покрытия (марка ВСЦ-4, 0 4 мм; ток 150 А);

б — с основным видом покрытия (марка УОНИ 13/55 , 0 3 мм; ток 100 А)

пытки сварщика избавиться от козырька, повернув электрод или энергично "воздействуя" на него, приводят к образованию зашлакованных "карманов" и пор под "карманами". Другим важным показателем качества электродов являются требования к обеспечению минимальной влажности при сварке электродами с основным видом покрытия и поддержание ее в определенных пределах при сварке электродами с целлюлозным видом покрытия.

В случае использования электродов с основным видом покрытия повышенная влажность приводит к образованию холодных трещин в металле шва и зоне термического влияния, способствует порообразованию, вызывает дефекты формы шва в связи с ухудшением технологичности электродов (нестабильное горение дуги, разбрызгивание, ухудшение отделимости шлака).

Наиболее действенным средством обеспечения перед началом работ допустимого уровня влаги основного электродного покрытия является прокалка электродов непосредственно перед сваркой. Однако требования к режимам термообработки весьма противоречивы и колеблются в довольно широких пределах как по температуре (от 250 до 450 °С), так и по времени выдержки (от 0,5 до 2,5 ч).

Естественно, что на эффективность того или иного из выбранных режимов прокалки могут влиять самые различные факторы, начиная с условий производства (рецептура покрытия, характеристики связующего, режимы заводской термообработки, вид упаковки) и кончая условиями транспортировки и хранения; Однако в настоящее время при сварке стыков газонефтепроводов признано целесообразным использовать сушильно-прокалочные устройства с единым, заранее установленным режимом термообработки электродов.

При монтаже используется весьма широкая номенклатура электродов с основным видом покрытия, различающихся как по технологии производства, так и по типу упаковки.

За критический уровень влаги основного покрытия перед употреблением электродов чаще всего принимают величину 0,3 %. Что же касается влажности электродов с целлюлозным видом покрытия, то требования к ней неоднозначны. Если электроды пересушены (на заводе, при повторной сушке или в процессе сварки — отсутствие огарков), то в металле шва возникают поры. Если электроды переувлажнены, то их технологичность резко ухудшается

(нестабильное горение дуги, потеря втулкой прочности, сильное разбрызгивание). Поэтому влажность целлюлозного покрытия должна поддерживаться в определенных пределах. Если упаковка электродов герметична, например жестяные банки запаяны, то их можно использовать без предварительной термообработки. Если эти условия нарушаются, то перед сваркой необходимо их слегка просушить по режиму, указанному в табл. 3.3.

В зависимости от типа электродов и прочностного класса свариваемых сталей регламентируется допустимое время выдержки электродов перед сваркой и возможное число повторных термообработок (табл. 3.4).

Существуют различные методы организации сварочно-монтажных работ при строительстве магистральных и промысловых трубопроводов. Эти методы предусматривают сварку трубопровода **в** нитку из трехтрубных секций, заранее сваренных на трубосварочной базе, или присоединением отдельных труб. Перечислим основные:

Метод последовательного наращивания. Бригада сварщиков состоит из одного звена. Каждый сварщик обычно *сваривает* один слой шва (корневой, "горячего" прохода, заполняющий, облицовочный) . При малых диаметрах трубопровода и небольшой толщине труб каждый сварщик может сваривать весь стык от начала до конца.

Поточно-групповой метод. Бригада сварщиков состоит из двух или трех звеньев. Первое звено выполняет корневой слой шва и "горячего" прохода. Остальные звенья выполняют заполняющий и облицовочный слои шва.

Поточно-групповой метод сварки с расчленением операций сварки корневого слоя шва и "горячего" прохода, т. е. при работе по этому варианту *головная* группа состоит из двух звеньев сварщиков: одно звено, выполнив сварку только корневого слоя шва, переходит к следующему стыку, а **на его** место приходит другое звено, которое выполняет "горячий" проход.

Таблица 3.3

Режимы сушки и прокалки электродов (время сушки 1 ч)

Вид покрытия электрода	Э42Ц	Э50Ц	Э60Ц	Э42-Б	Э50А-Б	760-Б	770-Б
Температура, °С	69-103	60-100	60-100	200-250	250-300	300-350	300-350

Таблица 3.4

Условия термообработки и хранения электродов

Вид покрытия электрода	Свариваемые стали ($\sigma_{в}$, МПа)	Температура сушки (прокалки), °С	Время сушки (прокалки), мин	Максимально допустимое время выдержки до сварки при температуре 15 — 25 °С и относительной влажности (%) окружающего воздуха, ч				Допустимое число повторных термообработок
					60-80	95	>95	
Целлюлозное	Нелегированные или низколегированные (540)	60-90	60	12	10	8	6	6
	Низколегированные (540-590)	60-90	60	10	8	6	4	4
Основное	Нелегированные или низколегированные (540)	300	60	6	4	2	1	3
	Низколегированные (540-590)	350	60	6	4	2	1	3
	Низколегированные (590-670)	350	90	6	4	2	1	2
	Низколегированные (670-780)	400	90	4	2	2	0,5	2

Поточно-расчлененный метод сварки с расчленением операций не только в головной группе, но и при выполнении заполняющих и облицовочного слоев шва. При работе по этому методу каждый сварщик при выполнении сварки заполняющих и облицовочного слоев шва сваривает на каждом стыке только "свой" определенный сектор данного слоя и, закончив эту работу, сразу же переходит на следующий стык. Для этого метода характерна максимальная специализация сварщиков. Данный метод целесообразно применять только при условии расчленения операций в головном звене.

На практике наибольшее распространение получил поточно-расчлененный метод. Сборка и сварка секций труб на трассе поточно-расчлененным методом охватывает комплекс работ, в который входят следующие трудовые процессы:

подготовка стыков секций труб к сборке и сварке;

сборка **и** сварка корневого слоя шва;

сварка второго слоя шва — "горячего" прохода;

сварка заполняющего и облицовочного слоев шва.

Сварку секций труб на трассе поточно-расчлененным методом осуществляют в три технологических этапа:

I этап — подготовка стыков секций труб к сборке и сварке.

В состав работ входят: правка или обрезка дефектных кромок стыков; очистка внутренней полости секций; зачистка кромок стыков; выкладка труб или секций труб вдоль трассы для центровки.

II этап — сварка первого (корневого) и второго ("горячего" прохода) слоев шва.

В состав работ входят: центровка стыка и установка зазора; предварительный подогрев кромок стыков секций; сварка корневого слоя шва и "горячего" прохода.

III этап — сварка заполняющего и облицовочного слоев шва.

Технологические этапы подразделяют на пять характерных зон выполнения операций:

подготовка стыков секций труб к сборке и сварке;

предварительный подогрев кромок стыка секций, подготовленных к сборке;

центровка стыков секций с ниткой трубопровода и сварка корневого слоя шва;

сварка "горячего" прохода;

сварка заполняющего и облицовочного шва.

При строительстве нефтепровода Каспийского трубопроводного консорциума (КТК) сварку неповоротных стыков труб в линейном потоке осуществляли по двум технологическим вариантам ручной дуговой сварки:

Вариант № 1 (комбинированная технология). Корневой слой шва и "горячий" проход выполняли электродами с целлюлозным видом покрытия, последующие слои — электродами с основным видом покрытия.

Вариант № 2. Корневой слой и все последующие слои шва — электродами с основным видом покрытия.

Первый вариант сварки был наиболее предпочтительным, так как позволял значительно увеличить темп сварки и производительность работы бригады при высоком качестве выполнения корне-

вого слоя шва. Использовали как для сварки неповоротных стыков труб на линейной части нефтепровода, так и для сварки захлестов.

Второй вариант сварки применяли для сварки неповоротных стыков на линейной части нефтепровода в случае невозможности применения электродов с целлюлозным видом покрытия по объективным причинам. Его также использовали для сварки захлесточных соединений.

Комбинации сварочных электродов, использованных для ручной дуговой сварки неповоротных стыков труб из стали класса X65 и X70, приведены в табл. 4.7 и 4.8.

Ручная дуговая сварка осуществлялась от источников тока, обеспечивающих специальные характеристики дуги. Сварку электродами с целлюлозным видом покрытия производили только от современных источников тока: выпрямителей с тиристорным управлением, например моделей Idealarc DC-400, RCR-500, LHF или их аналогов; инверторных источников тока, например Invertec V300-1; автономных дизельных источников Commander 400 или их аналогов.

3.1.2. Оборудование для ручной дуговой сварки

3.1.2.1. Источники питания для ручной дуговой сварки

Качество и производительность сварки стыков магистральных и промысловых трубопроводов в значительной степени зависят от технологических характеристик и конструкции источников сварочного тока. В качестве сварочных источников тока в монтажных условиях применяют коллекторные генераторы, вентильные бесколлекторные генераторы и выпрямители. Для удобства эксплуатации сварочные источники тока компонуют в однопостовые или многопостовые сварочные агрегаты (см. рис. 3.11), которые выпускаются промышленностью в передвижном (на прицепе) и самоходном (на тракторе) исполнении. Многопостовые агрегаты, помимо сварочного источника тока, имеют источник электрической энергии для питания электрического инструмента и освещения, электропечи для термообработки электродов. Имеются также устройство для намотки кабелей, емкости для хранения инструмента.

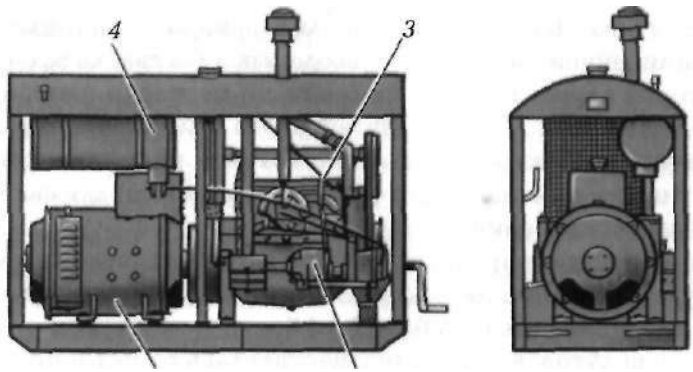


Рис. 3.11. Сварочный агрегат:
1 — генератор; *2* — двигатель; *3* — регулятор скорости вращения; *4* — бак с горючим

3.1.2.2. Требования к источникам тока при сварке трубопроводов

Для повышения стабильности процесса ручной дуговой сварки покрытыми электродами источники тока должны иметь крутопадающую вольт-амперную характеристику. Для применяемых в трубопроводном строительстве электродов требуется также и постоянный ток. Выполнение этих двух требований — крутопадающей вольт-амперной характеристики и постоянного тока до недавнего времени вполне удовлетворяло сварщиков. Однако с ростом давления транспортируемого по трубопроводу продукта, его химической активности возросшие требования к трубным сталям потребовали применения специальных электродов, которые должны обеспечивать соответствующие свойства различных слоев шва и в целом сварного соединения. Ужесточаются требования и к допустимым дефектам в шве. В этих условиях, помимо сварочных материалов, решающее значение приобретают технологические свойства сварочных источников тока и квалификация сварщика. Взаимосвязь между источником тока и сварщиком заключается в том, что на манипулирование электродом и длиной дуги источник питания должен соответствующим образом реагиро-

вать, регулируя энергию сварочной дуги, а соответственно, и плавление электродов. Так, при сварке корневого слоя шва, когда имеют место неточности сборки стыка, притупления кромок и зазора по периметру, сварщику для обеспечения качества необходимо регулировать сварочный ток и соответственно проплавление в процессе сварки [1, 24]. Этого можно достичь, изменяя длину дуги и наклоняя электрод, при условии, что источник тока имеет небольшой наклон статической вольт-амперной характеристики в рабочей точке. Как видно на рис. 3.12, при увеличении длины дуги ее нормированная характеристика из начального состояния *2* перейдет в положение *3.* При этом рабочая точка *А* горения дуги переместится по вольт-амперной характеристике источника тока в точку *Б.* Соответственно, сварочный ток уменьшится на величину А/ = I_A — I_C. Таким образом, можно существенно уменьшить или увеличить (при сокращении длины дуги) сварочный ток, реагируя на изменение зазора или притупления кромок труб в стыке при сварке корневого слоя шва, добиваясь качественного его формирования. В случае крутопадающей вольт-амперной характеристики источника питания (рис. 3.12, кривая *4),* при изменении длины дуги ее рабочая точка переместится из Л в Си изменение сварочного тока *AI* = I_A — I_C значительно меньше, чем при сварке на пологопадающей характеристике, поэтому сварщик не может

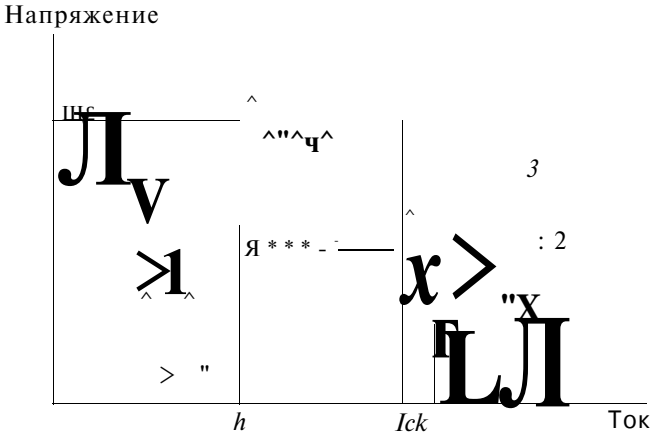


Рис. 3.12. Схема изменения режима сварки при различных наклонах вольт-амперных характеристик

отработать возмущения, связанные со сборкой стыка и притуплением кромок. Следовательно, источник тока для сварки корневого слоя шва должен иметь пологопадающую вольт-амперную характеристику в области рабочих токов.

При сварке заполняющих и облицовочного слоев шва, когда сварщик совершает продольные и поперечные колебания электродом, необходимо обеспечить минимальное изменение сварочного тока для равномерного проплавления кромок. Это требование выполняется, если источник питания имеет крутопадающую вольт-амперную характеристику в области рабочих токов. Чем круче наклон вольт-амперной характеристики в точке *A* (см. рис. 3.12), тем меньше ток отличается от первоначального при изменениях длины дуги. В идеальном случае, когда кривая вольт-амперной характеристики перпендикулярна к оси токов, происходит стабилизация сварочного тока, т. е. он не зависит от длины дуги. Следовательно, для сварки заполняющих и облицовочного слоев шва источник тока должен иметь крутопадающую вольт-амперную характеристику.

Кроме того, для качественной сварки неповоротных стыков трубопроводов в условиях непрерывно изменяющегося пространственного положения сварочной ванны источник тока должен иметь хорошие динамические свойства, обеспечивать быстрый рост напряжения при переходе от короткого замыкания к горению дуги, оптимальную скорость изменения тока для снижения разбрызгивания, связанного с переходом капель расплавленного электрода в сварочную ванну, и выполнение других требований, которые регламентируются ГОСТ 25616—83. Источники питания для дуговой сварки. Методы испытания сварочных свойств.

3.1.2.3. Агрегаты с коллекторными генераторами

Генератор постоянного тока (рис. 3.13) — основной узел сварочных агрегатов. В трубопроводном строительстве в составе сварочных агрегатов используют однопостовые коллекторные генераторы ГСО-300-5, ГД-310, ГД-3120, а также двухпостовой генератор ГСМ-500 [26, 28].

Коллекторные генераторы ГСО-300-5, ГД-3120 и ГД-310 имеют одинаковую электромагнитную схему и различаются пределами

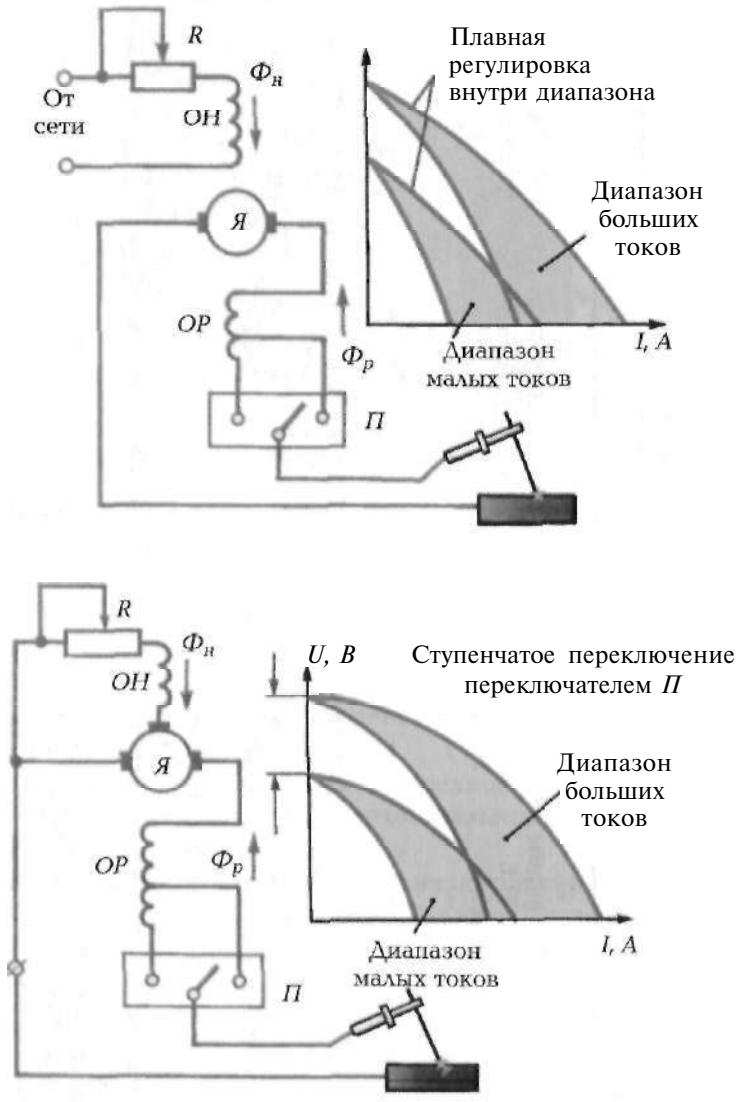


Рис. 3.13. Сварочный генератор:
а — с независимым возбуждением; *б* — с самовозбуждением; *ОН* — обмотка намагничивающая; *ОР* — обмотка размагничивающая; $Ф_н$ — магнитный поток намагничивающей обмотки; $Ф_р$ — магнитный поток размагничивающей обмотки

Таблица 3.5

Технические характеристики агрегатов с коллекторными генераторами

Показатели	ДДД-305	АДД-3112	АСДП-500Г	СДУ	УСТ-21	СЧУ	УС-41
Число постов	1	1	2	2	2	4	4
Исполнение	На прицепе	На прицепе	На прицепе	На тракторе	На тракторе	На тракторе	На тракторе
Двигатель	Д-37Е	Д-37Е	Д-37Е	Д-37 Е	ДТ-75	Т-130	Т-130Г
Мощность, кВт	29,4	29,4	44,2	79,5	58,9	103	117,7
Частота вращения вала отбора мощности, об/мин	–	–	–	1070	1000	1070	1250
Укрытие рабочего места			–	–	Палатка	–	Палатка
Масса, **кг**	900	905	5 020	13 500	300	14 600	17 500
Габаритные размеры, мм	1915x895x X1140	1900x900x x1 200	6600x2500x X2850	5235x2460x x3040	5600x1890x xЗОЮ	5770x2460x x3040	7400x2500x xЗбОО
Тип генератора	ГД-310	ГД-3120	ГСМ-500	ГСО-300-5	ГСО-300-5	ГСО-300-5	ГСО-300-5
Номинальный сварочный ток, А	**315**	315	500	315	**315**	315	315
Напряжение холостого хода, В	Не более 90	Не более 100	55	80	80	80	
Пределы регулирования сварочного тока, А	60-350	30-350	15-600	45-320	45-320	45-320	45-320
Мощность вспомогательного генератора трехфазного переменного тока напряжением 220 В с частотой 50 Гц, кВт							12

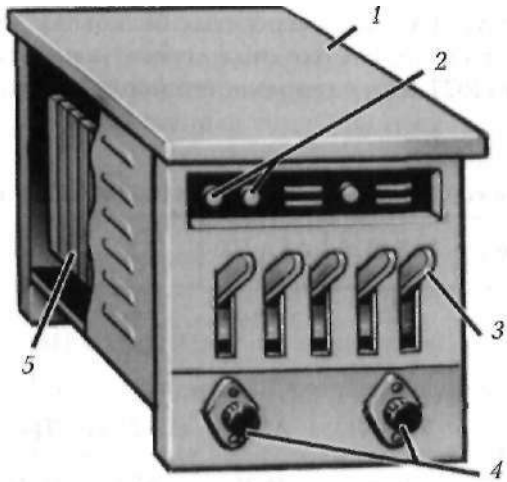


Рис. 3.14. Балластный реостат:
1 — корпус; 2 — тумблеры диапазонов; *3* — рубильники секций сопротивления; *4* — клеммы для сварочного кабеля; *5* — секция нихромовой проволоки или ленты

регулирования сварочного тока и некоторыми конструктивными особенностями.

Эти сварочные генераторы — четырехполюсные постоянного тока с самовозбуждением и последовательной размагничивающей обмоткой (табл. 3.5).

Двухпостовой генератор ГСМ-500 является генератором постоянного тока с самовозбуждением. Возбуждение генератора смешанное. Напряжение регулируется реостатом в цепи параллельной обмотки возбуждения, а сварочный ток — балластными реостатами (рис. 3.14) в сварочной цепи.

3.1.2.4. Агрегаты с вентильными генераторами

В трубопроводном строительстве в настоящее время используют серийно выпускаемые агрегаты с вентильными генераторами: однопостовые АДБ-3120; двухпостовые АДД-502; четырехпо-

стовые агрегаты АЛД-2501; агрегаты с бесколлекторными вентильными генераторами; самоходные агрегаты на базе тракторов — двухпостовой УСТ-22 и четырехпостовой АС-41 (табл. 3.6) [24].

Таблица 3.6

Технические характеристики агрегатов с вентильными генераторами

Показатели	АДБ-3120	АДД-502	АДД-4х2501	УСТ-22	АС-41
Число постов	1	1 + 1	4	1 +1	4
Исполнение	На прицепе	На прицепе	На прицепе	На тракторе ТДТ-55А	На тракторе К-701
Двигатель					
тип	320-01 (бензин)	Д37Е	Д-240Л	Трактора	Трактора
мощность, кВт	29,4	35,75	55,1	58,9	220,8
частота вращения вала отбора мощности, об/мин	2000	1800	2200	810	1900
Укрытие рабочего места	—		—	Палатка	Палатка
Тип сварочного генератора	ГД-314	Сдвоенный блок АДД-500	ГД-2501 (одно-корпусный)	Сдвоенный блок АДД-500	ГЯ-2500 (одиокор-пусный)
Номинальный сварочный ток, А	315	2х315	4х250	2х315	4х250
Напряжение холостого хода, В	<95	< 100	70-100	< 100	70-100
Пределы регулирования сварочного тока, А	15-350	60-315	3(70- 315) 4(40- 250)	60-315	70-315
Частота вращения генератора, об/мин	2000	1800	2200	1800	1900
Вспомогательный источник электроэнергии	—	—	Встроенный, 220 В, постоянный ток, мощность 6 кВт	Генератор переменного тока, 220 В, трехфазный, мощность 12 кВт	Встроенный, 220 В, постоянного тока, мощность 6 кВт
Масса, кг, не более	690	3400	5250	8250	18500
Габаритные размеры, мм	1900х900х х1405	6100х2350х х2670	7150х2360х х2740	5700х2000х хЗООО	9120х3100х х4350

Вентильные генераторы названы так из-за выпрямительного блока с кремниевыми вентилями (диодами), который выпрямляет переменный ток повышенной частоты, наводимый в статорных обмотках, в постоянный сварочный ток. Однопостовой вентильный генератор состоит из синхронного бесколлекторного генератора повышенной частоты и блока вентилей, собранного по мостовой схеме. Ротор генератора является индуктором и выполнен в виде двух пакетов электротехнической стали с явно выраженными полюсами (зубцами). Полюса одного пакета сдвинуты на 180 ° относительно полюсов другого пакета. Обмоток и коллектора на роторе нет. На статоре генератора расположены трехфазная силовая обмотка и обмотка возбуждения. Генератор работает с самовозбуждением.

Начальное самовозбуждение происходит от остаточного магнетизма генератора. После запуска генератора без нагрузки под действием остаточного магнетизма на силовых обмотках статора появляется э. д. с. порядка 5—7 В (рис. 3.15). Это напряжение через трансформатор T_2 и, в зависимости от положения переключателя

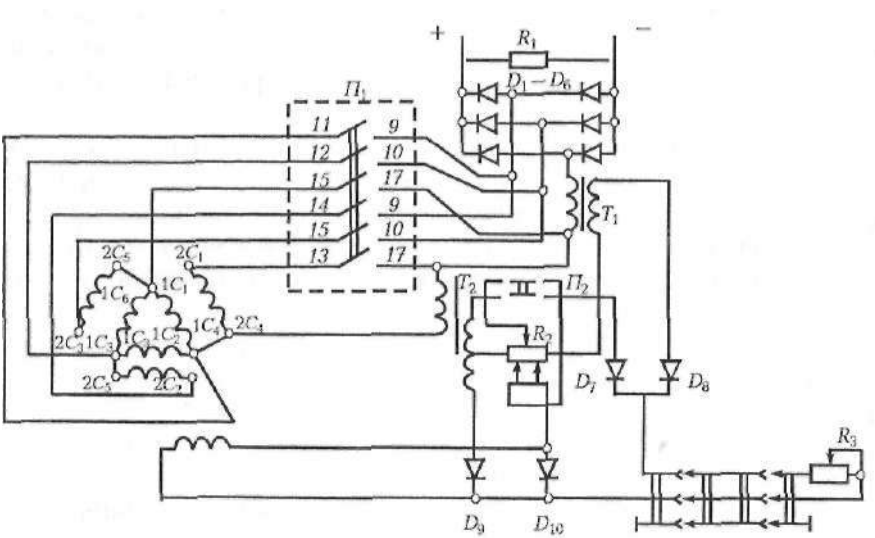


Рис. 3.15. Принципиальная электрическая схема вентильного генератора

$Я_2$, диоды $Д_7$ и $Д_8$ (диапазон малых токов) или $Д_9$ (диапазон больших токов) начинает питать обмотку возбуждения генератора и обеспечивает его самовозбуждение до напряжения холостого хода.

Магнитный поток в воздушном зазоре генератора, образуемый обмоткой возбуждения, питаемой постоянным током, распределяется таким образом, что один пакет железа ротора имеет только северные полюса, а второй — южные. Поскольку северные полюса ротора сдвинуты относительно южных на 180 °, то при вращении ротора каждый виток обмотки статора пронизывает изменяющийся по величине поток. В результате в каждой из трех фаз обмотки статора наводятся переменные э. д. с, которые с помощью вентилей $Д_1$—$Д_6$ выпрямляются в постоянную э. д. с.

Напряжение холостого хода генератора регулируется сопротивлением R_2, крутизна внешних вольт-амперных характеристик и сварочный ток — реостатом R_3. Ступенчатое регулирование сварочного тока осуществляется переключателем диапазонов $П_1$, к которому подключены выводы обмоток статора.

В четырехпостовом на прицепе агрегате АДЛ-4х9.501 и четырехпостовом самоходном агрегате АС-41 установлен четырехпостовой генератор в однокорпусном исполнении. Этот вентильный сварочный генератор самовозбуждения со встроенным вспомогательным источником электроэнергии напряжением 220 В для питания электроинструмента, печей термообработки электродов и освещения состоит из трехфазного индукторного генератора переменного тока повышенной частоты, блоков выпрямления для получения постоянного сварочного тока и блоков управления.

Блочное исполнение агрегатов существенно облегчает их ремонт и обслуживание.

Четырехпостовой генератор позволяет осуществлять сварку под флюсом. Для этого посты включают параллельно, по два, три или четыре в зависимости от требуемого тока.

3.1.2.5. Агрегаты со сварочными выпрямителями

Сварочные выпрямители (рис. 3.16), используемые для питания дуги в трубопроводном строительстве, установлены в агрегатах АЭП-51, АЭП-52 и АС-81 (табл. 3.7). Монтажными организаци-

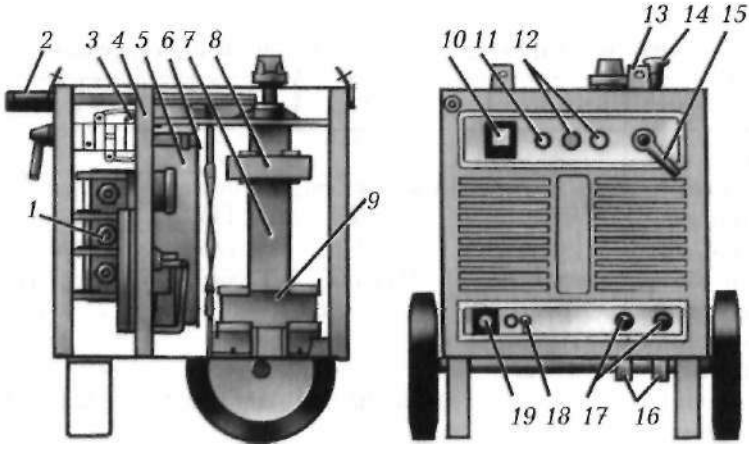


Рис. 3.16. Сварочный выпрямитель:
1 — выпрямительный блок; 2 — выдвижные ручки; *3* — предохранители; *4* — блок аппаратуры; *5* — вентилятор; *6* — ветровое реле; 7 — силовой трансформатор; *8* — вторичная обмотка; *9* — первичная обмотка; *10* ~ амперметр; *11* — лампа; *12* — кнопки выключателя; *13* — скобы; *14* — рукоятка регулирования тока; *15* — переключатель диапазонов тока; *16* ~ шины заземления обратного провода; *17* — токовые разъемы; *18* — болт заземления; *19* — штепсельный разъем для подключения к сети

ями создаются также единичные агрегаты с использованием серийно выпускаемых дизельных электростанций и выпрямителей.

Агрегаты АЭП-51 и АЭП-52 имеют одинаковое конструктивное исполнение и состоят из трактора с установленной на нем электростанцией с приводом от вала отбора мощности трактора. К трактору прицеплен кузов на санях, **в** котором размещены: шкаф управления электростанцией, электропечь для термообработки электродов, четыре однопостовых выпрямителя ВД-301 или ВД-306 (агрегат АЭП-51) или один многопостовой выпрямитель ВАМ-1001 с балластными реостатами для регулирования сварочного тока (агрегат АЭП-52).

Агрегат АС-81 выполнен на базе колесного трактора "Кировец" **К-701.** На тракторе смонтирован кузов, в котором расположены: электростанция с приводом от вала отбора мощности тракто-

Таблица 3.7

Технические характеристики агрегатов с выпрямителями

Показатели	АЭП-51	АЭП-52	АС-81
Число постов	4	4	8
Исполнение	На тракторе	С прицепом	На тракторе
Тип трактора	Т-100М	Т-130Г	К-701
Мощность, кВт	79,5	117,7	220,8
Укрытие рабочего места	Палатка	Палатка	Палатка
Электростанция трехфазная, переменного тока 50 Гц, напряжение 380 В, мощность, кВт	50	100	200
Тип сварочного выпрямителя	ВД-301(ВД-306)	ВАМ-1001	ВАМ-1601
Номинальный сварочный ток, А	315	1000	1600
Пределы регулирования сварочного тока, А	45-315	15-300	15-300
Напряжегше холостого хода, В	60-70	70	70
Масса, кг, не более	17500	23000	21500
Габаритные размеры, мм	11500x7450x X3500	13500x2500x X3400	9120x3100x X4350

ра, шкаф управления, многопостовой выпрямитель, электропечь для термообработки электродов и балластные реостаты.

Однопостовые сварочные выпрямители (ВД-301 и ВД-306) имеют одинаковое схемное решение и отличаются только габаритами и массой. Упрощенная электрическая схема выпрямителя ВД-306 приведена на рис. 3.17, *а*. Выпрямитель состоит из сварочного трансформатора с подвижными катушками, блока вентилей, собранных по мостовой схеме, блока аварийного отключения, имеющего вспомогательный трансформатор $Г_в$, магнитного усилителя *А,* контактора *К*. Для охлаждения выпрямительного блока использован вентилятор [28].

Падающая характеристика выпрямителя достигается тем, что сварочный трансформатор имеет повышенное магнитное рассеяние. Ступенчатое регулирование сварочного тока осуществляется одновременным переключением (переключателем *П)* фаз первичной и вторичной обмоток со звезды на треугольник.

При соединении фаз звездой выпрямитель работает на ступе-

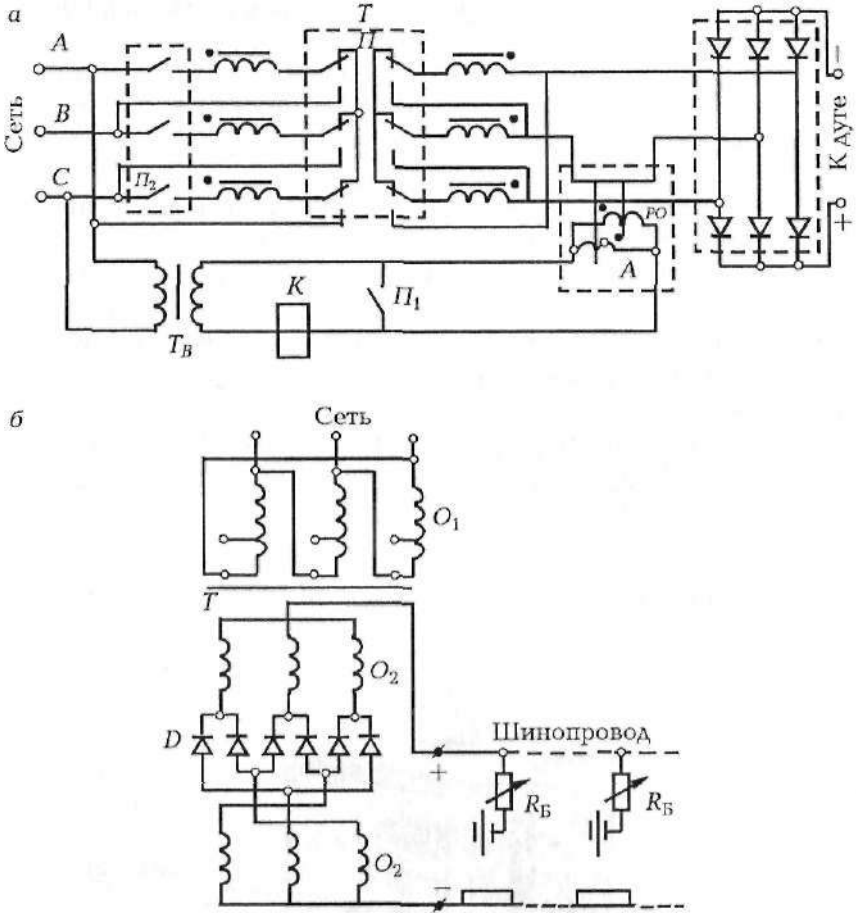


Рис. 3.17. Принципиальные электрические схемы:
а — однопостового выпрямителя ВД-306; *б* — многопостового выпрямителя ВДМ

ни малых токов, а при соединении треугольником — больших токов. В пределах каждой ступени сварочный ток регулируется изменением расстояния между первичными и вторичными обмотками.

В аварийном режиме при пробое одного из вентилей в фазных

вторичных токах сварочного трансформатора появляются постоянные составляющие, вызывающие насыщение сердечников магнитного усилителя, реле *К* срабатывает и отключает катушку пускателя, контакты которого $П_2$ отключают выпрямитель от сети.

Многопостовые выпрямители ВДМ-1001 и ВДМ-1601 используются для питания постоянным током дуги через балластные реостаты. Упрощенная электрическая схема выпрямителей приведена на рис. 3.17, *б*. Первичная обмотка, соединенная треугольником, имеет отводы, что дает возможность повышать вторичное напряжение на 5 %. Трансформатор (рис. 3.18) имеет жесткую вольт-амперную характеристику. Блок вентилей собран по шестифазной кольцевой схеме выпрямления. Вторичные обмотки соединены звездой.

Внешняя характеристика выпрямителя имеет наклон прибли-

Рис. 3.18. Сварочный трансформатор

зительно 0,007 — 0,01 В/А. Падающая характеристика (рис. 3.19) каждого сварочного поста достигается включением последовательно сдутой балластного реостата типа РБ-301. Сварочный ток регулируется ступенчато через 10 А и зависит от числа включенных сопротивлений (ступеней) реостата (рис. **3.20).**

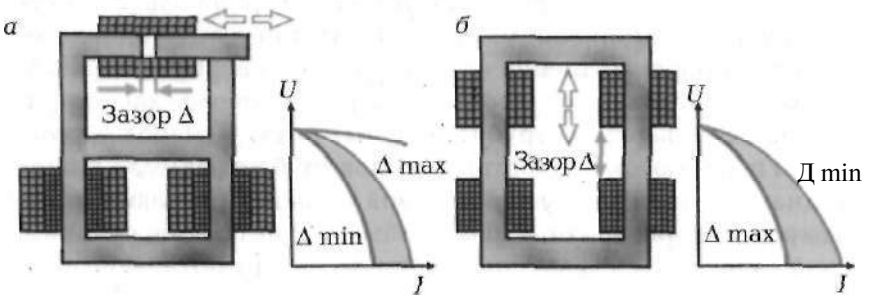


Рис. 3.19. Формирование падающей характеристики:
а — трансформатор с нормальным магнитным рассеянием и отдельной реактивной катушкой (дросселем); *б* — трансформатор с увеличенным магнитным рассеянием и подвижными катушками

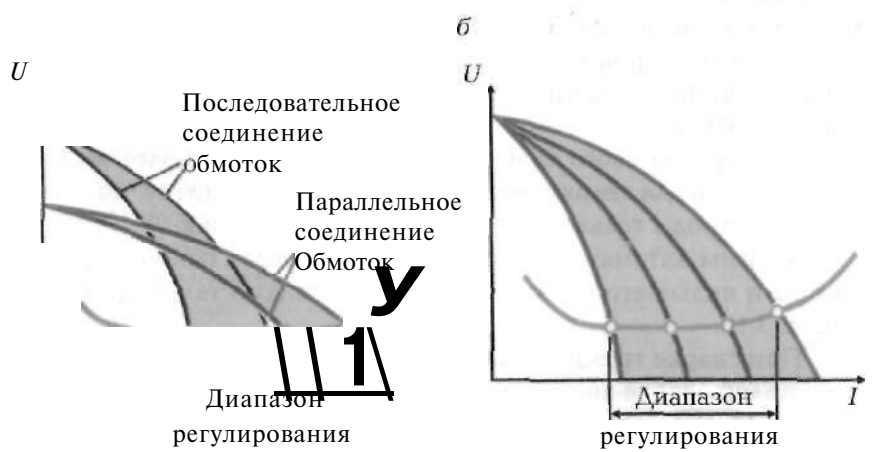


Рис. 3.20. Регулирование сварочного тока:
а — ступенчато: за счет переключения числа витков первичной и вторичной обмоток; *б* — плавно: за счет изменения зазора в катушке дросселя или между обмотками

3.2. СВАРКА ПОД ФЛЮСОМ ПОВОРОТНЫХ СТЫКОВ

3.2.1. Технология сварки под флюсом поворотных стыков на трубосварочных базах

Специфические условия сварки кольцевых стыков трубных секций определяют существенные отличия технологии и техники выполнения автоматической сварки под флюсом в трассовых условиях от заводской сварки. Наиболее характерная особенность сварки на трубосварочных базах — необходимость сварки под флюсом поворотных стыков труб по разделке кромок, предназначенной для ручной дуговой сварки. При таких разделках кромок корневой слой шва необходимо выполнять ручной дуговой сваркой. Последующие слои шва сваривают под флюсом. По второму варианту разделка кромок с помощью специальных станков обрабатывается с целью увеличения притупления, что дает возможность применить двустороннюю автоматическую сварку под флюсом. Форма и размеры шва существенно зависят от основных параметров режима сварки. Качественная оценка влияния параметров режима на размеры и форму шва при сварке труб приведена в табл. 3.8 [1, 16, 24].

При односторонней автоматической сварке под флюсом применяют стандартные и комбинированные разделки в соответствии с табл. 3.9.

Сварку корневого слоя шва производят по технологии, рекомендованной для сварки неповоротных стыков в нитку, но применяют электроды только с основным типом покрытия.

Режимы автоматической сварки кольцевых стыков из углеродистых и низколегированных высокопрочных сталей приведены в табл. 3.10.

При сварке термически упрочненных труб и труб из бейнитных сталей особое внимание следует уделить дозировке теплового вложения. Установлено, что при сварке с энергией, превышающей определенную величину, зона термического влияния подвергается разупрочнению и временное сопротивление разрушению сварного соединения будет ниже, чем у основного металла. Во избежание этого при сварке стыков термически упрочненных труб

и труб из беинитных сталей погонная энергия не должна превышать 23 кДж/см, запрещается форсировать режим сварки и применять электродную проволоку диаметром 4 мм.

Таблица 3.8

Влияние параметров режима сварки на форму шва

Увеличение значений параметров режима	Характеристика шва			
	Глубина проплавления $Л_{пр}$	Ширина *В*	Высота усиления $Л_у$	Коэффициент формы *В*
Сварочного тока до 1500 А	+ + +	+	+ + +	
Напряжения дуги, В:				
от 22-24 до 32-34	+	+ +		+ + +
от 34 — 36 до 50	-	+ + +		+ + +
Скорости сварки, м/ч:				
от 10 до 40	0		+	-
от 40 до 100			+	-
Диаметра электрода		+ +		+ +
Угла наклона электрода к вертикали:				
"вперед"		+ +		+ +
"назад"	+ +		+ +	
Размера зерна флюса	+	+	-	+ +
Смещения электрода протг[в вращения трубы:				
при наружной сварке		+ +		+ + +
при сварке изнутри	+ +		+ +	
Смещения электрода по вращению трубы:				
при наружной сварке	+ +		+ +	
при сварке изнутри		+ +		+ + +
Вылета электрода:				
при неизменной силе тока	0	0	+ + +	0
при неизменной подаче	-	0	0	+ +

Примечания. 1. Влияние каждого из параметров режима сварки оценивали при условии неизменности остальных параметров.

2. Условные обозначения: 0 — не меняется; Н——незначительно увеличивается;———незначительно уменьшается; + + — увеличивается;————уменьшается; ++ Н——интенсивно увеличивается;————интенсивно уменьшается.

Таблица 3.9

Типы разделки кромок труб для односторонней автоматической сварки под флюсом

Тип разделки кромок		Диаметр трубы, мм	Толщина стенки трубы *S*, мм
35°-5	1г8±0,8	325-1220	<16 >15
16° – 5° 35° – 5° β S 1,8±0,8		1020--1420	*16-19(7)* **19-21,5(8)** **21,5(10)**
11°±1< " **1** y j 45°±0,5° S "*""** **1** **NB** ^^^ **2±0,5** ~Г 1±0,5 **2±0,5**		**1220–1420**	*>10*

Примечание. I3 скобках указано значение *В*.

Погонную энергию сварки (в Дж/см) рассчитывают по формуле

$$g \quad 36Г|Я/,$$

где г) — эффективный к. п. д. дуги (для сварки под *флюсом* принимается Г) = 0,8); /— сварочный ток, А; $£/_д$ — напряжение на дуге, В; $v_{св}$ — скорость сварки, м/ч; 36 — коэффициент перевода размерности.

Таблица 3.10

Режимы односторонней автоматической сварки под флюсом термически упрочненных труб и труб из бейнитных сталей

Диаметр трубы, мм	Толщина стенки, мм	Порядковый номер слоя	Сварочный ток, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, м/ч	Смещение электрода с зенита трубы, мм
820-1420" 1420"	8-15,1	1	600-650	44-46	35-40	*60-80*
		Последующие	800-850	46-48	50-60	40-80
		Облицовочный	700-750	46-48	45-50	40-60
1420"	18-20,5	1	600-650	44-46	35-40	60-80
		2	700-750	46-48	45-50	*60-80*
		Последующие	800-850	46-48	50-55	40-60
		Облицовочный	700-750	46-48	*45-50*	40-60
	20,6-32	1	650-700	44-46	35-40	60-80
		2	700-750	46-48	*45-50*	*60-80*
		Последующие	800-850	46-48	50-55	40-60
		Облицовочный	700-750	46-48	45-50	*40-60*

Примечания.

' Термически упрочненные трубы.

" Трубы из бейнитных сталей.

1. Полярность обратная.
2. Сварку выполнять только проволокой диаметром 3 мм.
3. Вылет электрода 40 — 45 мм, угол наклона электрода "вперед" до 30°.

На практике погонную энергию сварки можно определить по номограмме, приведенной на рис. 3.21, по заданным значениям параметров режима *{I, Щ* и $v_{св}$*)* [2, 28].

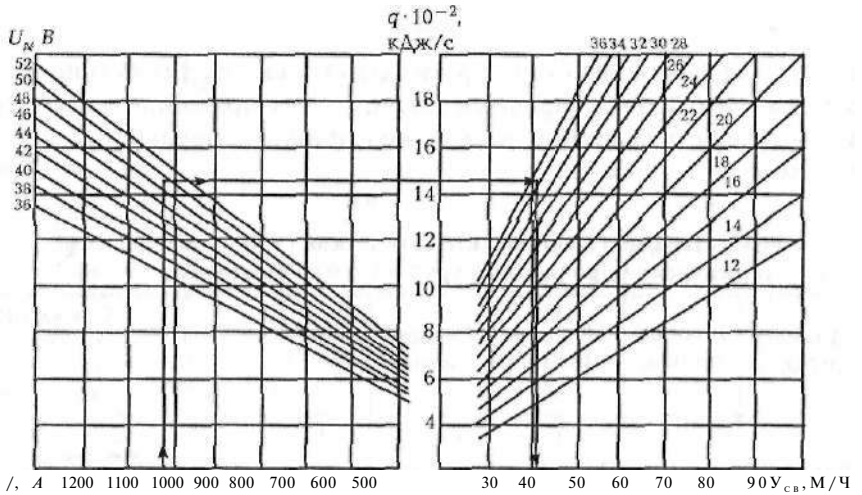


Рис. 3.21. Номограмма для определения погонной энергии сварки по данным основных параметров режима (сварочный ток, напряжение на дуге и скорость сварки)
Справа — шифр кривых $q/V_{св}$, кДж/см

Режимы автоматической сварки под флюсом термически упрочненных труб и труб из бейнитных сталей приведены в табл. ЗЛО.

Число слоев автоматической сварки определяется толщиной стенки трубы и должно соответствовать данным, приведенным в *табл. 3.11.*

Готовый шов должен иметь усиление высотой 1 — 3 мм и ширину, указанную в табл. 3.12.

Для обеспечения гарантированного провара корня шва сварку труб диаметром 1020— 1420 мм из низколегированных высокопрочных сталей производят с внутренней подваркои. При ручной подварке стык собирают с обычным зазором и подварку выполня-

Таблица 3.11

Число слоев в зависимости от толщины стенки трубы

Толщина стенки трубы, мм	До 16-16,5	16,6-20,5	20,5-24	24-28	28-32
Число слоев шва, не менее	2	3	4	5	6

Таблица 3.12

Ширина наружного шва в зависимости от толщины стенки трубы

Толщина стенки трубы, мм	Ширина сварного шва, мм, не более	Толщина стенки трубы, мм	Ширина сварного шва, мм, не более
Разделка кромок V-образная		Разделка кромок комбинированная (двускосая)	
6-8	18	15-20,5	30
8-12	24	20,5-28	36
12-16	28	28-32	38
16-22	30		

ют после завершения сварки корневого слоя шва. Подварку производят способом сварки "на подъем".

Автоматическую подварку выполняют по двум вариантам: после сварки корневого слоя шва; после окончания сварки всех наружных слоев шва (табл. 3.13, 3.14). Шов, полученный при автоматической подварке, должен иметь *усиление высотой не менее* 1 мм и не более 3 мм, а ширину в пределах, указанных в табл. 3.12.

Сварку поворотных стыков труб с разделкой кромок под ручную сварку можно производить током прямой полярности.

При сварке током прямой полярности глубина проплавления уменьшается на 2 — 3 мм по сравнению со сваркой током обратной полярности.

При токах более 600 А производительность расплавления электродной проволоки при токе прямой полярности на 30 — 40 % выше, чем при токе обратной полярности (рис. 3.22)

При токах менее 600 А производительность расплавления

Таблица 3.13

Режимы автоматической подварки под флюсом корневого слоя шва кольцевых стыков труб из горячекатаных и нормализованных сталей

Схема выполнения подварки	Диаметр электродной проволоки, мм	Сварочный ток, А	Напряжение, В	Скорость сварки, м/ч	Вылет электрода,	Смещение электрода с надира трубы в направлении вращения, мм
После сварки корня шва	3	450--500	45-47	25-28	30-35	30-50
	4	550--600	44-46	30-40	40-50	30-50
После завершения сварки всех наружных слоев шва	3	550--600	45-47	30-35	30-35	30-50
	4	600--650	44-46	30-40	40-50	30-50

Примечание. Ток постоянный, полярность обратная, угол наклона электрода "вперед" до 30°.

Таблица *3.14*

Режимы автоматической подварки корневого слоя шва стыков труб из термически упрочненных сталей

Схема выполнения подварки	Сварочный ток, А	Напряжение, В	Скорость сварки, м/ч	Вылет электрода, мм	Смещение электрода с надира трубы в направлении вращения, мм
После сварки корня шва	380-420	45-47	30-35	30-35	30-50
После завершения сварки всех наружных слоев шва	570-620	42-46	40-45	30-35	30-50

Примечание. Ток постоянный, полярность обратная, электродная проволока диаметром 3 мм, угол наклона электрода "вперед" до 30 °.

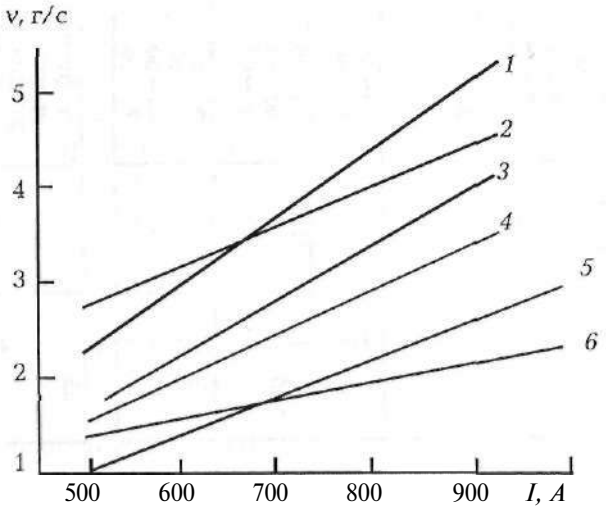


Рис. 3.22. Зависимость скорости расплавления электродной проволоки от силы тока:
1, 3,5 — ток прямой полярности; 2, *4,6* — ток обратной полярности; *1,2* — флюсАН-22, проволока Сварке-08ХМ диаметром 3 мм; $U_д$ = 48 В; *3, 4* — флюс АН-348А, проволока Сварке-08ГА диаметром 4 мм; $U_д$ = 50 В; *5, 6* — проволока диаметром 4,7 мм; $U_д$ = 40 В

электродной проволоки больше при сварке током обратной полярности. Уменьшение глубины проплавления при сварке на одних и тех же режимах в случае применения прямой полярности по сравнению с обратной полярностью позволяет форсировать режим сварки за счет увеличения силы сварочного тока и, следовательно, повысить производительность расплавления электродной проволоки. При использовании тока прямой полярности режим сварки изменяется в сторону увеличения сварочного тока на 100 А, а скорость сварки устанавливается по верхнему пределу диапазона скоростей, приведенных в табл. 3.15.

Производительность процесса заполнения разделки стыка можно увеличить, одновременно повышая ток дуги и скорость сварки. Вероятность образования прожогов корневого слоя шва возрастает. Уменьшить глубину проплавления при увеличении силы тока можно за счет применения электродной проволоки по-

Таблица 3.15

Режимы двусторонней автоматической сварки труб на базах БТС

Диаметр трубы, мм	Толщина стенки, мм	Вид разделки по табл. 3.13	Порядковый номер слоя	Сварочный ток, А	Напряжение,	Скорость сварки, м/ч	Угол наклона электрода "вперед", град.	Смещение электрода с зенита (надира) трубы, мм
Наружная сварка								
720-820	7,5-11 11-18	а б	1 1 Последующие	400-700 550-650 600-700	40-44 40-44 44-46	35-45 30-40 35-40	30 30 30	30-50 30-50 20-40
	18 и более	б	1 Последующие	700-750 750-800	42-44 44-46	35-45 45-55	30 30	30-50 20-40
1020-1220	9-11 11-26	а б, в, г	1 1 Последующие	600-700 700-800 700-800	40-44 42-44 44-46	35-45 40-50 35-45	15 15 15	50-70 50-70 40-60
1420	15,7-17,5 17,5-20,5	б б, в, г	1 2 1 2	900-950 750-800 900-950 750-800	44-46 46-48 44-46 46-48	50-55 45-50 45-50 40-50	15 15 30 30	60-80 60-80 40-60 70-90
Внутренняя сварка								
720-1220	7,5 и более		1	500-700	42-46	35-45	20	15 — 20 (поили против вращения)
1220-1420	15,7 и более	—	1	750-800	42-46	40-50	20	15 — 20 (поили против вращения)

Примечания:!. Полярность обратная, проволока диаметром 3 мм при вылете электрода 40 — 50 мм.
2. При сварке труб с толщиной стенки 9 мм и более можно применять ток прямой полярности, при этом ток увеличить на 100 А, а скорость сварки установить по верхнему пределу диапазона скоростей данной таблицы.

вышенного диаметра, так как при этом снижается плотность тока в активном пятне дуги и тепловой поток, поступающий в изделие, рассредоточивается.

Увеличение диаметра электродной проволоки позволяет повысить токовую нагрузку, а следовательно, максимально допустимые токи при сварке (рис. 3.23). Увеличивая силу тока до 1100 А и применяя электродную проволоку диаметром 4 мм, во избежание *опасности прожогов одновременно необходимо* увеличивать скорость сварки до 90 м/ч (см. табл. 3.9). Применение проволоки диаметром 4 мм позволяет увеличить производительность процесса **сварки** стыков на 20 %. Двусторонняя автоматическая сварка под флюсом позволяет полностью исключить применение ручной сварки при изготовлении трубных *секций на* базе. Производительность поворотной сварки на таких базах по сравнению с базами, на которых используют ручную дуговую сварку для выполнения корневого слоя шва, увеличивается в 1,5 — 2 раза. Это достигается за счет уменьшения объема наплавленного металла при ис-

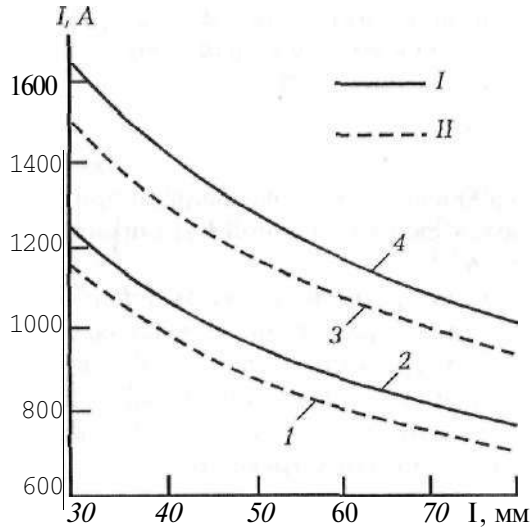
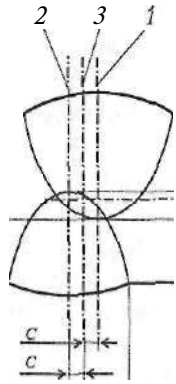


Рис. 3.23. Максимально допустимые сварочные токи в зависимости от длины вылета и диаметра электрода:
1,2 — проволока диаметром 3 мм; *3, 4* — проволока диаметром 4 мм; *I* — прямая полярность; *II* — обратная полярность



&

Рис. 3.24. Макрошлиф образца из допускного и контрольных стыков: *1* — ось первого (наружного) слоя шва; *2* — ось внутреннего слоя шва; *3* — условная ось стыка; а — перекрытие наружного и внутреннего слоев шва (а > 3 мм при толщине стенки менее 12 мм и более и а > 2 мм при толщине стенки менее 12 мм); с — смещение осей наружных и внутренних слоев шва от условной оси стыка (с = ±1 мм); $Л_н$ и $Л_в$ — глубина проплавления соответственно первого (наружного) и внутреннего слоев шва; $B_в$ — ширина внутреннего шва

пользовании разделки кромок с повышенным притуплением, форсирования режимов сварки и полной механизации всех технологических процессов.

Применение двусторонней сварки под флюсом в трубопроводном строительстве сокращает число стыков, подлежащих ремонту, в результате устранения дефектов, характерных для ручной сварки первого прохода шва: непровара, несплавления и др. Важным преимуществом двусторонней сварки является также отсутствие предварительного подогрева стыков.

Перед сваркой на базе изменяют форму концов труб в соответствии с табл. 3.16. Рекомендуемое число наружных слоев в зависимости от диаметра и толщины стенки труб приведено в табл. 3.17. Режимы двусторонней автоматической сварки под флюсом труб различных диаметров приведены в табл. 3.15, 3.18. Геометрические размеры швов, определяемые по макрошлифам,

Таблица 3.16

Типы разделки кромок труб
для двусторонней автоматической сварки под флюсом

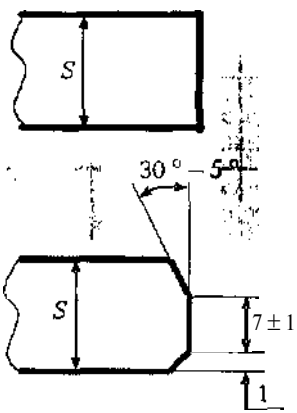
Тип разделки кромок	Диаметр труб, мм	Толщина стенки трубы, мм
	До 1020 (включительно)	7,5 - 11
	До 1020 (включительно) 1220 1420	11,1-18 15,3-18 15,3-18
25°-5 \ {8±1 A	720-820 1020 1420	18,1-22 18,1-21 18,1-20
35°-5 25°-5° \ s ; 8=ы 4±1 35°-5°	1020 1220 1420	21,1-31,9 19,7-31,9 20,1-31,9

Таблица 3.17

Рекомендуемое число наружных слоев шва при двусторонней автоматической сварке под флюсом кольцевых *стыков* труб

Диаметр труб, мм	Толщина стенки трубы, мм	Минимальное число наружных слоев, не менее	Диаметр труб, мм	Толщина стенки трубы, мм	Минимальное число наружных слоев, не менее
720	7,5-11,5	1	1220	21,5-24	3
	11,5-15	2		24-28	4
	15-17,5	3			
	17,5-22	4			
820	8-11,5	1	1420	15,7-18	2
	11,5-15	2		*18-20,5*	2
	15-17,5	2		20,5-24	3
	17,5-22	3		24-28	4
1020-1220	10,5-11,5	1		28-32	5
	11,5-15	2			
	15-21,5	2			

должны соответствовать данным табл. 3.19, 3.20 [2, 16, 18].

Макрошлиф образца из допускного и контрольных стыков приведен *на рис. 3.24.*

Важным условием получения качественных сварных соединений является соблюдение временного интервала между выполнением наружных слоев и подварочного слоя шва при односторонней или внутреннего слоя шва при двусторонней сварке.

Время, в течение которого стык может оставаться несваренным изнутри трубы, не более, мин:

Односторонняя сварка

Подварка после сварки:

корня шва 40

всех слоев шва 90

Двусторонняя сварка при температуре:

положительной 60

отрицательной 30

Таблица 3.18

Режимы двусторонней автоматической сварки под флюсом термически упрочненных труб и труб из бейнитных сталей

Диаметр труб, мм	Толщина стенки, мм	Порядковый номер слоя	Сварочный ток, А	Напряжение, В	Скорость сварки, м/ч	Смещение электрода с зенита (надира) трубы, мм
Наружная сварка						
820-1420"	8-15,1	1 Последующие	550-750 650-700	40-44 46-48	40-45 45-50	40-80 40-60
1420"	18-20,5	1 Последующие	700-850 600-650	40-44 46-48	45-55 45-50	60-80 40-60
	20,6-32	1 Последующие Облицовочные	850-950 750-800 700-750	40-44 46-48 46-48	45-50 55-60 45-50	60-80 40-60 40-60
Внутренняя сварка						
820-1420	8-32	1	600-800	44-46	45-50	Поили против вращения 15-20

Примечания. Полярность обратная, проволока диаметром 3 мм при вылете электрода 40 — 45 **мм.**
"Термически упрочненные трубы.
"Трубы из бейнитных сталей.

Таблица 3.19

Ширина наружного шва при двусторонней автоматической сварке под флюсом

Диаметр труб, мм	Толщина стенки, мм	Ширина шва, мм	Диаметр труб, мм	Толщина стенки, мм	Ширина шва, мм
720	7,5-11,5 11,5-15 15-17,5 17,5-22	18±3 20+-3 20+-3 22+4	1220	21,5-24 24-28	22±4 24±4
820	8-11,5 11,5-15	18+-3 20±3	1420	15,7-18 18-20,5	22 ±4 22+4
1020-1220	10,5-11,5 **11,5-15** 15-21,5	18+-3 20±3 22±4		20,5-24 24-28 28-32	24±4 30+4 32+4

Таблица 3.20

Геометрические параметры внутреннего шва при двусторонней автоматической сварке под флюсом

Толщина стенки, мм	Вид разделки кромок (табл. 3.16)	Размеры внутреннего шва ($5_в/Л_в$>2), не более, мм	
		Глубина проплавления	Ширина шва $B_в$
9,5-11		6	15
11,1-15,2		7	21
15,3-18		9	26
18,1-21		10	26
19,7-20,5		12	26
20,5-32		12	28

3.2.2. Оборудование для сварки под флюсом поворотных стыков на трубосварочных базах

При строительстве магистральных трубопроводов используют **две** типовые схемы трубосварочных **баз** (рис. 3.25):

Рис. 3.25. Трубосварочная база

для односторонней автоматической сварки под флюсом по ручной подварке типа ССТ-ПАУ и БНС (полумеханизированные базы);

для двусторонней автоматической сварки под флюсом типа БТС (механизированные базы).

В зависимости от диаметра труб на полумеханизированных базах применяют различное оборудование, выпускаемое промышленностью [24, 28].

Состав оборудования трубосварочных баз

Диаметр трубопровода, мм	325+820	1020+1420
Тип трубосварочной базы	БНС-81	ССТ-ПАУ
Сборка и сварка первого слоя	ЛСТ-81	ССТ-141 или ССТ-141А
Автоматическая сварка под флюсом	——ПАУ-502	ПАУ-Ю01В
Автоматическая подварка под флюсом изнутри трубы	—	ТС-17М1

Техническая характеристика сборочно-сварочных стендов **ССТ**

Тип стенда	ССТ-141	ССТ-141А
Диаметр свариваемых труб, мм	1020, 1220, 1420	1020,1220,1420
Длина свариваемой секции, м, не более	36	36
Масса секции, кг	22000	36000
Одновременно потребляемая мощность, кВт	16,5*	115
Ход роликоопоры манипулятора, мм:		
горизонтальный	±140	280
вертикальный	200	200
Давление в гидросистеме, МПа	—	10
Окружная скорость вращения секций, м/с	—	0,0281 ±0,00165
Габаритные размеры, мм	45500x8750x3500	51000x11200x7250
Масса, кг	36800	45000
Производительность (стык/ч) на трубах диаметром, мм:		
1420	1?	4,8
1020 и 1220	3,4	9,2
Число сварочных постов	6	8
Численность обслуживающего персонала	7	9

'Без источников сварочного тока.

Техническая характеристика линии ЛСТ-81

Диаметр собираемых труб, мм	325 — 820
Длина собираемых труб, м	10,5— 11,8
Длина собираемых секций, м	< 36
Масса секций, кг	16000
Производительность на трубе диаметром 530х8 мм, стык/ч	9,2
Одновременно потребляемая мощность, кВт	72
Число постов сборки	2
Сварочный ток поста, А	60 — 315
Источник сварочного тока: выпрямитель	ВДМ 100IV3
Габаритные размеры, мм	71000х12000х3500
Масса, кг	38500
Численность обслуживающего персонала	9

Техническая характеристика автосварочных установок ПАУ

Тип сварочной установки	ПАУ-502	ПАУ-Ю01В
Диаметр свариваемых труб, мм	325 — 820	1020 — 1420
Длина свариваемых секций, м	< 36	< 36
Максимальная масса секций, кг	16000	25000
Производительность (стык/ч) при сварке на трубе (диаметр х толщина, мм):		
530х8	7	—
1420х17	—	4,3
Сварочный ток, А	500* (1250**)	1250
Диаметр электродной проволоки, мм	2 — 3	3 — 5
Окружная скорость вращения секций,	0,0026 — 0,026	0,005 — 0,05
м/с (м/ч)	(9,3-93)	(18-180)
Одновременно потребляемая мощность, кВт	100	305
Скорость перемещения будок, м/с	—	0,83 ±0,05
Габаритные размеры, м	55х11х10	51х13х4.7
Масса, кг	11800	30500

* При питании дуги от агрегата АДД-502У1;

"При питании дуги от сварочного выпрямителя ВДУ-1201.

Схема полумеханизированной трубосварочной базы, предназначенной для сборки и сварки труб диаметром 325 — 820 мм типа БНС — БНС-81, приведена на рис. 3.26.

Механизированные трубосварочные базы (типа БТС) позволяют полностью механизировать выполнение сварочно-монтажных работ при изготовлении секций труб. В настоящее время отечественной промышленностью выпускаются базы БТС-142В,

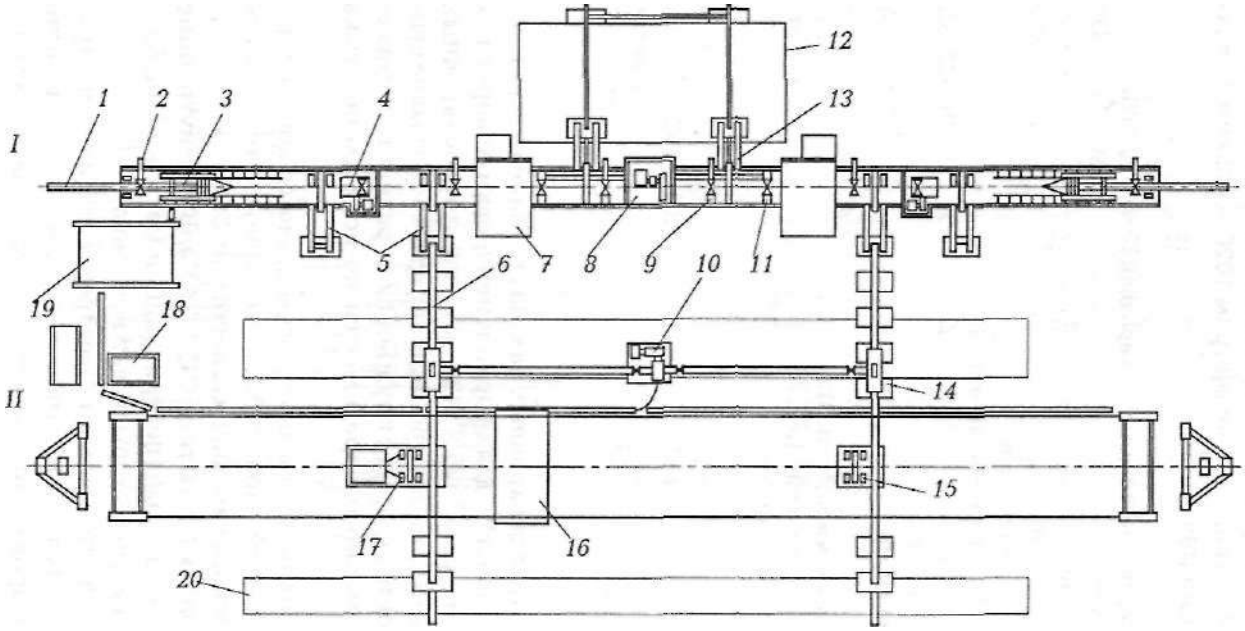


Рис. 3.26. Схема трубосварочной базы БНС-81:

/— сборочно-сварочнаялиния,ЛСТ-81; Д — автосварочная установка ПАУ-502; / — штанга центратора; 2 — привод штанги центратора; *3* — внутренний центратор; *4* — ролик регулировочный для сборки стыка; 5 — перегружатель секций; *6* — промежуточный стеллаж; 7 — пост сборки ручной дуговой сварки корневого слоя шва; *8* — привод перегружателя; *9* — ролик рольганга; *10* — привод отсекателя секций; *11* — ролик рольганга неприводной; *12* — приемный стеллаж; *13* — отсекатель; *14* — отсекатель секций; *15* — опора неприводная; *16* — палатка сварщика со сварочной головкой; *17* — опора приводная; *18* — блок питания; *19* — энергоблок; *20* — стеллаж готовых секций

предназначенные для двусторонней автоматической сварки под флюсом кольцевых стыков труб диаметром 1020— 1420 мм в двух- и трехтрубные секции (рис. 3.27).

Техническая характеристика трубосварочной базы БТС-142В

Диаметр свариваемых труб, мм	1020, 1220, 1420
Длина свариваемых секций, м	< 36
Масса свариваемых секций, кг	25000
Производительность стык/ч при сварке трехтрубных секций (диаметр х толщина, мм): 1420х17,5; **1220х17,5; 1020х17,5**	**3,24; 3,53; 3,9**
Установленная мощность кВт:	
линии обработки торцов труб	50
линии сборки и сварки	360
Одновременно потребляемая мощность, кВт	250
Диапазон регулирования сварочного тока, А	600 — 1200
Диаметр электродной проволоки, мм:	
при сварке снаружи	3 — 5
при сварке изнутри	3 — 4
Окружная скорость секции, м/с (м/ч)	0,007 — 0,025 (30 — 90)
Регулирование окружной скорости	Плавное
Габаритные размеры, мм	65х27х5,2
Масса, кг	110000

Оборудование трубосварочных баз. Внутренние центраторы (рис. 3.28, 3.29) применяют для сборки и центровки поворотных стыков труб диаметром 325—1420 мм на трубосварочных базах. При использовании внутренних центраторов стыкуемым торцам труб придается форма окружности, а разность периметров торцов равномерно распределяется по всей длине стыка (табл. 3.21) [24].

Основным рабочим узлом центратора является центрирующий механизм, который может быть конусного (левая часть рис. 3.30) или рычажного типа (правая часть рис. 3.30).

На трубосварочных базах типа ССТ-ПАУ и БНС внутренние центраторы имеют конусный центрирующий механизм, на базе БТС-142В применены центраторы рычажного типа.

Внутренние центраторы имеют электрогидравлический привод и два независимых ряда центрирующих жимков. Питание внутренних центраторов осуществляется от источников постоянного тока.

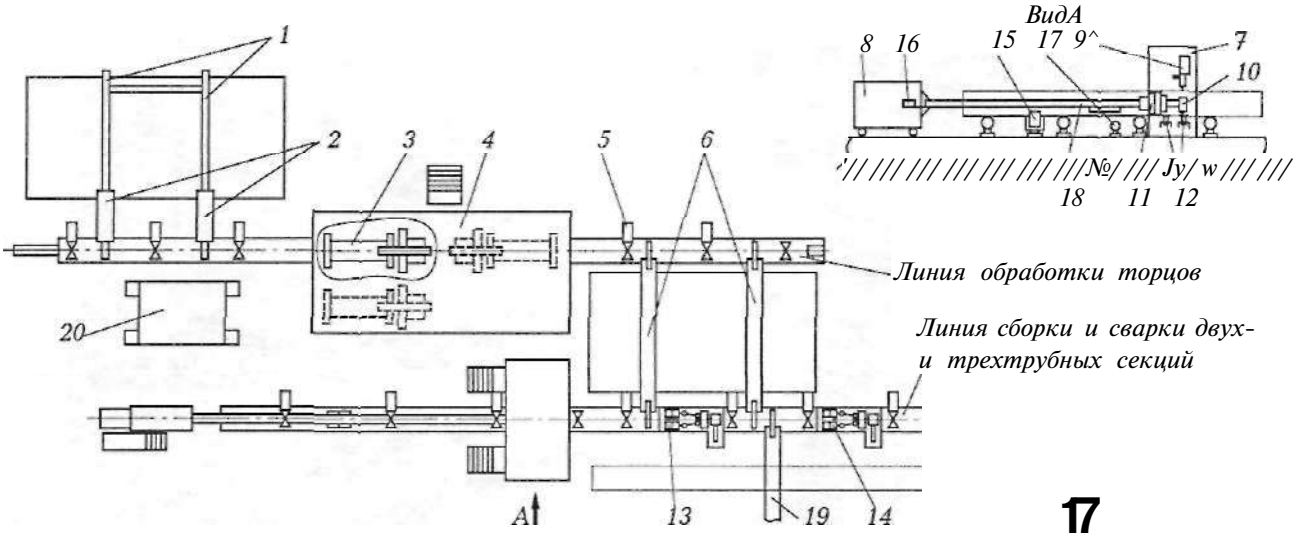


Рис. 3.27. Схема трубосварочной базы БТС-142В:
1 — накопитель; *2* — отсекатель; *3* — станок подготовки кромок (тип СПК); *4* — пост обработки кромок; 5 — ролик приводной рольганга; *6* — перегружатель; 7 — пост наружной сварки; *8* — пост внутренней сварки; *9* — головка наружной сварки (ГДФ-ЮОГУЗ); *10* — головка внутренней сварки; *11*— внутренний центратор; *12* — роликоопоры для регулирования зазора в стыке; *13* — роликоопора приводная для сварки двухтрубных секций; *14* — роликоопора приводная для сварки трехтрубных секций; *15* — роликоопора неприводная; *16* — система слежения при сварке изнутри трубы; *17* — гидроперехват штанги; *18* — штанга; *19* — покати готовых секций; *20* — блок питания

Рис. 3.28. Внутренний центратор

Рис. 3.29. Установка внутреннего центратора

Таблица 3.21

Технические параметры внутренних центраторов типа ЦВ

Показатели	ЦВ-32	ЦВ-51	ЦВ-81	ЦВ-104	ЦВ-124	ЦВ-144	ЦВ-104П	ЦВ-1241	ЦВ-144П
Диаметр стыкуемых труб, мм	325 300 351 356 377 381	530 630	720 820	1020	1220	1420	1020	1220	1420
Число жимков в одном центрирующем ряду	6	6	6	12	16	16	12	16	16
Максимальное суммарное усилие центратора, мН	0,8	0,8	1,2	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Размеры, мм:									
длина	2000	2000	2500	3265	3265	3265	2960	2960	2960
диаметр (в сжатом состоянии жимков)	380	475	760	1000	1200	1400	1020	1220	1420
Масса (без штанги), кг	260	500	800	1465	1670	1900	1420	1640	1810

Самоходное устройство СЦ-141 предназначено для транспортировки внутренних центраторов при сборке стыков труб в секции на трубосварочных базах. Устройство имеет дистанционное управление.

Роликовый вращатель предназначен для вращения свариваемой секции труб диаметром 325 — 1420 мм.

Роликовые опоры ОР121 предназначены для периодического поворота трубной секции при выполнении ручной внутренней подварки корня шва. Она обеспечивает фиксацию секции при подаче и ее скатывании после выполнения подварочного слоя шва.

Лебедка ЛТ-3Г предназначена для осевого перемещения (стягивания) труб в секции длиной до 36 м на сборочных стендах ССТ-141 трубосварочных баз. Привод лебедки — электродвигатель переменного тока.

Головки ГДФ-1001УЗ, СТФ-1004 предназначены для наружной сварки под флюсом кольцевых стыков труб на трубосвароч-

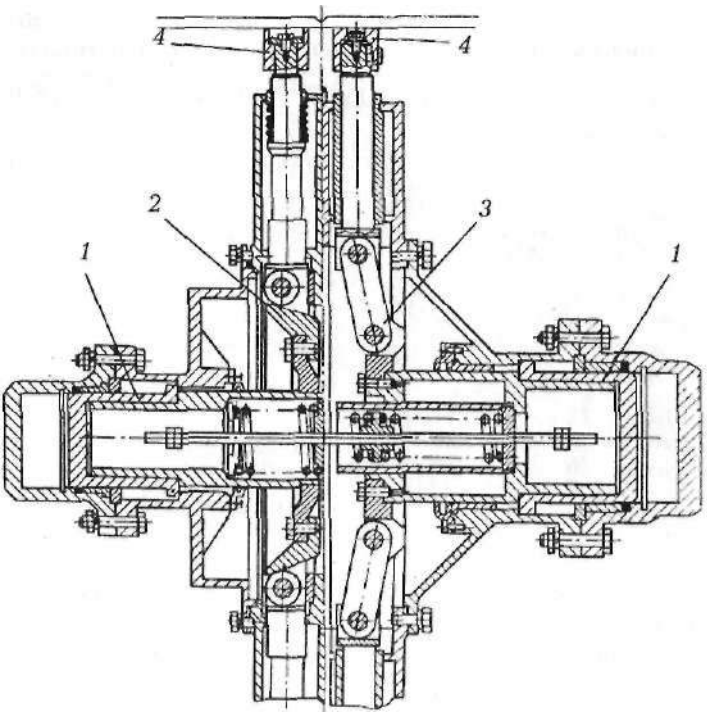


Рис. 3.30. Центрирующие механизмы (условно совмещенные):
1 — цилиндр; *2* — конус; *3* — рычаг; *4* — жимок

ных базах. Головкой ГДФ-1001УЗ комплектуют трубосварочные базы типа ССТ-ПАУ и БТС. Головки СГФ-1004 работают в комплекте трубосварочных баз типа БНС.

Головка ГДФ-1001УЗ представляет собой автомат подвесного типа, состоящий из унифицированных узлов.

Головка СГФ-1004 представляет собой автомат тракторного типа без привода перемещения по изделию и удерживается на поверхности трубы при помощи штанги.

Головка БТС-142В предназначена для автоматической сварки под флюсом изнутри трубы на трубосварочных базах типа БТС. Головка установлена на оси центратора, поднимается и опускается на стык с помощью электропривода и копирует внутреннюю

поверхность трубы копирным роликом (табл. 3.22).

Для внутренней подварки стыков труб диаметром 1220 и 1420 мм на базах ССТ-ПАУ используют универсальный сварочный трактор ТС-17М1. Механизмы подачи электрода и перемещения трактора приводят в действие одним электродвигателем. В комплект трактора входит шкаф управления. В настоящее время сварочный трактор ТС-17М1 серийно не выпускают.

Техническая характеристика сварочного трактора ТС-17М1

Сварочный ток, А	1000
Диаметр электродной проволоки, мм	1,6 — 5
Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	50 — 400
Способ регулирования скорости подачи проволоки	Ступенчатый, сменными шестернями
Скорость сварки, м/ч	16— 126
Вместимость бункера для флюса, дм^3	4,5
Масса электродной проволоки в кассете, кг	10
Габаритные размеры, мм	720x350x520
Масса трактора (без проволоки и флюса), кг	42

Станки типа СПК предназначены для механической обработки концов труб при двусторонней автоматической сварке под флюсом на базах БТС.

Станки СПК подвесного типа состоят из центрирующего барабана с двумя рядами жимков и направляющими колесами, шпинделя с план-шайбой, резцовых головок и гидропривода. В качестве режущего инструмента в станках СПК применяют твердосплавные пластины, имеющие форму шестигранника. Одной режущей кромкой пластины можно обработать около десяти стыков труб диаметром 1420 мм.

Серийно выпускают станки трех типоразмеров: СПК-81, СПК-121, СПК-141 (табл. 3.23) [2, 18].

Станок для очистки и намотки проволоки МОН-52 предназначен для очистки и намотки электродной проволоки диаметром от 2 до 5 мм в кассеты и катушки диаметром до 650 мм. Станок позволяет производить рядную намотку проволоки в кассеты. Проволока очищается в закрытом вращающемся блоке иглофрезерными элементами. Станок снабжен грузоподъемным устройством, предназначенным для подъема и установки проволочного бунта.

Таблица 3.22

Техническая характеристика сварочных головок

Параметры	Марка головки		
	СГФ-1004	ГДФ-1001УЗ	Головка внутренней сварки БТС-142В
Диаметр свариваемых труб, мм	325 — 1420	530-1420	1220,1420
Сварочный ток, А	< 1000	< 1200	< 1000
Напряжение на дуге, В	До 50	До 50	До 50
Диаметр электродной проволоки, мм	2 — 3	3--5	3-4
Скорость подачи проволоки, м/ч	192 — 572	53- 532	46 -378,45- -265
Регулирование скорости подачи проволоки	Ступенчатое (сменными шестернями), плавное (регулировочным сопротивлением), вниз от номинала на 25-30%	Плавное	
Вылет электрода, мм	30-50	30-80	30-50
Смещение электрода с зенита (надира) трубы, мм	20 — 120	0 — 100	0-30
Поперечная корректировка электрода, мм	±30	±75	±50
Угол наклона электрода вперед , градус	Постоянный	0 — 30	10
Подъем головки над трубой, мм	—	0 — 100	—
Масса кассеты с проволокой, кг	10	35	35
Вместимость бункера для флюса, дм	6,4	55	25
Размеры (без штанги), мм	800x380x520	1680x1050x Х1845	2780x920x хЭОО-1000
Масса (без флюса, проволоки и опорной части штанги), кг	37	300	

Таблица 3.23

Техническая характеристика станков СПК

Показатели	СПК-81	СПК-121	СПК-**141**
Диаметр обрабатываемых труб, мм	720, 820	1020, 1220	1420
Толщина стенки, мм	7,5-21	7,5-21	7,5-21
Подача планшайбы, мм/об	0,09	0,13	0,15
Частота вращения планшайбы, об/мин	31,5	26,5	22,4
Скорость быстрого перемещения планшайбы, мм/мин	27	33	33
Наибольшая длина хода планшайбы,	100	150	150
Производительность, кромок/ч	10-20	7 - 8	5 - 6
Давление в гидросистеме центратора, МПа	10	10	10
Число жимков в ряду	9	12	16
Расстояние между двумя фиксирующими рядами, мм	1200	1300	1500
Габаритные размеры, мм	3000x1050x X1780	3260x1450x X2020	3520x1650x X2250
Масса, кг	2650	4000	5000

Примечание. Напряжение питающей сети 380 В.

Печь СНО-5.5.5/5-И2 с номинальной мощностью 10 кВт и массой 200 кг предназначена для прокалки на трубосварочных базах флюса и электродов при температуре до 500 °С.

Техническая характеристика станка МОН-52

Мощность электродвигателя станка, кВт. 5,1
Напряжение питания, В. . . . . 380 (3 - 50 Гц)
Максимальные размеры наматываемой кассеты, мм:
наружный диаметр. 650
ширина. 85
Скорость намотки, м/мин:
минимальная. 75
максимальная. 100
Грузоподъемность подъемника, кг. 1960
Габаритные размеры, мм. 2000x1120x1680
Масса станка, кг. 900

Техническая характеристика печи СНО-5.5.5/5-И2

Мощность печи, кВт	10
Напряжение питания, В	380 (3 -50 Гц)
Размеры рабочего пространства печи, мм	500x500x500
Габаритные размеры, мм	870x1320x1015
Масса, кг	200

Энергоснабжение трубосварочных баз можно осуществлять от сварочных агрегатов, от передвижных электростанций и от линии электропередач (ЛЭП). Сварочные агрегаты применяют только в автосварочных установках ПАУ-502 первой серии, входящих в комплект трубосварочной базы БНС-81. Этот агрегат АДД-502У2, который при ручной дуговой сварке обеспечивает ток 60 —315 А, а при сварке под флюсом — 250 — 500 А (табл. 3.24) [28].

При питании трубосварочных баз от передвижной электростанции применяют электростанции, такие как АБ-16-Т230 П-Р, ЭСД-30-Т/400-М2, АД-60С-Т400-Р, ЭД-100-Т/400-РК, АД-100С-Т400-Р, ЭСДА-200-Т/400-1РКМ, ЭД500-Т400-2РКС.

Питание оборудования от линии электропередач (ЛЭП) осуществляют через понижающий трансформатор с выходным напряжением 380 — 400 В. В качестве сварочных источников питания применяют сварочные выпрямители (см. табл. 3.24).

Для ручной электродуговой сварки на трубосварочных базах типа ССТ-ПАУ и БНС-81 используют многопостовые выпрямители ВДМ-1001 УЗ с жесткими внешними характеристиками. Для питания цепи управления внутреннего центратора и других вспомогательных цепей служит выпрямитель ВД-306УЗ. Силу тока на каждом посту при многопостовой сварке регулируют при помощи балластных реостатов типа РБ-301. Выпускают также балластные реостаты типа РБ-201.

В качестве источника питания дуги при автоматической сварке на базах типа ССТ-ПАУ, БНС-81 и БТС-142В служат выпрямители ВДУ-Т201УЗ с тиристорным управлением.

Питание оборудования каждой трубосварочной базы осуществляют через гирлянду кабелей, соединяющих блок питания и сварочную будку.

Площадь сечения сварочных проводов следует подбирать в зависимости от силы тока.

Таблица 3.24

Техническая характеристика сварочных источников питания постоянного тока, применяемых на трубосварочных базах

Показатели	Агрегаты		Выпрямители		
	АДД-502У1 при соединении постов		ВД-306УЗ	ВДМ-1001 УЗ	ВДУ-1201 УЗ
	раздельном	параллельном			
Тип генератора	СГП-3-VIII	—	—	—	—
Приводной двигатель	Дизель ЯАЗ-204 Г	—	—	—	
Номинальный сварочный ток, А	315	500	315	315 (одного поста)	1250*; **
Режим работы ПВ, %	60	60	60	60	100
Номинальное рабочее напряжение, В	32	40	32	60	56*
Напряжение холостого хода, В	—	—	61-70	**100**	100
Пределы регулирования сварочноготока, А	60-330	250-500	45-315		300-1250*;**
Номинальная мощность, кВ А			24	88	135
Вольтамперная характеристика	Падающая		Жесткая		Универсальная
Коэффициент полезного действия, %	—	—	70	90	84,5**; 83*
Напряжение питающей сети, В	—	—	380	380	380
Число сварочных постов	—	1	1	7	1
Габаритные размеры, мм	2550x1200x1270		785x780x x795	1050x700x x900	1400x850x X1250
Масса, кг	1600		174	420	750

* При жестких внешних характеристиках.

** При падающих внешних характеристиках.

Примечания: 1. ВД-306УЗ — выпрямитель с механическим регулированием сварочного тока; 2. ВДУ-1201УЗ — выпрямитель с тиристорной схемой. Включение нагрузки и регулирование сварочного тока (напряжения) осуществляются дистанционно.

3.3. СТЫКОВАЯ КОНТАКТНАЯ СВАРКА ТРУБОПРОВОДОВ

3.3.1. Технология и организация стыковой контактной сварки трубопроводов

Контактная сварка широко используется в машиностроении. Накоплен значительный опыт по использованию контактной сварки при строительстве магистральных трубопроводов, в том числе большого диаметра, с использованием комплексов "Север", ПЛТ и **др.**

Но в настоящее время стыковая контактная сварка при строительстве трубопроводов практически не применяется.

Специфические условия строительства трубопроводов требуют нового, по сравнению с машиностроением, подхода к разработке технологии стыковой сварки оплавлением, при которой удельная потребляемая мощность должна быть не более 0,7 — 1 кВт/см^2.

При условии модернизации существующих комплексов и технологии работ за стыковой контактной сваркой трубопроводов большое будущее.

Контактная сварка — это сварка, при которой свариваемые детали нагреваются теплотой, выделяемой проходящим в месте их контакта электрическим током, и сдавливаются (осаживаются). Сварное соединение образуется в результате пластической деформации металла в зоне контакта и установления межатомных связей между поверхностями соединяемых деталей. При этом способе на зажатые в зажимах свариваемые детали подают напряжение, после чего начинают их медленно сближать. При соприкосновении даже ровно обрезанных торцов деталей контакты между ними возникают в отдельных местах по имеющимся микронеровностям [16, 24].

Сущность стыковой сварки оплавлением заключается в том, что наибольшее количество теплоты (в соответствии с законом Джоуля-Ленца) выделяется в контактах при касании деталей. Они нагреваются до температуры плавления, металл вскипает, и контакт взрывается. По мере сближения деталей образуются и взрываются все новые и новые контакты, создающие впечатление непрерывного потока искр, вылетающих из зазора. Зазор между сва-

риваемыми деталями называют искровым промежутком, а процесс, во время которого образуются и разрушаются контакты — оплавлением.

В результате процесса оплавления детали не только обгорают и укорачиваются за счет выброса части расплавленного металла при взрыве образующихся контактов, но и прогреваются на некоторую глубину. Температура нагрева торцов деталей — важнейший параметр процесса, влияющий на формирование соединения, его структуру и свойства. Для получения качественного сварного соединения нагревают поверхности оплавляемых деталей до температуры плавления, создают на торцах слой расплавленного металла и обеспечивают прогрев деталей в глубину.

После нагрева деталей сварочный трансформатор выключают, и происходит вторая стадия процесса — образование сварного соединения с требуемыми свойствами в результате установления межатомных связей между свариваемыми деталями.

Процесс осадки состоит из трех этапов: закрытие зазора между оплавляемыми торцами, удаление из стыка жидкого окисленного металла и пластическая деформация чистых от оксидов поверхностей соединяемых деталей для образования между ними межатомной связи. При этом первые два этапа необходимо провести быстро, чтобы жидкий металл, и тем более жидкие оксиды, не успели закристаллизоваться. Для низкоуглеродистых и низколегированных сталей, из которых в основном изготовляют трубы для магистральных трубопроводов, минимальная скорость осадки 20 - 30 мм/с.

Участок металла деталей, подвергающийся в процессе сварки нагреву, пластической деформации и последующему охлаждению, называется зоной термического влияния.

Совокупность контролируемых параметров, определяющих условия сварки, называется режимом сварки.

Режимы сварки конкретных труб, обеспечивающие доброкачественные сварные соединения, рассчитывают на основе взаимосвязи параметров сварки с потребляемой мощностью и с учетом полученного в результате оплавления температурного поля в свариваемых трубах.

Поскольку для расчета скорости и времени оплавления в зависимости от площади сечения свариваемых труб, припуска на осадку требуется выполнить довольно сложные математические дей-

ствия, для удобства определения указанных параметров можно воспользоваться специальной номограммой (рис. 3.31) [28].

Для предупреждения охлаждения жидкого металла на торцах труб перед осадкой за 7— 15 с до конца процесса оплавления скорость оплавления повышают до 0,8 — 1,2 мм/с. Этот период называется форсировкои. С этой же целью в течение 0,1 —0,5 с после подачи команды на осадку процесс осадки проводят без выключения сварочного трансформатора, т. е. при протекании через свариваемые трубы тока.

Для примера определим режим сварки труб диаметром 325 мм с толщиной стенки 9 мм на установке ПЛТ-321 со сварочной машиной К-584М, которая имеет вторичное напряжение U_2 = 7 В. По номограмме для площади поперечного сечения трубы 325х9 мм, равной 89,3 см^2, определим среднюю скорость оплавления. Для этого сносим отметку на шкале площади, равную 89,3 см^2, на шкалу *v*, мм/с и получаем 0,224 мм/с. Время оплавления, определенное по той же номограмме, равно 130 с. Тогда припуск на оплавление

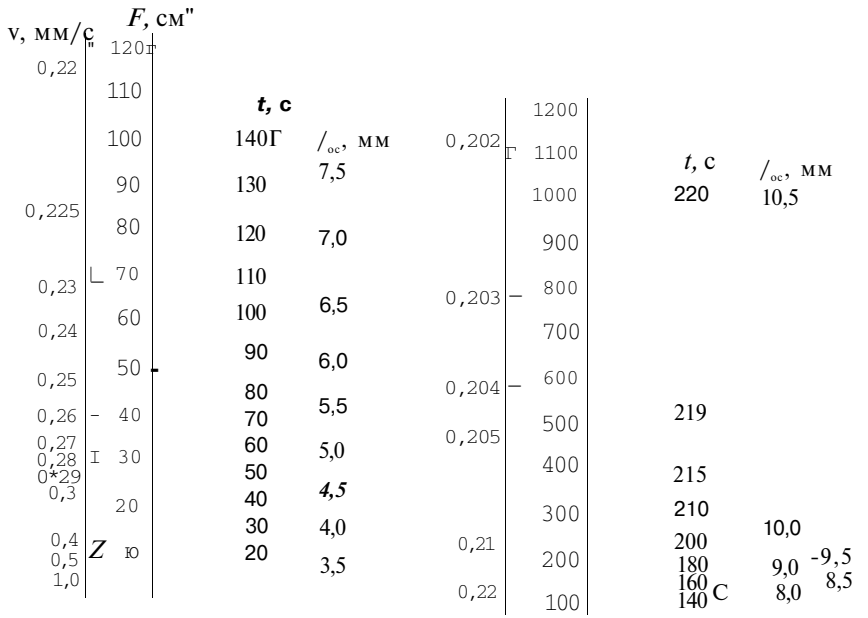


Рис. 3.31. Номограмма для определения скорости, времени оплавления и величины осадки

будет равен $/_{опл} = vt_{0UA} = 0{,}22x130 = 29$ мм. За 10 с до конца оплавления, т. е. через 120 с после его начала, скорость оплавления повышают до 1 мм/с. За этот период $/_{опл} = 1x10 = 10$ мм.

По номограмме определим необходимый припуск на осадку. Для этого отметку на шкале времени оплавления $t_c = 130$ с сносим на шкалу $/_{ос}$ и получаем 7,5 мм. Часть этой осадки в течение 0,1 с должна проходить без выключения трансформатора.

Стыковую контактную сварку оплавлением широко использовали при строительстве магистральных трубопроводоя в 1980-е годы. Рассмотрим применявшуюся организацию сварочно-монтажных работ и технологию процесса сварки.

Технология стыковой контактной сварки оплавлением трубопроводов независимо от того, применялась ли она на трубосварочных базах или использовалась при сварке в непрерывную нитку трубопровода, предусматривала следующие основные операции: подготовку труб к сварке; зачистку поверхностей труб под контактные башмаки сварочной машины; центровку труб в сварочной машине; сварку труб, выполняемую автоматически по заданной программе; удаление внутреннего и наружного грата.

Трубосварочную базу, независимо от диаметра свариваемых труб (рис. 3.32), оснащали следующими агрегатами: приемным стеллажом, где трубы, подлежащие сварке, проверяют на соответствие ГОСТам и ТУ, очищают от грязи, снега, посторонних предметов; зачистной линией для зачистки поверхностей труб под контактные башмаки сварочной машины; рольгангом для перемещения труб к сварочной машине и сваренных трубных секций в накопитель; сварочной машиной для центровки и сварки труб; внутренним и наружным гратоснимателями; электростанцией для питания сварочного трансформатора и вспомогательного электрооборудования. При наличии электрической подстанции необходимой мощности питание трубосварочных баз можно осуществлять от промышленной сети переменного тока напряжением 380 В.

Трубосварочную базу обслуживает трубоукладчик, который разгружает трубовозы и подает трубы на приемный стеллаж, нагружает сваренные секции на плетевозы для вывозки на трассу. Базу располагают на площадке, которую при необходимости планируют бульдозером.

Рольганг размещают так, чтобы трубовозы и плетевозы делали минимальное число разворотов.

При сварке труб диаметром до 530 мм базу обслуживает бригада в составе специалистов следующих разрядов: сварщик-оператор — б, машинист электростанции — 6, два оператора зачистных машин — 4, машинист трубоукладчика — 6. Кроме того, при сварке труб диаметром более 530 мм в бригаду вводят помощника оператора 5-го разряда и слесаря-трубоукладчика 3-го разряда.

Работа трубосварочной базы осуществляется следующим образом. От расположенных при приемном стеллаже *1* труб (см. рис. 3.32, позиция /) первой парой пневмоостановов *8,* которыми управляет оператор по зачистке, отсекают по одной трубе, и она по наклонному стеллажу скатывается на позицию *II,* где зачистными машинками 2 зачищают ее перед сваркой. Вторая пара пневмоостановов *9* удерживает трубу от скатывания при зачистке и передает зачищенные трубы на позицию *III,* где они удерживаются отсекателями *10.*

Первую трубу *11* отсекателями перемещают на рольганг *3,* который подает ее в сварочную машину *5* (позиция *IV).* Затем на рольганг поступает труба *12* и передвигается им до соприкоснове-

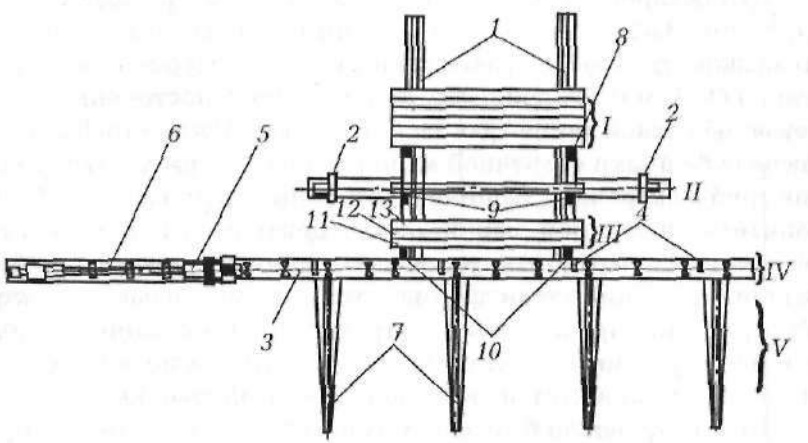


Рис. 3.32. Механизированная трубосварочная база для контактной стыковой сварки оплавлением:
1 — приемный стеллаж; 2 — зачистные машинки; *3* — рольганг; *4* — сбрасыватели; *5* — сварочная машина; *6* — внутренний гратосниматель; 7 — стеллаж готовой продукции; *8,9* — пневмоостановы; *10* — отсекатели; *11, 12, 13* — свариваемые трубы; /— *V* — позиции труб

ния с трубой *11.В* сварочной машине 5 трубы центрируют, а затем сваривают и удаляют наружный грат. По окончании сварки в зону стыка автоматически подается внутренний гратосниматель *6,* который в горячем состоянии удаляет внутренний грат, после чего сваренная двухтрубная секция перемещается по рольгангу вправо до тех пор, пока ее левый конец не займет положение справа от приемного стеллажа и таким образом освободит место на рольганге для трубы *13.* Процесс повторяется, и секция становится трехтрубной. Сваренная трехтрубная секция выводится рольгангом из сварочной машины, перемещается влево до тех пор, пока ее левый конец не совпадет с левой стороной стеллажа 7 готовых секций и сбрасывателями *4* подается с рольганга на этот стеллаж (позиция V).

Снятие наружного грата на трубах диаметром до 530 мм осуществляется автоматически гратоснимателем, расположенным в сварочной машине, через несколько секунд после окончания процесса сварки. На трубах диаметром более 530 мм снятие наружного грата осуществляется специальными гратоснимателями на готовых трехтрубных секциях на стеллаже готовых секций. Сваренные секции вывозят на трассу, раскладывают вдоль траншеи и затем сваривают в непрерывную нитку трубопровода передвижными установками. Передвижные установки для стыковой контактной сварки можно использовать и для сварки отдельных труб в непрерывную нитку трубопровода. Бригада, обслуживающая передвижные установки при сварке труб диаметром до 530 мм, состоит из сварщика-оператора 6-го разряда, помощника оператора 5-го разряда (он же управляет внутренним гратоснимателем), оператора зачистнои машины 5-го разряда, машиниста электростанции 6-го разряда, трех машинистов трубоукладчиков 6-го разряда, двух слесарей-трубоукладчиков 3-го разряда. При сварке труб диаметром более 530 мм бригаду дополняют еще одним машинистом трубоукладчика 6-го разряда, операторами агрегатов зачистки концов труб и снятия наружного грата 5-го разряда, электриком 6-го разряда, машинистами бульдозера и тракторатягача 5-го разряда.

Передвижные установки для сварки труб диаметром до 530 мм состоят из подвесного рольганга, закрепленного на крюке грузовой стрелы трубоукладчика. На рольганге последовательно установлены направляющий ролик, зачистная машина, сварочная машина, еще один направляющий и прижимной ролик. Внутренний

гратосниматель является автономным агрегатом и находится в свариваемом трубопроводе. Установленные на подвесном рольганге зачистная и сварочная машины имеют индивидуальный привод перемещения вдоль оси трубы ддя точной установки их на стык.

Привариваемую трубу или секцию подают трубоукладчиком и укладывают на подвесной рольганг таким образом, чтобы торец трубы находился в зоне зачистной машины. При необходимости **с** помощью индивидуального привода производят точную установку зачистной машины на стык и его зачистку. Затем трубу с помощью трубоукладчика подают **в** сварочную машину, центрируют, осуществляют сварку и снятие наружного грата. Сразу после окончания сварки помощник оператора включает двигатель внутреннего гратоснимателя и снимает внутренний грат [24].

Передвижные установки для сварки труб диаметром более 530 мм состоят из отдельных автономных агрегатов: сварочной машины, расположенной внутри трубы и имеющей привод самостоятельного перемещения и гратосниматель для снятия внутреннего грата, электростанции агрегатов ддя снятия наружного грата и зачистки концов труб (рис. 3.33). Трубы или секции труб раскладываются трубоукладчиком *10* вдоль трассы (рис. 3.34). На внутренней поверхности трубы с двух сторон до металлического блеска агрегатом 9 зачищают пояски под контактные башмаки сварочной машины. Трубоукладчиком *8* зачищенную трубу подают к нитке трубопровода, стыкуют и центрируют **с** ней **с** помощью сварочной машины *2.* Зазор между торцами сцентрированных труб должен

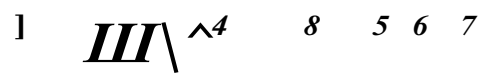


Рис. 3.33. Схема работы передвижных установок для контактной стыковой сварки оплавлением труб большого диаметра:
1 — агрегат для снятия наружного грата; 2 — сварочная машина; *3, в, 10* — трубоукладчики; *4* — бульдозере — кузов с аппаратурой управления; 6 — электростанция; 7 — трактор-тягач; *9* ~ агрегат для зачистки концов труб

Рис. 3.34. Раскладка труб вдоль трассы

быть равномерным по периметру и не превышать 7 мм. Процесс сварки и снятия внутреннего грата осуществляется автоматически, после нажатия на пульте *5* управления сварочной машиной кнопки "сварка". Через 4 мин, необходимые для остывания стыка до температуры примерно 300 °С, трубоукладчик *8* поднимает конец сваренной нитки, под нее укладывают инвентарные лежки, на которые опускают нитку трубопровода. Оператор включает двигатель *самохода,* сварочной машины, и она начинает передвигаться вдоль нитки трубопровода к следующему стыку. Электростанцию к очередному стыку перемещают трактором-тягачом 7. Наружный грат снимают специальным агрегатом *1.* При необходимости, для облегчения проезда агрегатов передвижной установки вдоль трассы, рельеф планируют бульдозером *4.*

Качество полученных сварных соединений зависит от тщательности проведения всего комплекса сварочно-монтажных работ при строительстве трубопроводов.

В процессе проведения подготовительных операций проверяют трубы на соответствие ГОСТам и ТУ. На калиброванных концах труб не должно быть вмятин, глубина которых более 50 мм, и забоин на фасках более 7 мм. Поверхности труб под контактные башмаки сварочной машины *зачищают* до металлического блеска, кроме того, должны быть зачищены фаски труб от ржавчины и пыли. При использовании внутритрубных сварочных машин необходимо с помощью ручной шлифовальной машины снять усиле-

ние продольного шва внутри трубы на участке 370 мм от торца трубы.

В процессе проведения сборочно-сварочных работ контролируют качество центровки свариваемых труб. Смещение кромок при центровке труб допускается до 20 % от толщины стенки трубы, но не более 2 мм, большие смещения приводят к недопустимым смещениям в сваренном стыке. Зазор между торцами сцентрованных труб желательно иметь равномерным и минимальным. Однако в результате возможной косины торцов соединяемых труб возможно *образование* неравномерного зазора по периметру, который не должен превышать 7 мм.

В процессе сварки на диаграмме самопишущего прибора регистрируют изменение основных параметров процесса. Диаграмма является основным документом, по которому устанавливается соответствие фактического режима сварки заданному соответствующими разделами технологической инструкции и дается общая оценка качества по стыку — годен или не годен. Оператор должен расшифровать полученные диаграммы, сравнить результаты записи с данными режима сварки, приведенными в инструкции, и подписать их. На диаграммах должны быть указаны: номер стыка и клеймо бригадира, толщина стенок свариваемых труб, температура окружающего воздуха и дата сварки. Этот вид контроля проводят для всех стыков.

После снятия внутреннего и наружного грата контролируют форму получившегося сварного соединения. Стыки, выполненные стыковой сваркой оплавлением, после снятия внутреннего и наружного грата должны иметь усиление высотой не более 3 мм. При снятии внутреннего и наружного грата не допускается уменьшение толщины стенки трубы. Смещение кромок после сварки не должно превышать 25 % от толщины стенки, но не более 3 мм. Допускаются местные смещения на 20 % периметра стыка, которые не превышают 30 % толщины стенки, но не более 4 мм. Этому виду контроля подвергают 100 % стыков. Проверку осуществляют с помощью *специальной линейки.* Результаты контроля и заключение по обмеру стыков составляют по специальной форме, которая приводится в технологической инструкции. При *контроле* качества удаления внутреннего грата проверяют 100 % стыков, сваренных в течение первой смены после запуска установки в работу (но не менее 10 стыков) и при изменении режима сварки. Эту проверку осуществляют также с помощью специальной линейки или ме-

тодом ультразвуковой толщинометрии по методике, изложенной в технологической инструкции. Если качество снятия внутреннего грата соответствует требованиям СНиП Ш-42 — 80*, то в дальнейшем по этому параметру проверяют только 1 % стыков.

Помимо этого, каждый сотый стык (то **есть** 1 %) подвергают механическим испытаниям на растяжение и изгиб. Временное сопротивление разрыву сварного соединения, определенное на разрывных образцах со снятым усилением, должно быть не меньше нормативного значения временного сопротивления разрыву металла труб. Среднее арифметическое значение угла изгиба образцов должно быть не менее 70 °, а минимальное значение — не ниже 40 °. При подсчете среднего значения все углы больше 110° принимаются равными 110°.

При неудовлетворительных результатах механических испытаний сварных стыков необходимо сварку прекратить, установить причину неудовлетворительного качества сварного стыка; весь участок трубопровода, сваренный с момента последней проверки качества по механическим испытаниям, подвергнуть силовому воздействию на **изгиб.**

3.3.2 . Оборудование для стыковой контактной сварки

Электроконтактную сварку непрерывным оплавлением впервые начали применять на строительстве магистральных трубопроводов в 1952 г., когда Институтом электросварки им. Е. О. Патона была создана установка КТСА-1 для сварки труб диаметром 219 — 529 мм в непрерывную нитку. Дальнейшее усовершенствование технологической схемы сварки труб оплавлением благодаря разработкам ИЭО им. Е. О. Патона, ВНИИСТ, КФ СКВ "Газстроймашина" и другими привело в 1980-е годы к использованию двух групп установок — ПЛТ для сварки труб в секции на стационарных трубосварочных базах и ТКУП (Север) — для сварки труб или секций в непрерывную нитку.

Для сварки трубопроводов различных диаметров были разработаны установки, приведенные в табл. 3.25 [28].

В состав полустационарных (см. рис. 3.32) и передвижных (см. рис. 3.33) установок входят: сварочная машина с аппаратурой управления и контроля процесса сварки, наружный и внутренний

Таблица 3.25

Электроконтактные сварочные установки

Тип установки	Тип сварочной головки	Диаметр свариваемых труб, мм	Потребляемая *мощность,* кВА	Производительность, стык/ч
Север-4	К-810	1420	1500	6
Север-5	К-830	720-820	800	6-8
ПЛТ-321	К-584-М	114-325	250	6
ПЛТ-141	К-700-1	1420	1000	8-10
Север-1	К-700	1420	1160	6
Север-3	К-800	1020-1220	1160	6
ТКУП-321		114-325	200	6,5
ПЛТ-531	—	377-530	500	8

гратосниматели, агрегат зачистки концов труб под контактные башмаки сварочной машины, транспортный рольганг электростанции, транспортное средство (для передвижных установок).

Сварочные машины предназначены для центровки свариваемых труб, подвода к ним электроэнергии и перемещения навстречу друг другу в процессе оплавления и осадки, удаления грата (в отдельных случаях) (табл. 3.26).

В зависимости от диаметра свариваемых труб сварочные машины изготавливают в соответствии с типовым рядом. По конструктивному исполнению их делят на наружные и внутритрубные. Машины для сварки труб диаметром до 530 мм изготавливают в наружном варианте, а для сварки труб диаметром 720— 1420 мм — внутритрубные.

Машины наружного типа К-584М и К-805 разъемные и могут перемещаться от стыка к стыку независимо от труб. Машины внутреннего типа К-700, К-755, К-800 перемещаются от стыка к стыку по внутренней поверхности трубы с помощью привода, встроенного в машину.

Для выполнения основных функций все сварочные машины имеют следующие узлы: понижающий трансформатор, силовой корпус с центрирующим и зажимным устройствами, механизм перемещения свариваемых труб, включающие и отключающие устройства, аппаратуру управления и регистрации основных параметров процесса сварки.

Таблица 3.26

Техническая характеристика сварочных машин

Показатели	Тип и марка сварочных машин			
	К-584М	К-805	К-300	К-700
Наружный диаметр свариваемых труб, **мм**	114-325	377-530	1020-1220	1420
Максимальное свариваемое сечение,	14000	22000	*60000*	*92300*
Мощность сварочного трансформатора, кВ • А	200	400	790	820
Вторичное напряжение сварочного трансформатора, В	7,3	*6,8*	7,4	7,4
Сопротивление сварочного контура при коротком замыкании, мкОм	110	16	14	13,5
Рабочее давление масла в гидросистеме, МПа	12,25	*16*	20	16
Рабочий ход поршня механизма оплавления, мм	70	85	85	85
Максимальное усилие осадки, МН	0,52	*1*	3,9	
Скорость оплавления, мм/с	0,1-1,5	0,1-1,5	0,1-1,5	0,1-1,5
Скорость осадки, мм/с (па холостом ходу)	70	90	90	60
Масса, кг	*3300*	9000	25000	28000

Важнейший узел сварочной машины — сварочный трансформатор. Он предназначен для преобразования электрической энергии стандартного (промышленного) напряжения 380 В в сварочное с низким (4 —8 В) *вторичным* напряжением и большим током. Необходимость такого преобразования связана с физической сущностью процесса оплавления. В стыковых сварочных машинах непрерывным оплавлением в основном применяют трансформаторы броневого и кольцевого типов.

Кольцевой трансформатор состоит из кольцевого магнитопровода, первичной и вторичной обмоток. Первичная обмотка представляет собой катушки, равномерно расположенные *на магнитопроводе* и соединенные параллельно, вторичная обмотка состоит из одного витка.

Трансформаторы броневого типа соединяют параллельно как со стороны первичной, так и вторичной обмоток и располагают равномерно по периметру трубы. Такие трансформаторы называют блочными. Сварочные машины наружного типа К-584М, К-805 оснащены блочными трансформаторами. Масса блочного трансформатора больше, чем кольцевого, но он проще в изготовлении, удобнее и надежнее в эксплуатации.

Основными характеристиками сварочного трансформатора являются полное $Z_{к\ з}$г активное $R_{к\ з}{}^{и}$ индуктивное $X_{к\ з}$ сопротивления короткого замыкания и коэффициент мощности ф = $R_{к,з}/Z_{кз}$. Сопротивления $Z_{к\ з}$, $R_{к—з}{}^{и}$ -^к. з определяют замыканием вторичного витка накоротко при пониженном первичном напряжении U_p, измерением силы тока $1_{(}$ и мощности P_1 в первичной цепи и расчетом по формулам

$$7 - \bullet * \bullet \quad в \quad -1\text{-}L- \quad У \quad - \quad h^2 \quad -i?^2$$
$$^{\wedge}к.з \quad . \ I \quad {}^{а}к.з \quad _2' \quad {}^{а}к.з \sim V^{\wedge}к.з \quad "К.З'$$

Большая часть трансформаторов машин для сварки труб диаметром 57 мм, 377— 1420 мм имеет воздушное охлаждение. Трансформатор машины К-584М имеет жидкостное охлаждение.

Кольцевые трансформаторы применяют в основном на машинах К-700, К-755, К-800, К-810 для сварки труб большого диаметра. Причем кольцевые трансформаторы могут быть в разном исполнении: многосекционные, двухсекционные и неразъемные. Многосекционные трансформаторы состоят из большого количества секций (на К-700 девять секций) с разделенным секционно магнитопроводом и раздельных обмоток, соединенных параллельно. В двухсекционных конструкциях магнитопровод разделен на две части, а неразъемный имеет сплошной кольцевой магнитопровод и непрерывную обмотку первичных витков.

Вторичное напряжение сварочного трансформатора на свариваемые детали передается через токоподводящие шины и башмаки. Токоподводящие шины вторичного контура большинства сварочных трансформаторов выполнены из большого количества лент медной фольги толщиной 0,2 мм. Для придания шинам гибкости в местах изгиба они распушены. Число разъемных соединений должно быть минимальным. Болтовые соединения должны обеспечивать удельное давление в нахлесточных соединениях не

менее 20 МПа. При этом площадь сечения вторичного витка рассчитывают исходя из плотности тока до 2 А/мм^2 и максимально допустимой его толщины 20 мм (из-за поверхностного эффекта).

Токоподводящие башмаки, обеспечивающие электрическую связь между шинами и свариваемыми деталями, выполняются, как правило, из бронзы, обладающей наибольшей твердостью и малым активным сопротивлением. Этим требованиям удовлетворяют бронзы марок КН-1-3 или БРАЖ9-4. Усилие прижима токоподводящих башмаков к поверхности стальных изделий должно быть 2 — 3 кг/мм^2.

Силовой корпус сварочной машины с центрирующими и зажимными устройствами — главная составная часть — выполняет следующие функции: осуществляет зажим труб по всему периметру и устраняет овальность концов труб, при этом обеспечивает соосное их выставление и равномерный и надежный прижим токоподводящих и силовых башмаков к поверхности труб, синхронное перемещение свариваемых поверхностей по заданному закону как в процессе оплавления, так и в процессе осадки, удаление грата и усиления сварного шва после сварки, должен перемещаться к следующему стыку без повреждения стенок труб и изоляции как на прямолинейных, так и криволинейных участках трубопровода.

Для зажатия труб с обеспечением совпадения соединяемых кромок труб без значительных смещений (не более 2 мм) необходимо, чтобы центратор сварочной машины осуществлял центровку правой и левой половин сварочной головки по осям. В этом случае разница в диаметрах труб при центровке равномерно распределится по окружности труб. Для обеспечения смещения концов труб при центровке не более 2 мм разница в периметрах свариваемых труб не должна превышать 12 мм. Сварочные машины К-700. К-755, К-805 обеспечивают центровку труб по осям, а сварочная машина К-584М — центровку по поверхности соединяемых труб, т. е. имеется базовая поверхность правой и левой половины сварочной машины, относительно которой и зажимаются трубы. При центровке по поверхности обеспечить отсутствие смещений сложнее. Поэтому в таких машинах (К-584М) предусмотрена возможность в небольших пределах (±2,5 мм) смещать оси зажимных устройств правой и левой половин сварочной машины относительно друг друга (рис. 3.35).

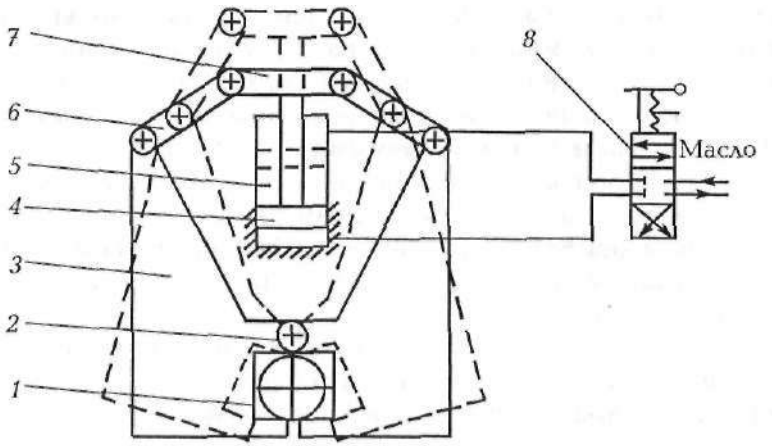


Рис. 3.35. Схема механизма зажатия сварочной машины К-584 М:
1 — зажимный башмак; *2* — шток; *3* — щека, поршень; *4, 5* — гидроцилиндр; *6, 7* — рычаги; *8* — гидрораспределитель

Внутритрубные сварочные машины К-700, К-755, К-800 имеют механизм зажатия, у которого перемещение зажимных и токоподводящих башмаков синхронизировано с помощью одновременно перемещающихся ломающихся рычагов, одна ось которых закреплена на подвижной каретке, а другая связана с рычагом зажатия. Перемещение каретки осуществляется гидроцилиндрами, равномерно расположенными по периметру сварочной машины.

У сварочной машины К-805 синхронность перемещения зажимных и токоподводящих башмаков обеспечивается отдельным следящим гидроприводом, имеющимся на каждом башмаке (рис. 3.36) [28].

Перемещение свариваемых деталей в процессе оплавления и осадки осуществляется с помощью гидроцилиндров, управляемых следящим гидроприводом. У сварочной машины К-700 имеется девять цилиндров, обеспечивающих перемещение подвижной части сварочной машины в процессе оплавления и осадки. Число и размер цилиндров определяют исходя из необходимого для осадки усилия и развиваемого каждым цилиндром давления. Усилие осадки рассчитывают исходя из удельного давления 40 МПа, передаваемого на стык. Для обеспечения высокой начальной скорости

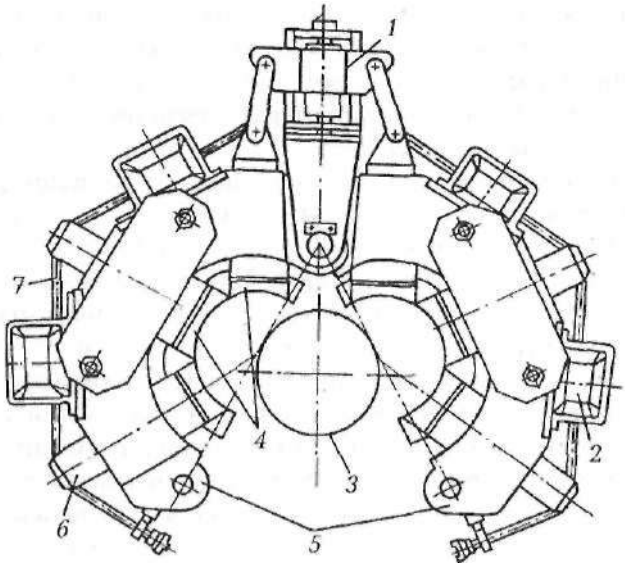


Рис. 3.36. Схема механизма зажатия сварочной машины К-805:
1 — гидроцилиндр раскрытия головки; *2* — секция блочного трансформатора; *3* — центрируемая труба; *4* — зажимные и токоподводящие башмаки; 5 — гидрозамок; *6* — следящий гидропривод зажимных башмаков; 7 — карданная передача привода следящих золотников зажимных башмаков

большая часть сварочных машин имеет гидроаккумуляторы, обеспечивающие подачу большого количества масла в начале (5 — б мм) осадки.

Наибольшие усилия корпус сварочной машины воспринимает при зажатии труб и осадке, поэтому его силовая часть рассчитывается исходя из условий минимальной деформации при зажатии и осадке, а также его минимального веса. Так, у сварочной машины К-700 упругие деформации силового контура при осадке с люфтами составляют 4 — 4,5 мм.

Управление перемещением подвижной части сварочной машины в процессе оплавления и осадки по заданной программе осуществляют с помощью следящего гидропривода, включающего гидроцилиндры, следящий золотник, электродвигатель с редук-

тором и командоаппарат. Принцип действия такой системы состоит в следующем: перемещение подвижной части сварочной машины в заданном направлении определяется наличием давления масла в одной из полостей гидроцилиндров, связанных с корпусом машины и ее подвижной частью.

Поступление масла в ту или иную полость гидроцилиндра определяется положением подпружиненного штока следящего золотника. Управление штоком осуществляется парой винт — гайка, приводимой в поступательное движение двигателем постоянного тока, управляемого командоаппаратом через машинный усилитель. Шток золотника стремится стать в нейтральное положение, закрывая доступ масла в обе полости гидроцилиндров. В связи с тем, что корпус золотника закреплен на подвижной части сварочной машины, при перемещении его штока на заданную величину в ту или иную сторону масло будет подаваться соответственно в одну из полостей гидроцилиндров до тех пор, пока подвижная часть сварочной машины не сместится на ту же величину в направлении, обеспечивающем выставление золотника в нейтральное положение.

Командоаппарат (КЭП) представляет собой многокулачковую систему, управляющую замыканием или размыканием контактов в заданное по циклограмме время включения отдельных механизмов сварочной машины. С помощью командоаппарата на машинах К-584М подается команда на начало и окончание процесса оплавления, изменение напряжения в процессе оплавления, включение начала форсировки и осадки, на перехват трубы зажимными губками сварочной машины для снятия грата, включение и выключение самопишущего прибора для регистрации параметров процесса. На машинах К-700, К-800, К-805 помимо указанных выше команд с помощью второго командоаппарата осуществляется ступенчатое изменение скорости форсировки (девять ступеней). Электрическая схема машин К-584М, К-700, К-800, К-805 предусматривает коррекцию по току (разведение оплавляемых деталей) на этапе оплавления, если процесс входит в короткое замыкание. Перед началом форсировки коррекция по току выключается контактами командоаппарата. Длительность осадки под током устанавливается отдельным электромеханическим реле времени.

Управление процессом сварки на всех сварочных машинах практически одинаково. Перед началом сварки включают гидро-

станцию, после чего в гидросистеме устанавливается рабочее давление. После зажатия свариваемых труб в зажимах центратора нажатием кнопки "Пуск" включают силовой контактор и подают напряжение на сварочный трансформатор. Далее процесс идет по программе, установленной на КЭПе.

Все внутритрубные сварочные машины имеют механизм, обеспечивающий их перемещение внутри трубы. Наружные машины перемещают с помощью вспомогательных транспортных средств. Механизм перемещения внутритрубных сварочных машин обеспечивает перемещение их от стыка к стыку с маршевой скоростью, наведение на стык с установочной скоростью и состоит из электропривода, редуктора, карданной передачи, приводных колес. В зависимости от года выпуска сварочной машины электропривод может включать электродвигатель постоянного тока и асинхронный. Установочная скорость в последнем случае обеспечивается с помощью включения добавочных балластных сопротивлений или тиристорного привода.

Снятие грата у внутритрубных сварочных машин осуществляется ножами, равномерно расположенными по всему периметру на корпусе машины при ее перемещении к следующему стыку после сварки. В процессе снятия грата максимальное усилие резания на каждом ноже достигает 500 Н. При этом температура срезаемого грата может достигать значений не менее 800 — 850 °С. К недостаткам гратоснимателей такого типа можно отнести плохое слежение рабочей поверхности ножей за поверхностью трубы, а также сложность их использования при сварке спиральношовных и многослойных труб. Преимуществом является высокая надежность, производительность и простота конструкции.

В наружных сварочных машинах К-584М, К-805 снятие грата осуществляется ножами, приводимыми в действие гидроприводом осадки по всему периметру стыка одновременно.

Параметры процесса сварки регистрируются на самопишущих приборах типа Н-338 с чернильной записью измеряемых электрических и механических характеристик процесса. Регистрации подлежат: сварочный ток, напряжение в первичной обмотке сварочного трансформатора, перемещение подвижной части сварочной машины в процессе оплавления и осадки, напряжение на якоре двигателя оплавления, пропорциональное скорости оплавления.

Для регистрации указанных параметров сварочные машины снабжают специальными датчиками и преобразователями. Датчиком сварочного тока и напряжения служат трансформаторы тока и напряжения. Сигнал с трансформаторов подается на преобразователь (рис. 3.37), где переменный ток преобразуется в постоянный. Датчиком перемещения является круговой резистор, один оборот которого соответствует перемещению подвижной части машины на величину 2,8 мм. Преобразование указанных параметров для регистрации на самописце Н-338 по величине и характеру сигналов осуществляется специальным блоком.

Зачистные устройства обеспечивают подготовку труб к сварке и предназначены для зачистки пояска на поверхности труб до металлического блеска на ширину прилегания контактных башмаков. Зачистные устройства, как и сварочные машины, делят на внутритрубные и наружные. Отличаются они принципом очистки (абразивные, скребковые и иглофрезерные) и конструктивным исполнением. Концы труб зачищают, вращая рабочие инст-

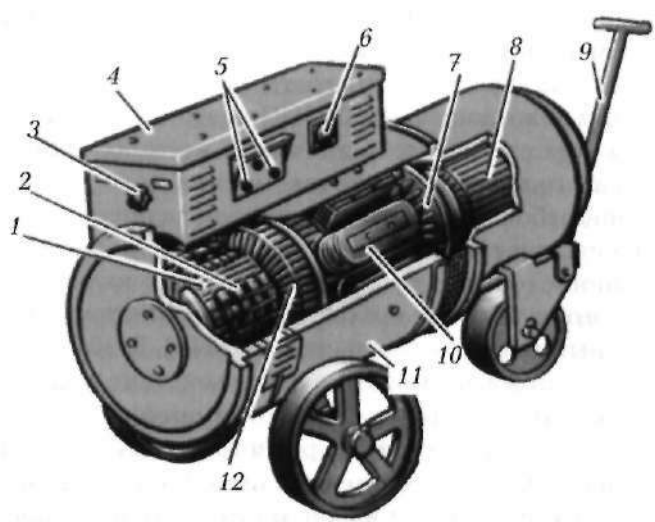


Рис. 3.37. Сварочный преобразователь:
1 — медные пластинки коллектора; *2* — щетки генератора; *3* — регулировочный реостат; *4* — распределительное устройство; *5* — зажимы; *6* — вольтметр; 7 — вентилятор; *8* — трехфазный асинхронный двигатель; *9* — тяга; *10* — магнитные полюсы; *11* — корпус; *12* — якорь

рументы (иглофрезерные) или перемещая их по зачищаемой поверхности с заданным усилием поджатия (скребковые, абразивные). Усилие поджатия у иглофрезерных зачистных машин составляет (в Н): 300 — 500, у скребковых — 20 — 50, а у абразивных — до 20. Зачистные машины с абразивным инструментом в настоящее время не применяются. Наибольшее распространение получили зачистные машины с иглофрезернои очисткой поверхности труб, так как они наиболее качественно готовят поверхность труб под контактные башмаки. К агрегатам с иглофрезернои зачисткой относят: АЗТ-141, АЗТ-121, АЗТ-82. Эти агрегаты готовят зачищенный поясок на внутренней поверхности труб. Ширина пояска составляет 150—170 мм. Располагается он на расстоянии 50 мм от торца трубы.

Все механизмы зачистного агрегата (рис. 3.38) смонтированы на специальном упоре-демпфере *1,* ограничивающем ее вхождение в трубу. На упоре-демпфере закреплен ротор *4* с четырьмя зачистными головками *6* и электродвигателями *5.* Гидроцилиндры 7 обеспечивают выведение зачистной головки в рабочее положение и возвращение в исходное. Ротор приводится во вращение от мотор-редуктора *8.* Зачистной агрегат фиксируется в трубе гидроцилиндром *3.*

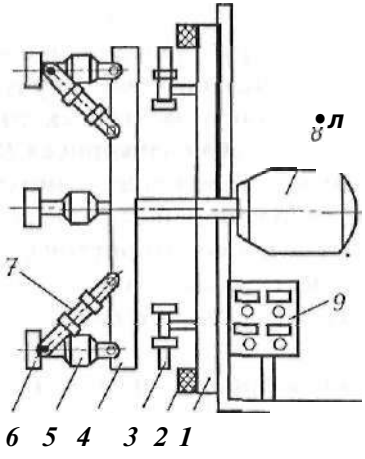


Рис. 3.38. Схема машинки для зачистки концов труб:
1 — упор-демпфер; 2 — резиновое кольцо; *3,1* — гидроцилиндры; *4* — ротор; *5* — электродвигатель; *6* — зачистные головки; *8* — мотор-редуктор; *9* — пульт управления

Принципиальная гидросхема зачистного агрегата аналогична гидросхеме агрегата для снятия наружного грата. Зачистной агрегат подвешивают на стреле трубоукладчика, питание — от автономной электростанции мощностью 30 кВт.

Образующийся в процессе оплавления и осадки грат и усиление сварного шва удаляют с помощью специальных гратоснимающих устройств. Необходимость удаления внутреннего грата диктуется тем, что он снижает пропускную способность трубопровода, а наружного — тем, что он не позволяет качественно осуществить наружную изоляцию труб, а также может быть причиной наличия концентратора напряжений в стыке при его эксплуатации. Грат удаляют в горячем и в холодном состоянии. На трубах малого диаметра (57 — 325 мм) внутренний и наружный грат удаляют в горячем состоянии, а наружный — в холодном. Основной показатель качества удаления грата — высота оставшегося усиления. Она не должна превышать 3 мм. При этом в оставшемся усилении не должно оставаться острых кромок *{R* = 0,2 мм). В связи с тем что наружные сварочные машины снабжены гратоснимателями, комплексы комплектуют отдельными внутренними гратоснимателями. При внутренних машинах они комплектуются наружными гратоснимателями [24].

Наружные гратоснимателиАНГ-141, АНГ-121, которые подвешивают на крюке стрелы трубоукладчика, состоят из корпуса *1* (рис. 3.39) и перемещающихся по периметру труб тележек *6* и *8*.

Корпус представляет собой разъемный цилиндр, фиксируемый на трубе, и включает в себя полукорпуса *10* и *11,* вал *9,* гидрозамок 7 с гидроприжимом. Полукорпуса могут раскрываться на угол, обеспечивающий снятие или установку агрегата на трубу. В закрытом состоянии обода полукорпусов образуют замкнутые круговые направляющие и зубчатый венец. Катки служат опорными элементами корпуса при перемещении его вдоль трубы на стык.

Гидрозамок 7 и гидроприжим предназначены для фиксации закрытого положения полукорпусов. На каждом полукорпусе установлены копиры, которые обеспечивают радиальное относительно трубы перемещение режущего инструмента при рабочем и холостом ходе тележки.

Упоры останавливают в исходном положении одну тележку и изменяют направление движения другой. Тележки имеют меха-

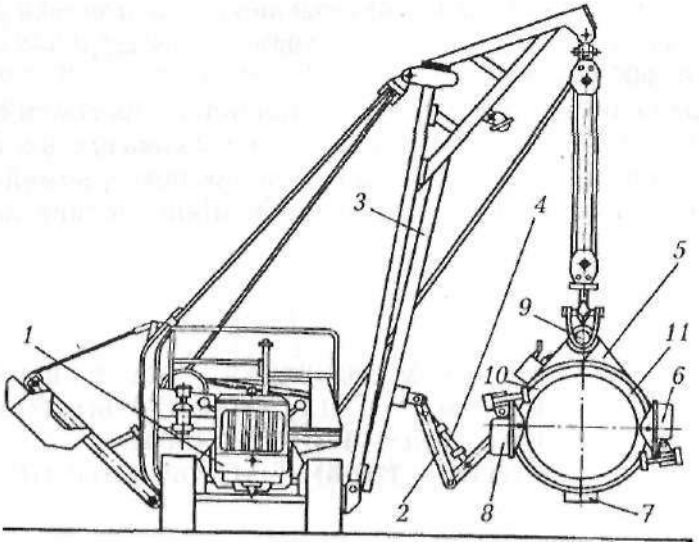


Рис. 3.39. Агрегат для снятия наружного грата:
1 — трубоукладчик; 2 — поводок; *3* — присоединительная стрела; *4* — гидроцилиндр; *5* — наружный гратосниматель; *6,8* — тележки гратосниматель; 7 — замок; *9* — вал; *10, 11* — полукорпуса

низмы перемещения и вращения режущих инструментов, которые удаляют грат методом копирного фрезерования.

Питание электроэнергией механизмов, приборов и осветительных устройств осуществляется от электростанции мощностью 30 кВт, представляющей собой автономный дизельный электроагрегат типа АД-ЗО-Т/230, смонтированный вместе с отключающим устройством на одноосном прицепе ТАПЗ-755Б. Отключающее устройство обеспечивает отключение линии потребителей в случае нарушения изоляции приводов или пробоя фазы на корпус.

Внутренние гратосниматели по принципу своего действия отличаются от наружных и в своей основе используют центробежные силы быстровращающихся бойков или метод протяжки. Бойки при вращении прижимаются к поверхности с силой не менее 1,5 кН, сбивая грат и раскатывая усиление сварного шва. В отдельных гратоснимателях (для сварки труб диаметром 377 — 530 мм) бойки снабжают резцами, которые обеспечивают еще и дополни-

тельное срезание грата. Все внутренние гратосниматели удаляют грат сразу же по окончании сварки при температуре металла шва не ниже 800-1100 °С.

Гратосниматели с использованием метода протяжки срезают грат специальными ножами при их перемещении вдоль оси трубы сразу же после сварки. Перемещение (протяжку) ножей осуществляют с помощью гидроцилиндра или пневмопривода через штангу.

3.4. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА НЕПОВОРОТНЫХ СТЫКОВ ТРУБОПРОВОДОВ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ С ПРИНУДИТЕЛЬНЫМ ФОРМИРОВАНИЕМ ШВА

3.4.1. Технология автоматической дуговой сварки порошковой проволокой

Резервы повышения производительности дуговой сварки ограничены критической массой сварочной ванны, способной удерживаться в разделке в различных пространственных положениях. Существенного повышения производительности достигают принудительным формированием шва, которое применительно к сварке стыков труб можно осуществить только в сочетании с порошковой проволокой, конструкции которой представлены в главе 4. Благоприятным фактором, способствующим принудительному формированию, при сварке порошковой проволокой является наличие шлака между горячей поверхностью шва и движущимся холодным формирующим устройством. В этих условиях шлак служит технологической смазкой и защищает ползун. Схема процесса сварки с принудительным формированием шва определяется наличием плавильного пространства, образованного кромками свариваемых деталей и формирующими устройствами, примыкающими к поверхностям деталей [24, 28].

В плавильное пространство подают порошковую проволоку, между концом которой и жидким металлом горит электрическая

дуга. За счет тепла дуги и сварочной ванны оплавляются кромки деталей. По мере кристаллизации шва формирующие устройства вместе со сварочным автоматом перемещаются по стыку снизу вверх (рис. 3.40).

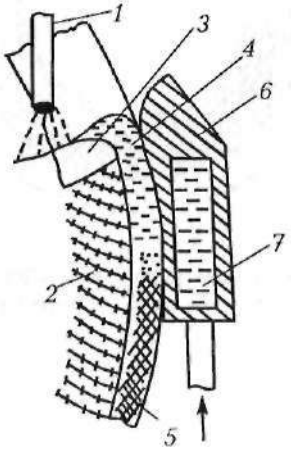


Рис. 3.40. Схема процесса сварки с **принудительным формированием шва:**
1 — порошковая проволока; *2* — шов; *3* — сварочная ванна; *4* — шлаковая ванна; 5 — шлаковая корка; *6* — формирующий ползун; 7 — охлаждающая жидкость

Самозащитная порошковая проволока обеспечивает зону сварки технологически необходимым слоем шлака, который находится в зоне ползуна в пластичном или жидком состоянии.

По схеме принудительного формирования предусмотрена сварка правого и левого полупериметров стыков труб большого диаметра одновременно двумя головками (рис. 3.41).

В начале сварки первой головкой в качестве дна плавильного пространства используют металлическую вставку, как правило, из электродной проволоки (рис. 3.42, *а)*. Дном плавильного пространства может также быть мощная, качественно выполненная прихватка. Сварка второй головкой (рис. 3.42, *б)* начинается от шва, ранее сваренного первой головкой и тщательно зачищенного шлифмашинкой.

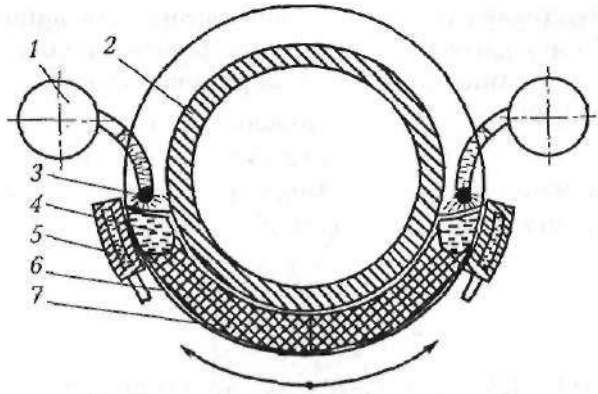


Рис. 3.41. Схема процесса сварки труб больших диаметров порошковой проволокой с принудительным формированием шва:
1 — кассета; *2* — труба; 3 — электрическая дуга; *4* — сварочная ванна; 5 — охлаждающая жидкость; *6* — шлак; 7 — металл шва

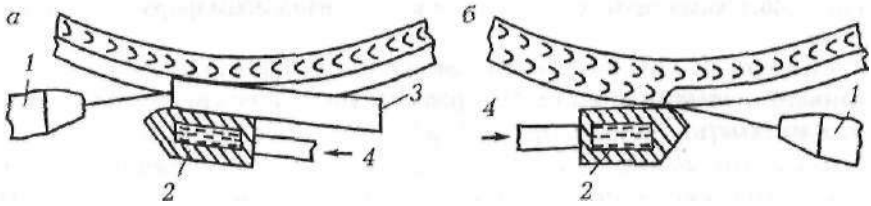


Рис. 3.42. Схема начала сварки с принудительным формированием шва:
а — первой сварочной головкой; б — второй сварочной головкой; *1* — мундштук; 2 — формирующий ползун; *3* — металлическая вставка; 4 — вода или антифриз

Замок в верхней части трубы выполняют, переводя процесс с помощью углового корректора из принудительного в полупринудительное. Заканчивая процесс сварки первой головки, за счет увеличения скорости сварки постепенно уменьшают толщину шва. Сварку второй головкой заканчивают, наезжая на предыдущий шов.

В нижнем и потолочном положениях имеет место неравномерное по высоте проплавление кромок труб. В потолочном положении более интенсивно плавятся кромки, примыкающие к внутренней поверхности труб, а в нижнем — к наружной. Для устранения этой неравномерности и стабильного расплавления кромок электродную проволоку в процессе сварки перемещают по высоте плавильного пространства от наружной поверхности груб в начале процесса к внутренней поверхности в конце его. В потолочном положении проволоку подают в разделку по касательной к поверхности трубы в непосредственной близости от формирующего ползуна и в процессе сварки постепенно перемещают в глубь разделки таким образом, чтобы в нижнем положении она располагалась ближе к предыдущему слою.

В вертикальном положении проволоку располагают в середине высоты плавильного пространства. Начиная с 2^{00} (при часовом кодировании пространственного положения) устанавливают наклон проволоки до 20 — 30 ° к касательной, постепенно увеличивая его до 35 — 40 ° к положению 12^{00}.

В настоящее время освоена технология автоматической сварки порошковой проволокой по ручной подварке корня шва на трубах диаметром 1220 и 1420 мм с заводской разделкой кромок.

При этом автоматизируется сварка основной части сечения шва, трудоемкость которой наиболее велика. Поверхность разделки, а также прилегающие к кромке *внутреннюю и* наружную поверхности труб на ширине *10* мм, зачищают до металлического блеска. Усиление продольных или спиральных швов, примыкающих к разделке кромок на ширину 25 мм, снимают шлифмашинкой до высоты не более 0,5 мм для прохода формирующих ползунов.

Стыки труб собирают с зазорами под ручную сварку, величину которых определяют в зависимости от типа применяемых для сварки корня шва электродов. Корень шва сваривают ручной дуговой сваркой. Толщина корневого шва зависит от толщины стенки свариваемой трубы и должна быть не менее 5 мм, а поверхность его должна быть ровной с плавными переходами к основному металлу без наплывов и крупной чешуи.

Сварку по ручной подварке выполняют на постоянном токе обратной полярности порошковой проволокой диаметром 2,4 мм с вылетом 30 — 50 мм на режимах, приведенных в табл. 3.27.

Таблица 3.27

Режимы автоматической сварки стыков труб порошковыми проволоками диаметром 2,4 мм

Марка проволоки	Толщина стенки трубы, мм	Наименование шва	Сварочный ток, А	Напряжение *на* дуге, В
ПП-АН19	До 16,0 **мм** включительно	Облицовочный	300-500	26-28
	16,1-22	Заполняющий,	260-300	25-27
		Облицовочный	300-350	26-28
	22,1-25	Первый заполняющий,	260-300	25-27
		Второй заполняющий,	280-320	26-28
		Облицовочный	300-350	27-29
ПП-АН24	До **16,0 мм** включительно	Облицовочный	300-400	26-31
	16,1-22	Заполняющий,	280-350	26-28
		Облицовочный	300-400	26-31
ПП-АН24С	22,1-25	Первый заполняющий,	280-350	26-28
		Второй заполняющий	300-400	26-30
		Облицовочный	*300-450*	26-31

Таблица 3.28

Зависимость числа слоев и их толщины при автоматической сварке порошковой проволокой диаметром 2,4 мм от толщины стенки трубы

Наименование слоя	Толщина слоя при толщине трубы, мм						
	<10	10,1-12	12,1-14	14,1-16	**16,1-**19	19,1-22	22,1-25
Корневой (ручная сварка)	5 6 — 7	6 — 7	8 — 9	6 — 7	6—7	6 — 7	
Первый заполняющий (автоматическая сварка)	—	—	—	—	6 — 7	7 — 8	6 — 7
Второй заполняющий (автоматическая сварка)	—	—	—	—	—	—	6
Облицовочный (автоматическая сварка)	5	5 — 6	7 — 8	7 — 8	6	8	6

В зависимости от толщины стенки трубы (табл. 3.28) сварку производят в несколько проходов: при толщине стенки до 16 мм — в один слой, 16 — 22 мм — в два слоя, свыше 22 мм — в три слоя. При ширине разделки более 14 мм электродной проволоке сообщают поперечные колебания с размахом, на 4 — 5 мм меньшим ширины разделки, и частотой 30— 120 Гц в зависимости от скорости сварки. Толщину каждого слоя регулируют высотой входящего в разделку зуба формирующего ползуна. Форма усиления определяется размерами канавки на ползуне для сварки облицовочного слоя. Канавка ползуна для сварки облицовочного слоя должна быть шире разделки на **10— 15** мм.

3.4.2. Оборудование для сварки порошковой проволокой стыков магистральных трубопроводов

Для автоматической сварки неповоротных стыков линейной части трубопроводов диаметром 1220 и 1420 мм порошковой проволокой разработаны комплексы "Стык-1", которые имеют пять исполнений (табл. 3.29).

Сварочные аппараты комплекса, предназначенные для выполнения корневого, заполняющего или облицовочного слоев, не имеют конструктивных различий, а настройка на тот или иной проход выполняется установкой соответствующего формирующего ползуна.

Таблица 3.29

Состав комплекса "Стык" в различном исполнении

Исполнение комплекса	Диаметр трубы, мм	Число единиц оборудования, входящих в комплекс			
		Сварочный агрегат	Центратор	Агрегат питания	Ремонтная мастерская
У2	1420	1	1	1	
01-У2	1220	2	1	1	
02-У2	1420	2	1	2	
03-У2	1220	2	1	2	
04-У2	1420	3	1	3	

Для сварки трубопроводов- наземных сооружений разработан комплекс оборудования "Стык-2". Он предназначен для сварки труб диаметром 530— 1020 мм с толщиной стенки 10 — 25 мм. Конструкция комплекса учитывает условия монтажа наземных сооружений, где свариваемые стыки могут располагаться на различных уровнях строительной площадки, а переместить сварочный аппарат от стыка к стыку не всегда можно с помощью механизмов. Сварочный аппарат комплекса выполнен из отдельных быстросъемных узлов, габариты и вес которых позволяют достаточно быстро монтировать аппарат вручную в зоне радиусом около 50 м, так как аппарат по строительной площадке перемещается от стыка к стыку вручную.

В состав комплекса входит сварочный аппарат, агрегат питания и электростанция мощностью 100 кВА. При наличии на площадке промышленной сети предусмотрен вариант поставки без электростанции.

Комплексы "Стык-Г комплектуют сварочными аппаратами А-1568, а "Стык-2" — АД-142.

Сварочный аппарат А-1568 (рис. 3.43) позволяет сваривать трубопроводы, расположенные на уклонах до 10 °. При сварке труб диаметром 1220 и 1420 мм используется соответствующий направляющий рельсовый путь [24, 28].

Техническая характеристика комплекса "Стык-1"

Сварочный ток (при ПВ 100 %), А	400
Напряжение дуги, В	25 — 29
Скорость, *м/ч:*	
сварки	5 — 20
подачи проволоки	150 — 300
Диаметр проволоки, мм	2,3; 3
Габаритные размеры, мм	4000x2400x3600
Масса (кг) труб диаметром, мм:	
1420	1640
1220	1565

По этому жесткому рельсовому пути перемещаются две сварочные головки. Для защиты оборудования и свариваемого стыка от ветра и осадков имеется сварочная камера *1,* в которой кроме рельсового пути установлены электрический и гидравлический пульты управления. Аппаратный шкаф аппарата размещен в агре-

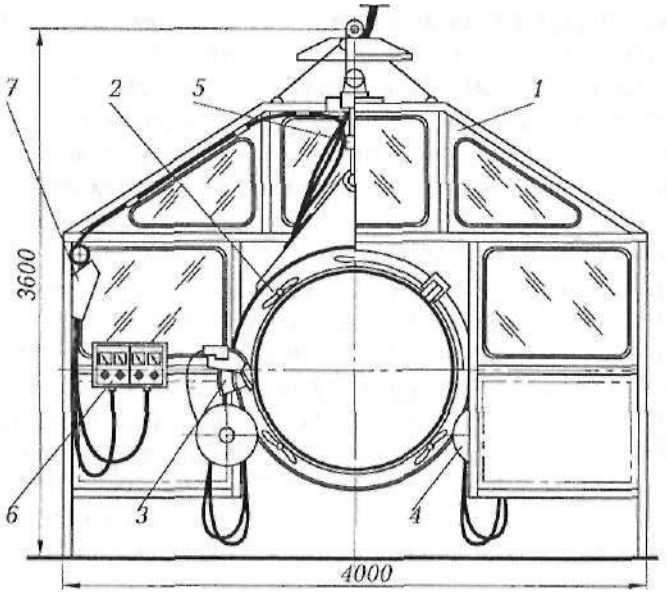


Рис. 3.43. Сварочный аппарат А-1568:
1 — сварочная камора; *2* — рельсовый путь; *3* — головка сварочная левая; *4* — головка сварочная правая; *5* — гидроцилиндр подъема; *6* — общий пульт управления; 7 — пульт-ручка со щитком

гате управления. Аппарат перемещается от стыка к стыку с помощью гидрофицированной грузовой стрелы, к которой он крепится через гидроцилиндр 5, используемый для точной установки аппарата на стык.

Обе сварочные головки аппарата имеют одинаковую конструкцию, но выполнены в зеркальном отображении и состоят из тележки, механизма подачи и механизма прижима ползуна. Тележка имеет плавную регулировку рабочей (5 — 20 м/ч) и маршевой скорости (5—150 м/ч). Связующим звеном между тележкой и подающим механизмом служит механизм прижатия ползуна. Основная деталь — рычаг, на котором установлены дугообразная направляющая с подающим механизмом, и эксцентриковый механизм с пружиной для прижима ползуна. На конце рычага имеется разрезная втулка, в которой крепится держатель ползуна. Втулка позволяет устанавливать ползуны под необходимым углом

к изделию. Рычаг снабжен корректором, с помощью которого электрод и ползун устанавливают на разделку.

Рельсовый путь выполнен в виде С-образных балок коробчатого сечения, соединенных между собой шарниром, размещенным за пределами окружности кольцевого пути. Таким образом, при раскрытии его образуется два разъема. Оба разъема снабжены замковыми устройствами для жесткого соединения С-образных половин кольцевого пути.

Раскрытие и замыкание рельсового пути осуществляют с помощью гидроцилиндра двустороннего действия, расположенного под шарниром. Рельсовый путь крепится на трубе с помощью зажимных устройств, управляемых гидроцилиндрами одностороннего действия. Установка аппарата на стык контролируется четырьмя выдвижными ловителями, размещенными в корпусе рельсового пути. Кроме того, путь крепится в стреле серьгой, которая может перемещаться вдоль вала, что позволяет подвесить сварочный аппарат под необходимым утлом к вертикальной оси в случае расположения трубопровода под уклон.

Для контроля и управления сварочным процессом каждая головка снабжена тремя пультами. На пульте, установленном непосредственно на головке, размещены тумблеры включения источника питания дуги, подачи электродной проволоки, перемещения сварочной головки и механизма колебания электрода. На промежуточном пульте, установленном на стенке сварочной камеры, размещены приборы для контроля и регулирования сварочного напряжения и тока, а также контрольные лампочки, показывающие наличие сварочного напряжения на электроде и охлаждающей жидкости в системе охлаждения ползунов. Для оперативного управления сварочным процессом используется переносной пульт на ручке сварочного щитка. На нем размещены потенциометр для регулирования скорости перемещения тележки, кнопки остановки подачи проволоки, кнопка остановки тележки и кнопка для сообщения тележке максимальной скорости перемещения.

Управление гидросистемой сварочного аппарата осуществляется с гидропульта, установленного на стенке сварочной камеры.

Аппарат обслуживают два сварщика-оператора, в обязанности которых входят установка аппарата на стык, настройка сварочных головок и сварка.

Аппарат АД-142 (рис. 3.44), входящий в состав комплекса "Стык-2", предназначен для сварки большого количества типоразмеров труб при частой перестройке аппарата. Аппарат выполнен из монтируемых узлов и может быть собран на трубе вручную без применения грузоподъемных механизмов. В собранном виде аппарат можно устанавливать с помощью подъемных средств.

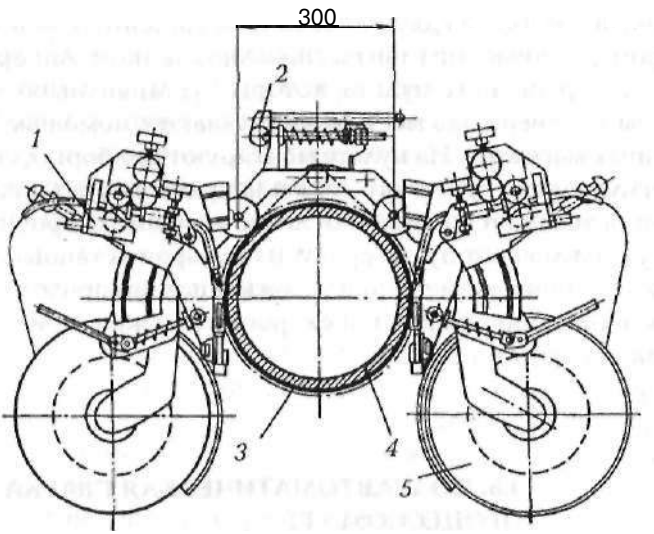


Рис. 3.44. Сварочный аппарат АД-142:
1 — головка сварочная; 2 — тележка; *3* — направляющий пояс и цепь; *4* — труба; 5 — кассета

Техническая характеристика

Номинальное напряжение питающей сети трехфазного переменного тока, В 380
Сварочный ток при ПВ-60 %, А 500
Сварочное напряжение, В . . . . . 25 — 32
Скорость подачи проволоки, м/ч . . . . . 150 — 500
Диаметр электродной проволоки, мм 2; 2,3; 3
Скорость сварки, м/ч . . . . . 3 — 25
Диаметр свариваемых труб, мм . . . . . 530 — 1020

Базовой частью аппарата является тележка, которая перемещается по трубе, охватывая колесами направляющую ленту. Крепится тележка на трубе с помощью двухрядной цепи, установленной на направляющей ленте и проходящей через ведущую звездочку. На тележке установлены две сварочные головки левого и правого исполнения. Она подпружинена с помощью пружинно-рычажного механизма. Используют направляющую ленту, представляющую собой стальную полосу шириной 80 и толщиной 5 мм. Лента состоит из двух половин, соединенных между собой шарниром, другие концы ленты снабжены замком. Аппаратом управляют с переносного пульта, который устанавливают на трубе в удобном для сварщика месте и удерживают с помощью четырех постоянных магнитов. На пульте монтируют приборы для контроля и регулировки сварочного тока и напряжения, а также кнопки включения тележки, правой или левой головок, сварочного тока. К пульту подключают пульт-ручку, на которой установлены кнопки прекращения перемещения тележки, подачи проволоки, кнопка включения форсированной скорости тележки, прибор для регулировки скорости тележки.

3.5. ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКАЯ СВАРКА ТРУБ ПРОЦЕССОМ STT

3.5.1. Технология полуавтоматической сварки труб процессом STT

Область применения. Способ полуавтоматической сварки методом STT предназначен для односторонней полуавтоматической сварки корневого слоя шва неповоротных и поворотных стыков труб проволокой сплошного сечения в среде углекислого газа труб диаметром 325 — 1220 мм с толщинами стенок до 20 мм включительно, а также для сварки всех слоев шва стыков аналогичных диаметров с толщинами стенок до 8 мм включительно [8, 16].

Аббревиатура STT расшифровывается как "Surface Tension Transfer" — это так называемый механизм переноса капли с помо-

щью сил поверхностного натяжения. Он представляет собой одну из разновидностей процесса переноса короткими замыканиями, который реализуется при дуговой сварке в среде защитных газов с одним важным отличием — расплавленный металл переносится за счет сил поверхностного натяжения сварочной ванны, которая втягивает в себя жидкую каплю с конца проволоки. Электромагнитное сжимающее давление при Пинч-эффекте дополнительно помогает капле отделиться, но не является основным механизмом переноса, как это наблюдается при обычной сварке короткими замыканиями. Этот вид переноса позволяет значительно сократить разбрызгивание и дымообразование в отличие от традиционных методов. Процесс прост в использовании, обеспечивает хороший контроль сварочной ванны и позволяет значительно снизить вероятность образования несплавлений. Он не требует от сварщика высокой квалификации для того, чтобы выполнить качественное сварное соединение. Кроме этого, простота процесса STT сокращает время обучения сварщиков.

Компанией Lincoln Electric специально для этого процесса разработан 225-амперный инверторный источник питания Invertec STT II (рис. 3.45), реализующий технологию управления формой сварочного тока. При сварке за счет регулирования определенным способом формы выходного тока (что-то вроде импульсно-дуговой сварки) добиваются вышеуказанных преимуществ. Invertec STT II отличается от обычных сварочных источников. Он не является ни источником с жесткой характеристикой, ни источником с крутопадающей характеристикой. Аппарат имеет обратную связь, которая отслеживает основные этапы переноса капли и мгновенно реагирует на процессы, происходящие между электродом и сварочной ванной, изменяя величину и форму сварочного тока.

Invertec STT II во многом отличается от обычных машин. Основными параметрами сварки STT являются:

скорость подачи сварочной проволоки;

пиковый ток;

базовый ток;

длительность заднего фронта импульса.

Источник не регулирует напряжение дуги. Напряжение, требуемое дугой, автоматически устанавливается самой машиной. Это приводит к тому, что количество тепла, вводимого в сварочн-

Рис. 3.45. Источник питания Invertec STT II

ную ванну, не зависит от скорости подачи проволоки. Помимо этого, улучшаются условия контроля за формированием сварочной ванны. Этап Пинч-эффекта также автоматически контролируется источником.

Процесс STT особо рекомендуется для выполнения корневых швов при сварке труб с зазором, а также для сварки тонколистового металла. Он позволяет сваривать все стали, начиная с простой углеродистой, кончая сплавами с высоким содержанием никеля.

Источник Invertec STT II рекомендуется использовать с механизмами подачи LN-27 при работе на трассе, LN-742 и STT-10 — при сварке в заводских стационарных условиях. Также его можно применять с механизмами подачи LN-7GMA, LN-9GMA и системами автоматической сварки NA-5 и NA-5R.

3.5.2. Сварка корневого шва неповоротных стыков труб

Сварка корневых швов стыков труб традиционно является наиболее сложным этапом при сооружении трубопро-

водов. На этом этапе предъявляются определенные требования к самому процессу сварки. Используя сварку STT, с ее возможностью управлять механизмом переноса и отличным контролем за формированием сварочной ванны, удается значительно облегчить выполнение корневого шва (рис. 3.46).

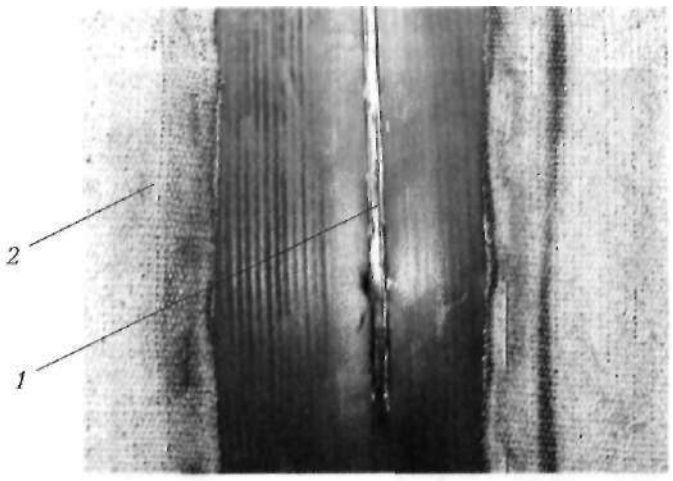


Рис. 3.46. Корневой шов, выполненный процессом STT:
1 — шов; *2* — термозащитный пояс, предохраняющий изоляцию

Режимы сварки процессом STT имеют более широкий диапазон по сравнению с обычной сваркой в среде защитных газов. Если при обычной сварке трубы (заданной марки и типоразмера) для получения качественного соединения используются конкретные значения напряжения дуги и скорости подачи сварочной проволоки (сварочного тока), то процесс STT имеет различные варианты режимов для этих целей. При сварке аппаратом Invertec STT II используют проволоку большего диаметра по сравнению с той, которая применяется при аналогичных работах с источником, имеющим жесткую характеристику.

При сварке труб процессом STT используется стандартная разделка кромок в соответствии со стандартом API (см. рис. 3.51). Однако при использовании данной технологии часто устанавливается увеличенный зазор, составляющий 2,0 — 2,5 мм. Процесс ме-

нее чувствителен к плохой сборке, чем обычные методы сварки.

Вылет электрода составляет 9,5— 15,9 мм. Обычной ошибкой при сварке является слишком большой вылет. Для лучшего контроля за вылетом электрода необходимо, чтобы контактный наконечник выступал от торца сопла сварочной горелки (рис. 3.47, 3.48) на расстоянии 6,4 мм.

Рис. 3.47. Сварочная горелка

Рис. 3.48. Сварка процессом STT

3.5.3. Техника сварки

Полуавтоматическую сварку STT корневого шва неповоротных стыков труб ведут на спуск (рис. 3.49). Процесс начинают в верхней части трубы в положении 12-ти часов. Возбуждение дуги производят на одной из кромок. Затем дугу переносят на противоположную кромку, формируя при этом сварочную ванну. На этом участке трубы сварку осуществляют с дугообразными колебаниями небольшой амплитуды. Дугу следует располагать внутри сварочной ванны в первой 1/4 или 1/3 от ее переднего фронта. Дугу нельзя располагать на передней кромке сварочной ванны. В позициях от 12-ти до 1-го часа сварку производят углом назад. При этом угол наклона электрода составляет 45 °. Совершая дугообразные колебания, не следует задерживаться на кромках трубы. Прямолинейные колебания с кромки на кромку приводят к увеличению проплавления.

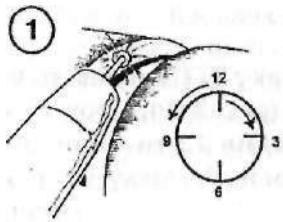
Кажется, что при расположении дуги в сварочной ванне нельзя добиться необходимого проплавления, как это наблюдается при обычной полуавтоматической сварке в защитных газах, где увеличение проплавления происходит при размещении дуги на передней кромке ванны. Однако при сварке STT большая глубина проплавления достигается, если дуга горит внутри сварочной ванны.

С позиции 1-го часа амплитуду колебаний можно уменьшить и затем совсем прекратить их, продолжая двигаться вдоль стыка и располагая дугу внутри сварочной ванны в первой трети от ее переднего фронта. Угол наклона электрода на этом участке уменьшают на 10°.

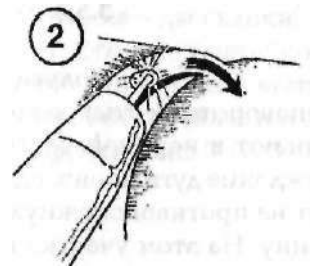
В позиции 4:30 — 5:00 колебания можно возобновить и увеличить угол наклона электрода. Это зависит от зазора и притупления свариваемых кромок. При прекращении сварки прерывается дуга на одной из кромок. По внешнему виду наплавленного валика можно судить о необходимости корректировки сварочных параметров.

Существуют различные комбинации величин пикового и базового тока, которые позволяют получить необходимую форму корневого шва. Увеличение разбрызгивания наблюдается при слишком низком значении пикового тока.

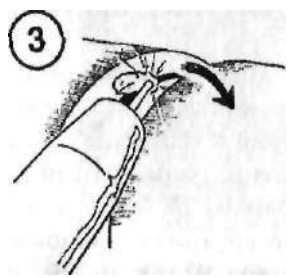
При сборке соединения необходимо, чтобы начало и конец каждой прихватки были сошлифованы для обеспечения плавного

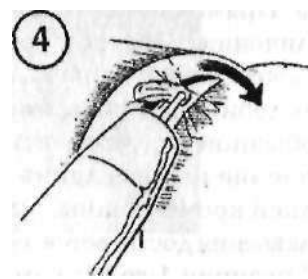


Возбуждение дуги производят на кромке трубы

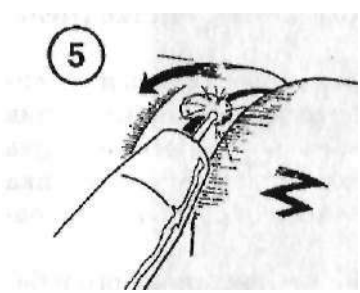


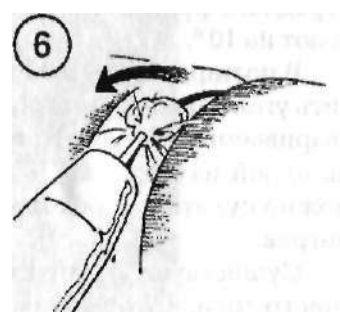
После формирования сварочной ванны нужно перенести ее на середину стыка, удерживая дугу в ее передней части





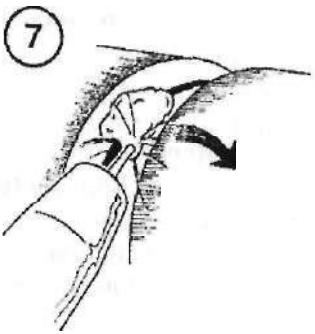
Как только сварочная ванна пересекла зазор стыка, необходимо перенести ее на противоположную кромку





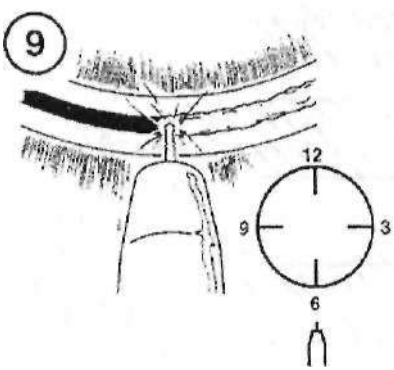
Сварку углом назад на спуск производят с небольшими дугообразными колебаниями с кромки на кромку

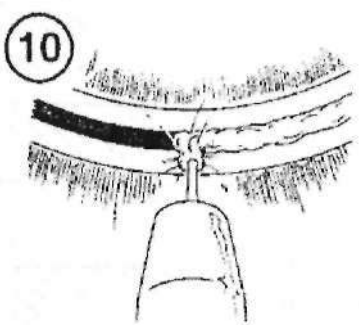
Рис. 3.49. Техника сварки корневого шва неповоротных



С позиции 12^{00} до 1^{00} сварку осуществляют с колебаниями

В позиции I^{00} колебания прекращают. Располагая дугу в передней части сварочной ванны, с позиции 1^{00} до 5^{00}, сварку производят без колебаний. При необходимости с 5^{00} до $б^{00}$ колебания возобновляют





В позициях с 5^{00}-6^{00} сварочную горелку располагают перпендикулярно поверхности трубы

В позиции $б^{00}$, прекращая процесс сварки, необходимо вывести дугу на одну из кромок и оборвать ее. Нельзя останавливать процесс на самом шве, так как это может привести к образованию поверхностной пористости

стыков трубопроводов (методом STT)

перехода от корневого шва к прихватке. Данный процесс не позволяет проплавить прихватку.

3.5.4. Влияние различных сварочных параметров процесса STT на форму корневого шва

При заданной скорости подачи сварочной проволоки форму корневого шва (наружный и обратный валик) можно независимо контролировать.

Пиковый ток управляет длиной сварочной дуги, которая влияет на форму корневого шва (рис. 3.50). Базовый ток регулирует общее тепловложение, которое влияет на форму обратного валика.

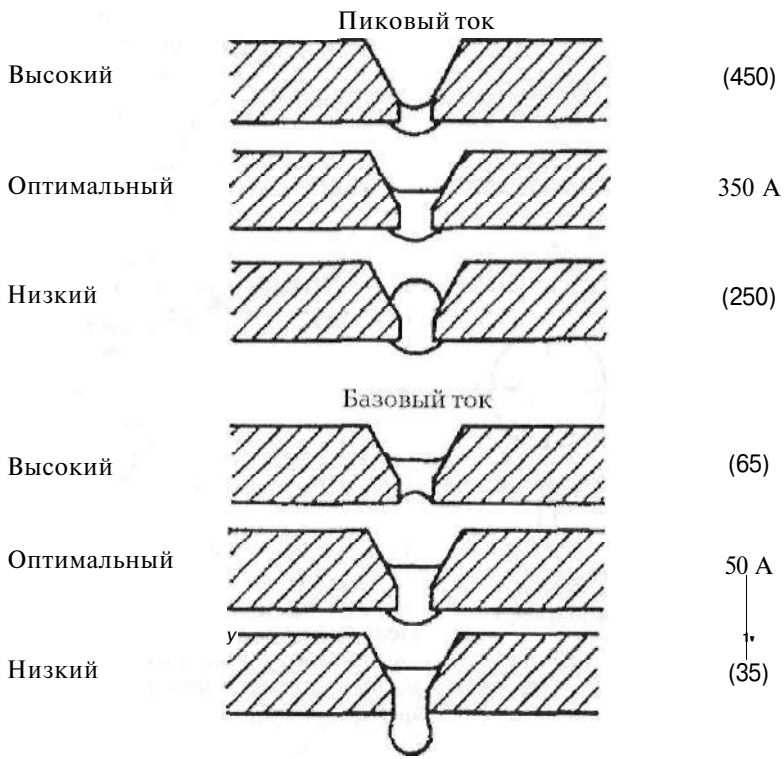


Рис. 3.50. Влияние различных сварочных параметров процесса STT на форму корневого шва

Регулировка длительности заднего фронта импульса "TAILOUT" — это дополнительная регулировка тепловыделений на дуге. В большинстве случаев при сварке корневых швов регулятор "TAILOUT" устанавливают **в** позицию "О".

При выполнении прихватки возбуждение дуги производят на одной из кромок. Затем дугу переносят на противоположную кромку, формируя при этом сварочную ванну. Прихватку выполняют требуемой длины. Прерывание дуги обязательно производят на одной из кромок, а не в зазоре.

Начало и конец каждой прихватки необходимо сошлифовать, чтобы обеспечить плавный переход от корневого шва к прихватке. Процесс STT не позволяет полностью проплавить прихватку.

В процессе сварки корневого шва при заходе и выходе с прихватки колебания прекращают, чтобы обеспечить хорошее сплавление.

3.5.5. Основные сварочные параметры

Скорость подачи сварочной проволоки — влияет на скорость наплавки. Более высокая скорость подачи предопределяет более высокую скорость сварки.

Пиковый ток — управляет длиной дуги и формой наплавленного валика. Увеличение пикового тока приводит к увеличению длины дуги и формированию более плоской внешней поверхности шва. Высокие значения пикового тока могут привести к образованию вогнутой поверхности. Величина пикового тока обычно выше базового и лежит в диапазоне от 250 до 400 А.

Базовый ток — определяет общее тепловложение и форму обратного валика. Если базовый ток очень высокий, то в верхней части трубы будет наблюдаться чрезмерное проплавление, а в потолочном положении — провал. Значение базового тока ниже пикового и составляет 25 — 100 А.

Горячий старт — регулирует время действия стартового тока, превышающего на 25 — 50 % установленное значение, для облегчения зажигания и компенсации влияния на процесс холодной детали. Шкала регулятора стартового тока проградуирована до 10. Максимальное значение шкалы соответствует четырем секундам.

Длительность заднего фронта импульса — с увеличением

длительности заднего фронта импульса увеличивается тепло, вводимое в сварочную ванну, при этом длина дуги не меняется. Это особенно рекомендуется при сварке высоколегированными проволоками из нержавеющих сталей. При увеличении данного параметра необходимо понизить базовый и/или пиковый ток, чтобы выдержать необходимую форму наплавленного валика. На рис. 3.51 показана рекомендуемая разделка кромок для сварки процессом STT.

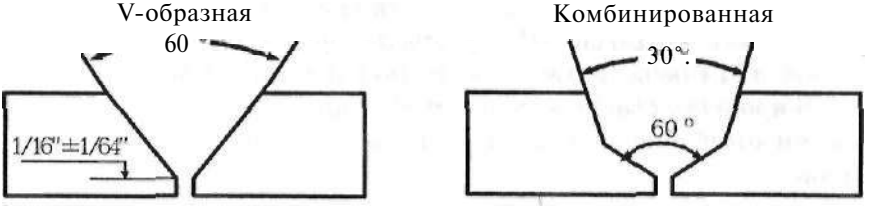


Рис. 3.51. Разделка кромок для сварки процессом STT

Расход газа — расход газа в данном процессе обычно ниже, чем при обычной сварке в среде защитных газов, так как размер ванны меньше.

Типичные режимы сварки корневого шва для трубы с толщиной стенки 5/16" (7,9 мм) и более следующие:

Диаметр сварочной проволоки	0,045" (1,1 мм)
Тип сварочной проволоки	L-56
Защитный газ	100 % CO_2
Расход газа	12 л/мин
Скорость подачи	140 дюйм/мин
Пиковый ток	350 А
Базовый ток	50 А
Величина TAILOUT	0
Зазор	3/32" (2,4 мм)
Притупление	1/16" (1,6 мм)

Сварку STT относит к так называемым "холодным" процессам. Общее количество тепла, выделяемое дугой, значительно ниже, чем при обычной полуавтоматической сварке в среде защитных газов. Однако это не приводит к образованию таких дефектов, как несплавления, потому, что маленький размер сварочной ванны

не позволяет ей убежать, и она постоянно находится под контролем сварщика.

Высокий расход газа может значительно охладить сварочную ванну. Обычно он составляет 12 л/мин. Расход газа увеличивают в том случае, если сварку производят в полевых условиях при ветровых нагрузках или когда контактный наконечник выступает от торца сопла на расстоянии более 6,4 мм.

Рекомендуемые режимы сварки корневого шва на спуск представлены в табл. 3.30. Рекомендуется использовать проволоку типа L-56 диаметром 0,045" (1,2 мм) и защитный газ — CO_2.

Таблица 3.30

Рекомендуемые режимы сварки корневого шва на спуск

Скорость подачи проволоки, дюйм/мин	**Пиковый** ток, А	Базовый ток, А	Вылет электрода, **мм**	Скорость сварки, м/мин	Расход газа, л/мин
120	370	25	6,4	0,20-0,23	12
140	350	50	6,4	0,23-0,25	12
170	400	55	6,4	0,28-0,30	12

При использовании в качестве защитного газа смесей аргона необходимо уменьшить пиковый ток и увеличить базовый.

В качестве защитного газа при сварке углеродистых сталей используется 100 % CO_2. Могут быть использованы также различные смеси аргона. Однако большое содержание аргона в этих смесях приводит к струйному переносу.

Сварку нержавеющих сталей ведут в среде :

1. 90% He — 7,5 %Ar — 2,5%CO_2;
2. 55 % He — 42,5 % Ar — 2,5 % CO_2;
3. 98 % Ar — 2 % O_2 или 96 % Ar — 4 % CO_2.

Если применяются смеси аргона, то сила пикового тока значительно ниже, чем при использовании чистого CO_2.

В основном сварка корневых швов процессом STT ведется на спуск. Кроме этого, возможна сварка на подъем. При этом процесс проходит на низких скоростях подачи и характеризуется невысокой производительностью.

Заполняющие и облицовочные слои могут быть также выпол-

нены с помощью STT. Однако низкие скорости наплавки замедляют процесс сварки.

Технология сварки неповоротных стыков трубопроводов может иметь различные варианты. Один из них: корневой шов — полуавтоматическая сварка STT; заполняющие и облицовочные швы — полуавтоматическая сварка порошковой самозащитной проволокой Innershield NR-207.

Все перечисленные режимы сварки носят рекомендательный характер. В реальных условиях с учетом индивидуальных особенностей сварной конструкции они могут быть другими. Если форма, размеры и качество выполненного шва удовлетворяют установленным требованиям и высока производительность процесса, значит, режим выбран правильно.

Рекомендуемые режимы сварки труб из углеродистой стали с толщиной стенки трубы 3/8" (9,5 мм) с использованием проволоки типа L-56 диаметром 0,045" (1,1 мм), защитного газа — 100 % CO_2 с расходом 12 л/мин представлены в табл. 3.31.

Таблица 3.31

Режимы сварки для труб из углеродистой стали

Шов	Скорость подачи проволоки дюйм/мин	Пиковый ток, А	Базовый ток, А	Скорость сварки, м/мин	Расстояние от торца контактного наконечника до изделия, мм	Средняя величина сварочного тока, А	Длительность заднего фронта импульса
Корневой; сварка на спуск	120	370	25	0,20-0,23	6,4	200	0
Корневой; сварка на подъем	75	275	40	0,08-0,10	6,4	130	0
Заполняющий; сварка на подъем	120	370	50	0,08	6,4	210	0
Облицовочпый; сварка на подъем	120	370	50	0,08	6,4	210	0

Рекомендуемые режимы сварки для труб из нержавеющей стали с толщиной стенки трубы 3/8" (9,5 мм) с использованием нержавеющей проволоки диаметром 0,045" (1,1 мм), защитного газа — 98 % Ar + 2 % O_2 с расходом газа 12 л/мин следующие:

Шов	Корневой; сварка на спуск
Скорость подачи проволоки, дюйм/мин	140
Пиковый ток, А	225
Базовый ток, А	90
Скорость сварки, м/мин	0,23 — 0,25
Расстояние от торца контактного наконечника до изделия, мм	6,4
Среднее значение сварочного тока, А	160
Длительность заднего фронта импульса	7

Рекомендуемые режимы сварки для труб из нержавеющей стали с толщиной стенки трубы — 1/8" (3,2 мм), с использованием нержавеющей проволоки диаметром 0,035" (0,9 мм), защитного газа — 90 % He + 7,5 % Ar + 7,5 CO_2 (98 % Ar + 2 % O_2 — с более холодной сварочной ванной) и расходом газа — 12 л/мин:

Шов	Однопроходная сварка
Скорость подачи проволоки дюйм/мин	180
Пиковый ток, А	220
Базовый ток, А	56/65
Скорость сварки, м/мин	0,20 — 0,30
Расстояние от торца контактного наконечника до изделия, мм	6,4
Среднее значение сварочного тока, А	150
Длительность заднего фронта импульса	3/6

Сварка STT порошковой проволокой. Как уже было отмечено, процесс STT является одной из разновидностей сварки в защитных газах в режиме коротких замыканий. Если при сварке порошковой проволокой происходит струйный перенос металла, то это не означает, что источник STT нельзя использовать для этих целей. На самом деле сварка может быть осуществлена, но это уже

будет не процесс STT. При этом наблюдается значительное снижение вариаций сварочных параметром для получения шва требуемой формы, *размеров* и качества.

Сварка оцинкованных труб. Трубы с толстым цинковым покрытием (например, гальванизированные) гораздо лучше сваривать с помощью **STT,** чем обычной сваркой в среде защитных газов. Это возможно благодаря тому, что в процессе STT дуга концентрируется в довольно узкой зоне и сварочная ванна, имеющая небольшие размеры, не выходит вперед дуги. При обычном процессе ванна расплавленного металла забегает вперед дуги и захватывает часть оцинкованной поверхности. Цинк начинает испаряться со дна сварочной ванны и выходить на ее поверхность. Если ванна затвердеет перед тем, как все пузырьки цинка выйдут наружу (это исключается при сварке на очень низких скоростях), *то* это приведет к образованию пор. Иногда поры видны на внешней поверхности шва (вырывы), но обычно (особенно на угловых швах таврового соединения) их трудно обнаружить визуально.

В процессе сварки STT ванна, меньшая по размеру, локализована вокруг дуги и при этом происходит прожигание цинкового слоя с помощью дуги вместо его расплавления сварочной ванной. Объем расплавленной стали в сварочной ванне — небольшой.

Влияние входного напряжения на сварочные параметры процесса STT. Время реакции источника, или, другими словами, время, требуемое для изменения сварочного тока с одного значения на другое, для Invertec STT II измеряется в микросекундах. Это во много раз меньше времени реакции обычных сварочных источников питания трансформаторного типа с тиристорным управлением.

На передней панели источника представлена упрощенная форма сварочного тока. Передний и задний фронт пикового импульса представлены в виде прямых. На самом же деле они имеют некоторую кривизну, величина которой зависит от времени реакции источника.

Время реакции (или $dI_{св}/dt$) является функцией *входного* напряжения. При уменьшении входного напряжения оно увеличивается. В связи с этим, если входное напряжение ниже 460 В, то необходимо поднять пиковый ток $I_п$, чтобы компенсировать влияние низкого напряжения сети питания. Повышение $I_п$ приводит к уве-

личению скорости возрастания сварочного тока $/_{св}$. При этом форма пикового импульса становится более острой, чтобы компенсировать его пологую форму при низком входном напряжении.

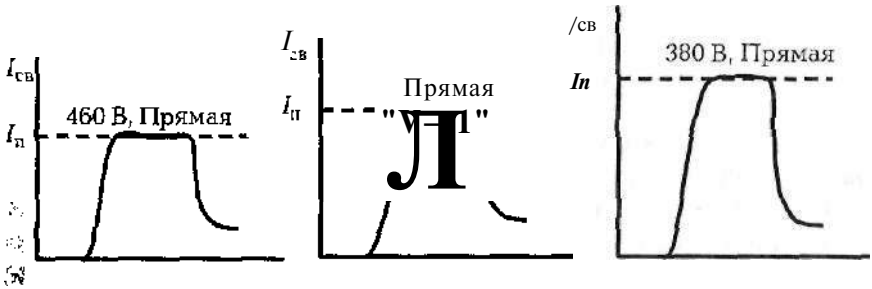


Рис. 3.52. Влияние входного напряжения на сварочные параметры процесса STT

Кроме этого, увеличение пикового тока приводит к повышению тепловложений в изделие, чтобы возместить то тепло, которое теряется при пологой форме пикового импульса. Длительность пикового импульса следует измерять от момента, при котором сварочный ток начинает увеличиваться, а не тогда, когда он достигает пикового значения.

График, представленный на рис. 3.53, показывает, насколько следует увеличить пиковый ток при уменьшении входного напряжения.

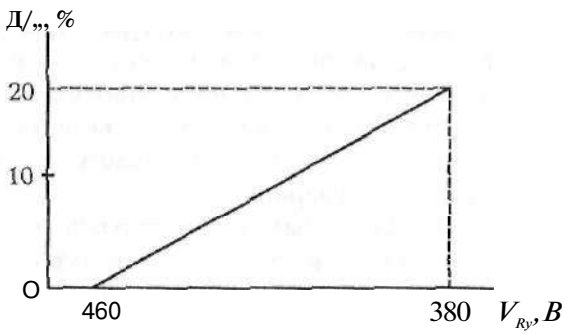


Рис. 3.53. Зависимость увеличения значения пикового тока от уменьшения входного напряжения

3.6. АВТОМАТИЧЕСКАЯ СВАРКА ТРУБ В СРЕДЕ ЗАЩИТНЫХ ГАЗОВ КОМПЛЕКСОМ CRC-Evans AW

3.6.1. Технология автоматической сварки труб комплексом CRC-Evans AW

Область применения. Система автоматической сварки "CRC-Evans AW" предназначена для двусторонней сварки неповоротных стыков труб диаметром 630— 1420 мм. В ней реализован процесс сварки тонкой электродной проволокой сплошного сечения в среде защитных газов. Конструкция и состав оборудования обеспечивают комплексное решение автоматизации сварки неповоротных стыков линейной части магистральных нефтепроводов, основанное на следующих технологических подходах [8, 16]:

повышение производительности сварки за счет уменьшения объема наплавленного металла при использовании специальной узкой разделки и сборки без зазора кромок в сочетании с повышенным коэффициентом наплавки при сварке тонкой электродной проволокой;

использование быстродействующего пневматического центратора и сокращение времени сборки стыка, так как нет необходимости устанавливать зазор;

сокращение времени сварки корня шва за счет применения многоголовочного сварочного автомата;

обеспечение высокого темпа производства работ на трассе магистрального трубопровода за счет высокой скорости сварки и совмещения сварки корневого шва и "горячего" прохода;

компенсация неточностей сборки, обеспечение гарантируемого *качества* корневого слоя и всего шва в целом за счет применения процесса двусторонней сварки.

В 1968 г. фирмой CRC-Evans была впервые разработана система для автоматической сварки трубопроводов, которая имеет ряд значительных преимуществ по сравнению с ручной дуговой сваркой:

высокий коэффициент наплавки;

снижение объема наплавляемого металла;

качественные и стабильные показатели по механическим

свойствам и неразрушающему контролю;

уменьшение зависимости качества сварки от ошибок оператора;

снижение физической нагрузки на сварщика/оператора;

возможность быстрого обучения операторов;

снижение объемов используемого оборудования и рабочей силы для сварки труб большого диаметра с большой толщиной стенки.

Эти преимущества привели к использованию автоматического сварочного оборудования CRC-Evans при сооружении более 45 000 километров трубопроводов по всему миру. Диаметр труб варьировался от 400 до 1520 мм с толщиной стенки до и более 50 мм. Система была апробирована в экстремальных природных условиях: при температурах до — 40 °С на Аляске, в Канаде и России; в субтропическом климате Мексики и Венесуэлы; в пустынях Техаса, Ирана и Саудовской Аравии; при оффшорном строительстве в Мексиканском заливе, Северном море и Индийском океане.

Система автоматической сварки CRC-Evans является специально разработанной системой для двусторонней сварки неповоротных стыков труб при сооружении линейной части магистральных трубопроводов в среде защитного газа проволокой малого диаметра.

Трубы должны быть изготовлены в соответствии с требованиями API, стандарт 5L. Согласно стандарту API требуется, чтобы кромки трубы имели фаску в 30 ° и 1,6-мм зазор со стороны корня шва (рис. 3.54). Подобная конфигурация разделки имеет ряд недостатков в случае использования автоматической сварки.

Во-первых, если труба не имеет идеально круглой формы, режущий инструмент вызывает вариации по толщине притупления кромки со стороны корня шва.

Во-вторых, внутренний центратор, используемый в большинстве случаев при сварке трубопроводов, может выровнять кромки трубы по окружности, исказив при этом исходную плоскую поверхность среза разделки. Эти два фактора, как правило, не вызывают каких-либо особых сложностей при ручной сварке, однако они могут привести к серьезным проблемам при применении автоматической сварки в защитном газе.

Третьим недостатком API-разделки является просто ее неэкономичность по причине большого объема металла шва, необходи-

Рис. 3.54. Подготовка кромок для сварки с использованием системы CRC-Evans в сравнении со стандартной заводской разделкой

мого для ее заполнения. Даже при использовании ручной дуговой сварки для труб с большой толщиной стенки зачастую применяют модифицированную разделку с целью уменьшения объема наплавляемого металла.

Недостатки стандартной разделки API устраняются при автоматической системе сварки. CRC-Evans добивается этого путем использования новой комбинированной конфигурации разделки, которая производится машинной обработкой торцов труб. При этом гарантируется абсолютная перпендикулярность кромки по отношению к оси трубы. Торцы трубы выравниваются по окружности идентично тому, как они будут выглядеть при использова-

нии центратора. Таким образом, достигается практически идеальная сборка стыка для сварки. Подобная новая конфигурация разделки требует значительно меньшего количества металла шва для ее заполнения. Эффект экономии сварочного материала увеличивается с ростом толщины стенки трубы.

Сварку производят в режиме короткого замыкания. Другими признаками системы являются отсутствие зазора при сборке стыка и сварка корня шва с внутренней стороны трубы. Совокупность этих факторов повышает скорость и качество сварки следующим образом:

отсутствие зазора при сварке уменьшает количество необходимого металла шва, сокращает время на сборку стыка и практически исключает прожог при сварке;

сварка корня изнутри существенно уменьшает влияние неточностей при сборке стыка и, как следствие, предотвращает внутренний подрез. Это также позволяет выполнять сварку "горячего" прохода практически одновременно со сваркой корня, что увеличивает скорость сварки и обеспечивает формирование прочного соединения при удалении внутреннего центратора.

3.6.2. Оборудование сварочного комплекса CRC-Evans AW

Комплекс "CRC-Evans AW" состоит из следующих основных единиц оборудования:

станков для обработки кромок труб под специальную разделку;

внутренней кольцевой пропановой горелки для предварительного подогрева концов труб;

установки внутренней сварки (для сварки изнутри трубы), представляющей собой самоходный внутренний центратор с многоголовочным сварочным автоматом, встроенным между рядами жимков;

агрегата энергообеспечения установки внутренней сварки;

автоматов наружной сварки с направляющими поясами;

агрегатов энергообеспечения постов наружной сварки с защитными палатками;

передвижной мастерской для наладки и ремонта оборудования и хранения запасных частей;

вспомогательного оборудования.

Станок для обработки кромок трубы (pipe facing machine — PFM) (рис. **3.55,** 3.56) используют для изготовления комбинированной фаски трубы с постоянной и высокой точностью. Станок состоит из двух основных частей: зажимной секции и секции механической обработки. Зажимная секция включает в себя два набора башмаков с гидравлическим приводом, которые связаны таким образом, что могут раздвигаться одновременно и равномерно. Башмаки обеспечивают фиксацию станка по отношению к трубе. Башмаки также выравнивают концы трубы по окружности и гарантируют идеальную перпендикулярность станка по отношению к оси трубы.

Секция механической обработки PFM состоит из вращающейся наружной платформы и гидравлического мотора, связанного с гидравлической системой. Радиальные консоли, на которых закреплены режущие головки, смонтированы на наружной платформе и позволяют путем использования до 6-ти карбидных резцов обрабатывать практически любую конфигурацию фаски. Наружная платформа вращается и подается внутрь трубы с помощью гидравлического мотора. Энергия для PFM поступает от дизельного или электрического двигателя, который приводит в движение гидравлический узел питания.

Обычно используют две PFM. Каждая машина подвешена на трубоукладчике и имеет свой собственный гидравлический блок питания. Операция по обработке фаски занимает, как правило, 2 — 5 мим в зависимости от толщины стенки и квалификации оператора. Обслуживающий персонал состоит из PFM-оператора и машиниста трубоукладчика. Подсобный рабочий необходим при обработке кромок труб большого диаметра.

Операция по обработке кромки начинается тогда, когда зажимная секция PFM вставляется внутрь трубы до тех пор, пока кромка трубы не коснется конических ведущих роликов на радиальных консолях. Оба набора башмаков затем раздвигаются для фиксации машины в трубе. Наружная платформа начинает вращаться и быстро продвигается в сторону торца трубы до тех пор, пока режущие головки не дойдут на расстояние примерно 6 мм от торца. Затем производится подача в режущем режиме до окончания обработки новой фаски. Вращение наружной платформы прекращается, и она подается в обратном направлении до осво-

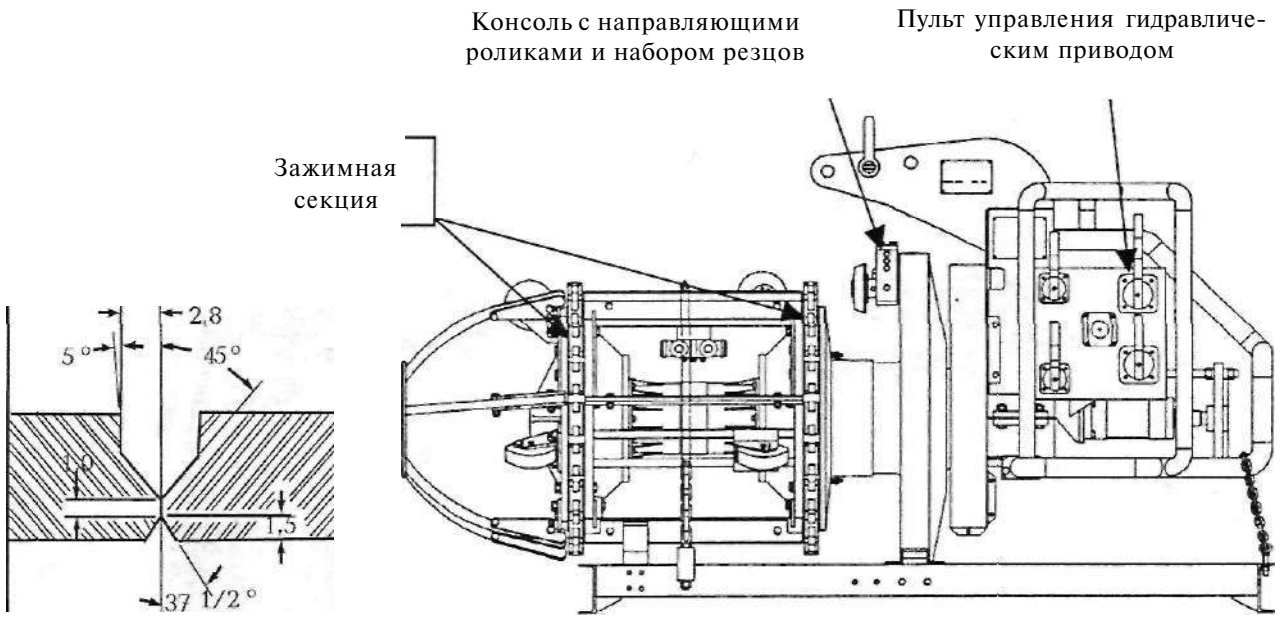


Рис. 3.55. Станок для обработки кромок труб (схема) и форма разделки кромок

а

б

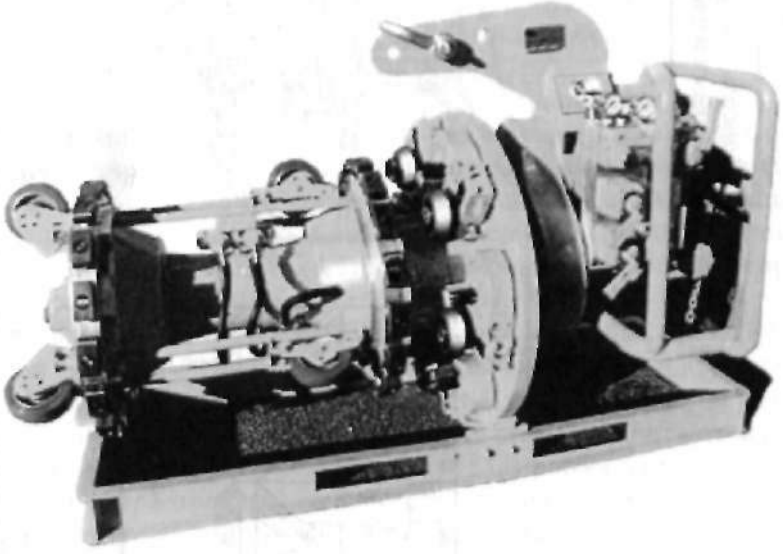


Рис. 3.56. Станок для обработки кромок труб (PFM):
а — в рабочем режиме; *б* -~ внешний вид

бождения радиальных консолей. Зажимные башмаки затем возвращаются в исходное положение, и машина перемещается к следующему торцу трубы.

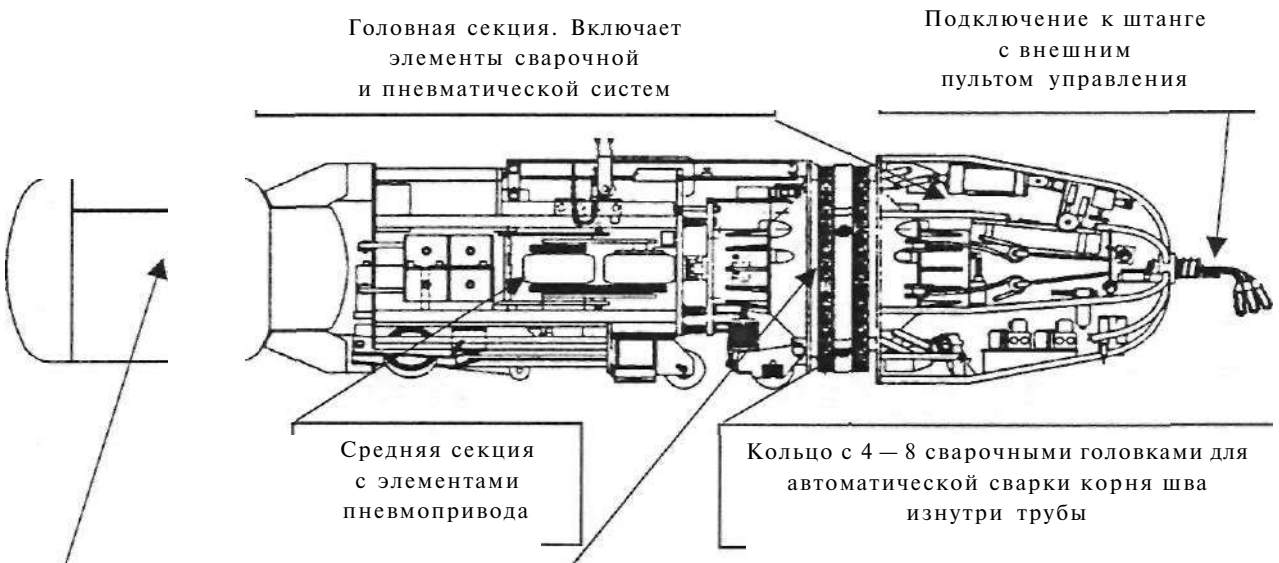
Внутренний центратор/сварочная станция (Internal Welder) (рис. 3.57, 3.58). Этот узел соединяет два конца трубы, фиксирует их и производит автоматическую сварку корня шва изнутри. Зажимная секция состоит из трех центрирующих элементов и двух наборов зажимных башмаков, все с пневматическим приводом. Сварочные головки расположены между двумя рядами зажимных башмаков таким образом, что в раздвинутом состоянии центрирующие элементы находятся в плоскости вращения сварочных головок.

В процессе сборки внутренний центратор/сварочная станция точно устанавливается относительно торца трубы путем раздвижения всех трех центрирующих элементов и прижатия их к кромке. Затем первый набор зажимных башмаков раздвигается внутри конца трубы и фиксирует машину на месте. Центрирующие элементы затем возвращаются в исходное положение, и следующая секция трубы устанавливается на свое место с кромками, тесно прижатыми к первому концу трубы. Затем второй набор зажимных башмаков раздвигается, завершая, таким образом, точную сборку стыка. После этого начинается сварка корня шва.

Сварочная секция машины состоит из 2-х, 4-х или 6-ти сварочных головок, смонтированных симметрично относительно вращающегося кольца, которое приводится в движение электрическим 24-вольтовым мотором. Для труб диаметром от 24 до 38 дюймов применяются 4 сварочные головки, для труб от 40 до 60 дюймов — 6 сварочных головок. Каждая сварочная головка включает катушку массой 1,47 кг со сварочной проволокой диаметром 0,9 мм, мотор для подачи проволоки, сварочный наконечник и керамический конус для подачи защитного газа. Помимо этого, имеются два щитка для защиты от сварочных брызг с целью предотвратить блокировку подачи газа и повреждение механических частей. В качестве защитного газа применяется смесь 75 % Ar + 25 % CO_2.

Скорость подачи проволоки обычно составляет около 9,14 м/мин, сварочные катушки требуют замены после выполнения 24 — 45 швов в зависимости от диаметра трубы.

В процессе сварки машина с 4-мя сварочными головками начинает сварку двумя головками в позициях 12^{00} и 3^{00}, если смот-


Головная секция. Включает элементы сварочной и пневматической систем
Подключение к штанге с внешним пультом управления
Средняя секция с элементами пневмопривода
Кольцо с 4 — 8 сварочными головками для автоматической сварки корня шва изнутри трубы
Ресивер со сжатым воздухом
Зажимная секция. Включает элементы, обеспечивающие сборку и фиксацию стыка

а

б

Рис. 3.58. Внутренний центратор/сварочная станция:
а — вид сверху; *б* — вид с торца трубы

реть с открытого конца трубы. Эти головки производят сварку в направлении "сверху вниз" со скоростью 760 мм/мин до позиции 3^{00} и 6^{00} соответственно. Одновременно другие головки перемещаются в позиции 12^{00} и 9^{00}. Когда первые две головки заканчивают сварку, вторые две начинают сварку с 12^{00} до 9^{00} и с 9^{00} до 6^{00} соответственно. Процесс сварки на машине с шестью головками аналогичен, причем три головки производят сварку одновременно.

Внутренним центратором/сварочной станцией управляют с контрольного блока на конце приводной штанги. Энергию для сварки и сжатый воздух также поставляют через приводную штангу. Энергия, необходимая для подачи проволоки и вращения головок, поступает от аккумуляторов, установленных непосредственно на станции. Защитный газ также подают из баллонов, установленных на сварочном тракторе. После завершения сварки корневого шва зажимные башмаки возвращаются в исходное положение и внутренний центратор/сварочная станция самостоятельно перемещается внутри трубы и автоматически останавливается у открытого конца. При сварке на барже возможно применение приводной лебедки для увеличения скорости операции. При сварке на суше система перемещается при помощи электродвигателя, питаемого от аккумуляторных батарей.

Аппараты для наружной сварки (External Welders) (рис. 3.59, 3.60), использующиеся в системе CRC-Evans, могут быть в трех базовых конфигурациях: для сварки "горячего" прохода, заполняющих слоев и облицовочного слоя. Аппараты различаются по скорости сварки и форме наконечников.

Аппараты перемещаются по 120-мм ленте из пружинной стали, которая фиксируется на трубе перед началом сварки стыка. Лента размещается на расстоянии 95 мм от плоскости, в которой расположен корень разделки и устанавливается точно по окружности с помощью специального шаблона, который затем удаляется.

Каждый сварочный аппарат имеет три части: тележку для перемещения по трубе, контрольный пульт управления и сварочную секцию. Тележка состоит из шарнирного основания, которое может быть отрегулировано под конкретный диаметр трубы, 24-вольтового мотора с редуктором и эксцентрикового зажимного механизма для установки аппарата на ленте. Помимо этого, имеются три ведомых и одно ведущее колесо с насечкой, которое прижимается к краю ленты и обеспечивает перемещение аппара-

та по окружности.

Контрольный пульт управления отвечает за электронный контроль работы сварочного аппарата. Существуют четыре легко заменяемые электронные печатные платы для контроля скорости сварки, скорости подачи проволоки, частоты колебаний горелки и задержки выключения подачи проволоки и защитного газа. Реле задержки позволяет обеспечить подачу проволоки и защитного газа в течение некоторого времени после прекращения перемещения аппарата для заварки кратера в конце сварного шва. Для каждой функции также существует отдельная кнопка на панели управления.

Сварочная секция аппарата состоит из сварочной горелки, мотора подачи проволоки, мотора и редуктора для осцилляции, сопла для подачи защитного газа и катушки сварочной проволоки (диаметром 0,9 мм) массой 2,72 кг. Имеется также механизм для регулировки амплитуды колебаний. Аппараты для "горячего" прохода, как правило, не имеют механизма колебаний. В качестве защитного газа обычно используется $C0_2$, а при сварке облицовочного шва обычно применяется смесь 75 % Аг + 25 % $C0_2$.

Наружные сварочные аппараты используют в парах. Каждый аппарат осуществляет сварку половины сварочного шва от позиции 12^{00} до 6^{00}, один в направлении по часовой стрелке (CW), другой против часовой стрелки (CCW). Аппараты для "горячего" прохода перемещаются обычно со скоростью 1,0— 1,27 м/мин и начинают сварку до окончания сварки корня шва. CW-аппарат начинает сварку в позиции 12^{00} после того, как был сварен достаточный участок корня шва для предотвращения перекрытия. CCW-аппарат заканчивает сварку "горячего" прохода, также начиная свое движение от позиции 12^{00}.

Аппараты для сварки заполняющих слоев стартуют одновременно; однако они не начинают сварку с одной позиции. Обычно для первого заполняющего слоя CCW-аппарат выполняет сварку от позиции 12^{00} до позиции 6^{00}. Одновременно CW-аппарат начинает сварку в позиции 3^{00} и выполняет сварку до позиции 6^{00}; после этого оператор возвращает его обратно в позицию 12^{00} и завершает сварку в позиции 3^{00}. Стартовые позиции меняются поочередно для каждого слоя с целью предотвращения перекрытия стартовых и конечных точек в вертикальном положении.

На трубе с толщиной стенки более 8 мм один заполняю-

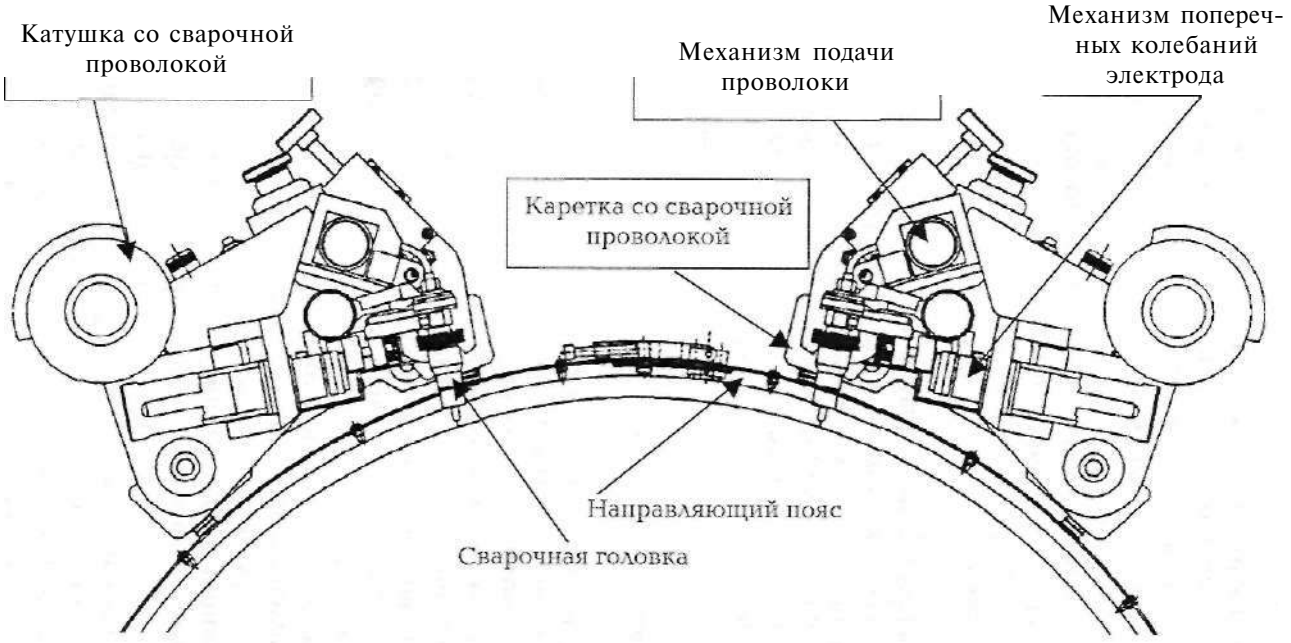
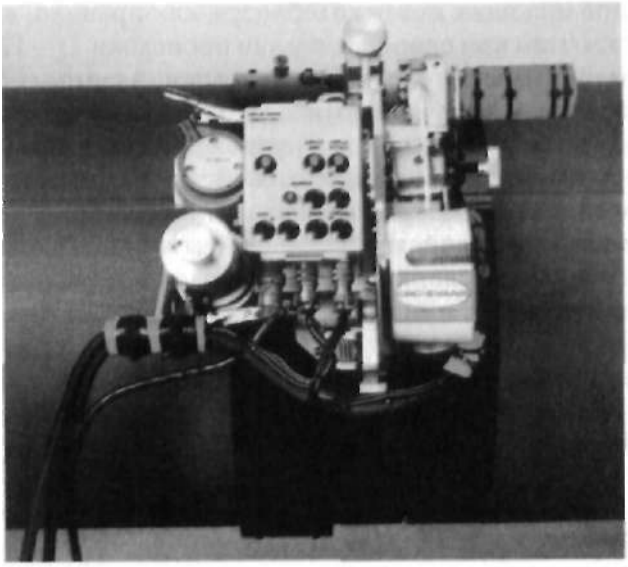


Рис. 3.59. Наружный сварочный аппарат CRC-Evans (схема)



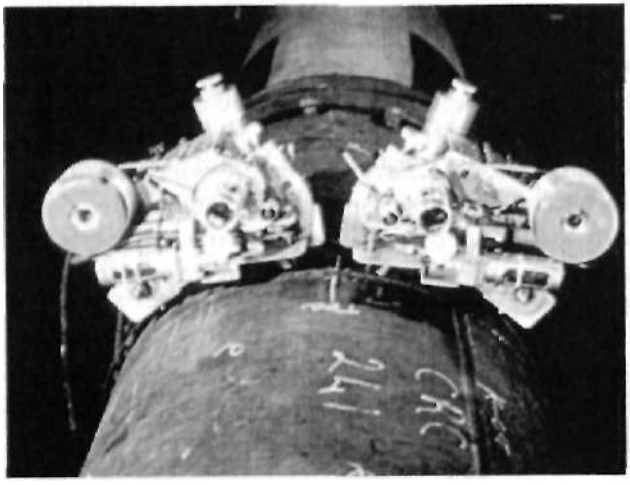


Рис. 3. 60. Наружный сварочный аппарат CRC-Evans (внешний вид):
а — вид сбоку; *б* — **вид с** торца трубы

щий шов необходим обычно для каждых 3,2 мм стенки. Скорость сварки заполняющих слоев колеблется, как правило, в пределах 330 — 380 мм/мин при скорости подачи проволоки 11 — 17 м/мин.

Использование автоматической сварки для выполнения кольцевых швов трубопроводов позволяет добиться значительно лучших результатов по сравнению с ручной дуговой сваркой. Это касается, прежде всего, физических свойств соединения, качества формирования шва и показателей радиографического контроля.

Механические свойства в большой степени зависят от параметров процедуры сварки, типа проволоки и защитного газа, *но,* прежде всего, от типа и химического состава свариваемой трубы.

Механические свойства сварного соединения при сварке труб, изготовленных в соответствии со стандартом API 5LX, выглядят следующим образом:

Предел прочности:	620 — 690 МПа, металл шва
Предел текучести:	545 — 615 МПа, металл шва
Ударная вязкость по Шарпи, — 20 °С:	80 Дж, центральная линия шва
CTOD-TOCT, — 20 °С:	1,5 мм • мин, центральная линия шва
Твердость HV 10 кг:	230 — 250 — в корневой зоне; 230 — 260 — в зоне облицовочного слоя

Сварочная проволока. Химический состав, физические свойства и параметры свариваемости проволоки, используемой и поставляемой фирмой CRC-Evans, разрабатывали в течение многих лет. Перед намоткой на катушки сварочная проволока проходит тщательный контроль со стороны производителя и фирмы CRC-Evans. Намотку производят на катушки массой 1,47 кг и 2,71 кг при контролируемых рядности, скручиваемости и натяжении для обеспечения качества сварки.

CRC-Evans использует сварочную проволоку диаметром 0,9 мм для всех операций сварки. Как правило, используется проволока в соответствии со стандартом WS ER70 S-6, которая имеет следующий типичный химический состав:

С	0,07-0,15%
Мп	1,40-1,85%
Si	0,80-1,15%

P. . . . . .0,025 % max
S. . . . . .0,035 % max

Производительность сварки. Сварка является ключевой операцией при строительстве трубопроводов, и время, необходимое для завершения строительства, напрямую зависит от скорости выполнения сварочных работ. На производительность сварки могут также влиять другие факторы, например подготовка трассы, раскладка труб, перемещение оборудования, длительность контроля качества и т. д.

Время на перемещения оборудования — это время между окончанием сварки корневого шва на одном стыке и началом сварки корневого шва на. следующем. Время одного цикла сварки — это время на перемещение оборудования плюс время, необходимое для сварки шва. Производительность сварки для наземных трубопроводов может достигать 16—18 стыков в час в зависимости от диаметра трубы. Данная производительность достигается при выполнении следующих условий:

внутренний центратор освобождается и передвигается к следующему стыку сразу после окончания сварки корня шва;

время на перемещение оборудования составляет приблизительно 2 мин;

две сварочные станции используют для каждого заполняющего слоя и три станции — для облицовочного слоя с целью поддержания одинакового темпа на всех операциях.

Реальные цифры, основанные на практическом опыте сварки в трассовых условиях, как правило, колеблются в пределах от 8 до 15 стыков в час.

Для укладки морских трубопроводов применяют трубоукладочные баржи, которые находятся в работе 24 ч в сутки и имеют дополнительные сварочные станции. Из-за высокой стоимости аренды трубопроводных барж главным условием строительства морских трубопроводов считается необходимость укладки трубопроводов в максимально возможном темпе. Основным способом соединения труб является автоматическая сварка.

Производительность сварки при укладке морских трубопроводов с использованием системы CRC-Evans составляет 190 — 215 стыков в сутки. Данную производительность достигают при

Рис. 3.61. Колонна автоматической сварки CRC-Evans

выполнении следующих условий:

толщина стенки трубы — до 18 мм, т. е. не более трех заполняющих слоев;

трубоукладочная баржа имеет пять сварочных станций;

используются единичные трубы длиной до 12 м;

эффективность работы баржи (без учета времени на сварку) составляет 80 %;

время на укладку трубы — 2,5 мин;

количество стыков, подлежащих ремонту, составляет не более 4 %.

3.7. ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКАЯ СВАРКА САМОЗАЩИТНОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ ТИПА ИННЕРШИЛД

3.7.1. Технология полуавтоматической сварки самозащитной порошковой проволокой типа Иннершилд

Область применения. Способ полуавтоматической сварки самозащитной проволокой Иннершилд предназначен для сварки заполняющих и облицовочного слоев шва неповоротных и поворотных стыков труб диаметром 325— 1220 мм с толщинами стенок 6 — 20 мм включительно **[8, 16].**

Сварочные материалы. Порошковая проволока — сварочный материал, представляющий собой стальную оболочку, заполненную порошкообразным наполнителем. Это как бы электрод, вывернутый наизнанку. Но при этом электрод бесконечной длины.

В состав наполнителя порошковой проволоки входят следующие компоненты:

газообразующие — обеспечивают защиту расплавленных капель и сварочной ванны от азота и кислорода воздуха (мрамор, целлюлоза и карбонаты Ca, Na, Mg);

шлакообразующие — соединения, образующие шлаковую защиту (рутиловыи концентрат, флюоритовыи концентрат, алюмосиликаты),

раскислители — участвуют в металлургических процессах,

протекающих в сварочной ванне, обеспечивая металлургическое качество сварного шва (ферромарганец, ферротитан);

металлические составляющие — повышают производительность наплавки (металлический порошок, соединения железа).

Для сварки газо-, нефтепроводов могут применяться только специальные самозащитные порошковые проволоки производства фирмы "Линкольн Электрик" (США).

Марку самозащитной порошковой проволоки выбирают в зависимости от прочностного класса свариваемых труб:

для сварки стыков труб из сталей с нормативным пределом прочности до 530 МПа включительно применяется самозащитная порошковая проволока марки NR-207 диаметром 1,7 мм;

для сварки стыков труб из сталей с нормативным пределом прочности от 540 до 590 МПа включительно применяется самозащитная порошковая проволока марки (NR-208H диаметром 1,7 мм и 2,0 мм.

Обе марки проволоки аттестованы в установленном порядке и допущены для сварки стыков труб газо-, нефтепроводов различного диаметра и толщин стенок.

Порошковая проволока, поставляемая для *использования* в трассовых условиях, должна быть упакована в герметичные полиэтиленовые ведра. В каждом ведре находится по четыре катушки весом 6,3 кг.

Преимущества *процесса. Способ сварки самозащитной* порошковой проволокой имеет следующие особенности, обусловливающие его преимущества перед ручной дуговой сваркой покрытыми электродами:

высокая линейная скорость сварки (14 — 20 м/ч по сравнению с 4 — 8 м/ч для электродов с основным видом покрытия);

возможность форсировать режим сварки например, при использовании проволоки диаметром 1,98 мм повышается производительность наплавки на 50 — 75 % по сравнению с ручной дуговой сваркой электродами с основным видом покрытия диаметром 4,0 мм, для которых производительность наплавки составляет 1,4-1,5 кг/ч;

более высокая эффективность работы сварщика в связи с отсутствием необходимости останавливать процесс сварки для смены электродов;

низкий процент ремонта сварных швов за счет возможности

выплавить дефекты, используя характерную для способа высокую плотность тока;

возможность осуществления сварки при сильном ветре за счет особой системы защиты капель расплавленного металла и ванны;

устранение значительного количества дефектов, обычно образующихся при обрыве и зажигании дуги при частой смене электрода;

отсутствие необходимости сушки проволоки перед использованием;

возможность использования способа для сварки захлестов и при специальных сварочных работах;

техника сварки порошковой проволокой достаточно проста, и срок обучения сварщиков составляет 10 — 20 дней.

Некоторые недостатки, возникающие при сварке порошковой проволокой:

процесс сварки проволокой Иннершилд происходит на высоком токе (230 — 300 А) и сопровождается достаточно большим разбрызгиванием. При этом капли имеют высокую температуру. В связи с этим при сварке проволокой типа Иннершилд (в особенности для проволоки диаметром 2,0 мм) необходимо использование специальной одежды (кожаные костюмы) и масок (фиброметалл).

проволока имеет гигиенический сертификат, однако процесс сопровождается повышенным аэрозолевыделением.

Самозащитная порошковая проволока может быть использована в составе следующих комбинированных **технологических вариантов сварки:**

сварка корневого слоя электродами с основным видом покрытия и всех последующих слоев проволокой типа Иннершилд;

сварка корневого слоя шва и "горячего" прохода электродами с целлюлозным видом покрытия и всех последующих слоев проволокой типа Иннершилд;

сварка корневого слоя шва электродами с целлюлозным видом покрытия, "горячего" прохода и всех последующих слоев проволокой типа Иннершилд;

сварка корневого слоя шва полуавтоматической сваркой в среде углекислого газа методом STT и всех последующих слоев проволокой типа Иннершилд.

При сварке согласно первому технологическому варианту корневой слой шва должен выполняться электродами типа Э50А (Е7016) диаметром 2,5 — 3,25 мм марок ЛБ-52У, Линкольн 16П, Феникс К50Р Мод, ОК 53.70 и др.

При сварке согласно второму и третьему технологическим вариантам корневой слой шва выполняется электродами типа Э42 — Э50 (Е6010-Е7010) диаметром 3,2-4,0 мм марок Флитвелд5П + , Пайпвелд 6010, Фоке Цель и др.

При сварке согласно четвертому технологическому варианту корневой слой шва выполняется проволокой сплошного сечения марки L-56 диаметром 1,14 мм.

Сварку "горячего" прохода допускается выполнять как электродами с целлюлозным видом покрытия (второй технологический вариант сварки), так и проволокой типа Иннершилд (третий технологический вариант сварки).

В процессе работы с использованием самозащитной порошковой проволоки следует учитывать следующие технологические особенности:

корневой слой шва выполняется электродами с основным или целлюлозным видами покрытия. В случае использования для сварки корневого слоя шва электродов с целлюлозным видом покрытия "горячий" проход выполняется либо также электродами с целлюлозным видом покрытия, либо порошковой проволокой. Более предпочтительным с точки зрения обеспечения бездефектной сварки является вариант выполнения "горячего" прохода порошковой проволокой (за счет более высоких значений плотности тока и, соответственно, эффективного удаления шлака из "карманов"). Однако при сварке труб большого диаметра данная технология экономически мало оправдана из-за того, что требует затрат на приобретение дополнительных комплектов оборудования и обучения *звена,* выполняющего корневой слой шва, как технике сварки порошковой проволокой, так и технике сварки электродами с целлюлозным видом покрытия;

перед выполнением первого слоя порошковой проволокой необходимо тщательно (до чистого металла) зачистить абразивным кругом (толщиной 3 — 4 мм) предварительно сваренный электродами корневой слой шва или "горячий" проход;

процесс сварки порошковой проволокой во всех случаях выполняется на постоянном токе прямой полярности;

б

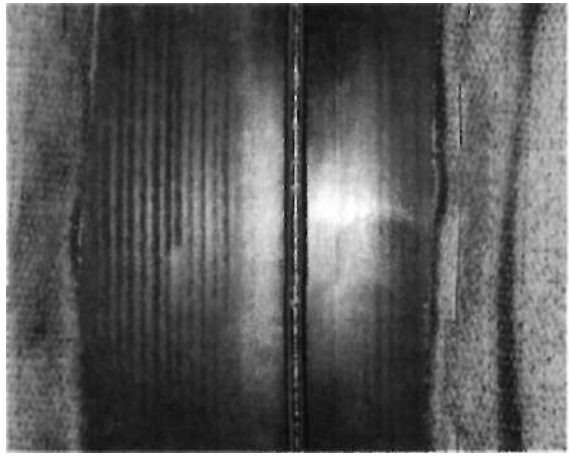


Рис. 3.62. Сварка проволокой Иннершилд:
а — процесс сварки; *б* — форма шва, полученная при сварке

направление сварки — на спуск ;

начинать сварку следует всегда при вылете проволоки 12 — 15 мм (рис. 3.63). При этом срез проволоки слегка соприкасается **с трубой** или немного приподнят **над** ее поверхностью. **После** зажигания дуги вылет электрода (проволоки) должен быть увеличен до 20 мм. В потолочном положении рекомендуется увеличить

m

Вылет электрода

у Длина дуги

Рис. 3.63. Определение вылета проволоки

вылет электрода до 25 — 30 мм;

уменьшение вылета проволоки менее рекомендуемой величины приводит к появлению пористости, а увеличение — к недостаточному разогреву конца проволоки, вследствие чего она начинает "стучать" по трубе; процесс сварки становится нестабильным;

угол наклона электрода постоянно меняется в процессе сварки (рис. 3.64):

в точке начала сварки (O^{00}) угол должен составлять 20 — 30 градусов;

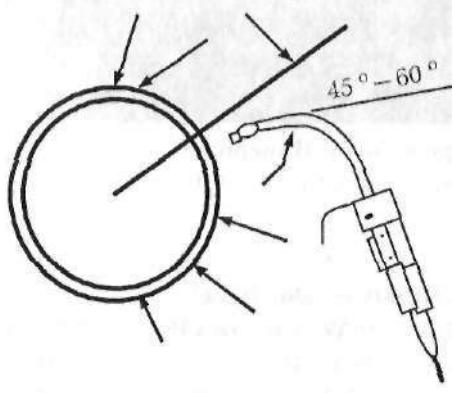


Рис. 3.64. Изменение угла наклона проволоки при движении по периметру трубы

при движении от $О^{00}$ до $З^{00}$ угол постепенно увеличивается до 45 — 50 градусов;

от $З^{00}$ до 5^{00} угол постепенно доводится до 0 градусов (перпендикулярно телу трубы);

от 5^{00} до $б^{00}$ угол доводят до 10—15 градусов "углом вперед".

При изменении угла наклона в *некоторой* степени *можно* контролировать степень проплавления. При уменьшении угла степень проплавления увеличивается, при увеличении угла — уменьшается.

В случае сварки труб с толщинами стенок до 12 мм используют традиционный для ручной дуговой сварки порядок заполнения разделки, при котором каждый слой шва выполняется за один проход. Рекомендуемая техника — прямое движение без поперечных колебаний либо с небольшими поперечными колебаниями.

Рис. 3.65. Схема заполнения разделки труб с толщиной до 12 мм со стандартным 30-градусным скосом кромок

Для труб с толщинами более 12 мм используют следующий порядок заполнения разделки:

два первых заполняющих слоя выполняют по принципу "слой за один проход";

при сварке всех последующих слоев для обеспечения сбалансированного заполнения разделки применяют технику наложения перекрывающих валиков. При этом формирование слоя происходит за два прохода за счет перекрывающих друг друга валиков. Можно применять небольшие поперечные колебания для обеспечения более плавного перехода шва к основному металлу;

облицовочный слой выполняют за два —три прохода (в зависимости от толщины стенки и ширины раскрытия разделки).

Допускается выполнение облицовочного слоя за один проход для труб с толщинами стенок до 16 мм, однако при толщинах стен-

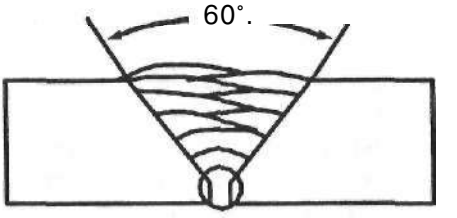


Рис. 3.66. Схема заполнения разделки труб с толщиной более 12 мм со стандартным 30-градусным скосом кромок

ки 14 — 16 мм ухудшается внешний вид шва и могут образоваться подрезы облицовочного слоя.

При комбинированной (двускосой) разделке техника сварки и порядок заполнения разделки не имеет больших отличий по сравнению со сваркой труб толщиной более 12 мм со стандартным 30-градусным скосом кромок. Для третьего и последующих заполняющих и облицовочных проходов также рекомендуется техника наложения перекрывающихся валиков, что облегчает процесс сварки и позволяет получить оптимальные механические свойства сварного соединения и наиболее благоприятную форму облицовочного слоя.

В связи с большой линейной скоростью сварки и особенностью формирования сварного шва в вертикальной плоскости перед выполнением облицовочного слоя в положении $1^{00} - 5^{00}$ ($2^{00} - 4^{00}$) выполняют дополнительный (корректирующий) слой. Корректирующий слой позволяет обеспечить равномерность заполнения разделки перед наложением облицовочного слоя (слоев). Расположение и количество корректирующих слоев зависит от толщины

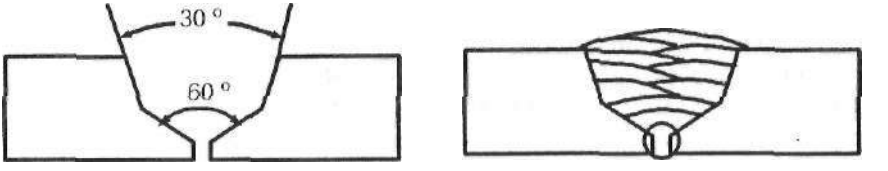


Рис. 3.67. Схема заполнения разделки труб с двускосой разделкой кромок

стенки трубы и особенностей заполнения разделки каждым сварщиком.

Для формирования лучшей формы облицовочного валика рекомендуется некоторое "недозаполнение" разделки перед его наложением в нижнем и потолочном положениях. При этом в вертикальном положении разделка должна быть заполнена практически заподлицо с основным металлом.

Ориентировочное количество слоев (проходов) при сварке труб различной толщины приведено в табл. 3.32.

Количество корректирующих проходов зависит от диаметра трубы и техники сварки. Обычно, если выполняется меньшее количество корректирующих проходов, то число заполняющих увеличивается. Общее количество проходов остается при этом примерно тем же. Если общее количество проходов значительно больше или меньше указанного в таблице значения, то следует проверить и откорректировать технику сварки и последовательность наложения швов. Наиболее часто встречаемая ошибка — выполнение слишком больших по сечению швов (валиков).

При работе в потолочном положении может возникнуть необходимость в некотором понижении скорости подачи проволоки. Это можно сделать без остановки процесса сварки переключателем, расположенным на рукоятке горелки. При этом скорость подачи проволоки понизится на 15 — 20 %.

Скорость сварки следует отрегулировать так, чтобы поддерживать соответствующую форму слоя (валика) и контролировать сварочную ванну. Низкая скорость может привести к повышенному разбрызгиванию сварочной ванны, возникновению пористости и шлаковых включений.

Межслойная температура должна составлять не менее 50 °С и не более 200 °С. В случае понижения межслойной температуры возникает вероятность неблагоприятных металлургических структур (что сказывается на механических свойствах металла шва), а в случае превышения межслойной температуры ванна перегревается выше критической температуры и "закипает" с образованием многочисленных сотовых пор. Самый оптимальный уровень межслойной температуры — 120— 150 °С.

В случае рестарта (возобновления процесса сварки) сварка начинается с верхней части предварительно очищенного от шлака кратера, который заполняется с малыми колебаниями электрода,

со
ел

Таблица 3.32

Ориентировочное количество слоев при сварке труб различной толщины

Толщина стенки трубы, мм	Корневой шов	Горячий проход	Заполняющие проходы: Слой за один проход	Заполняющие проходы: Слой за несколько проходов	Корректирующие проходы между поз 2°° — 4°°	Облицовочные проходы	Общее количество проходов в поз. О°°^^ и 2°°-6°°	Общее количество проходов в поз. 3°°
Сварка проволокой NR-207 0 1,7 мм								
5,0							**3**	**3**
6,5					**1**	**1**	**3**	**4**
8,0			**1**		—	**1**	**4**	**4**
10,0			**1-2**		**1**	**1**	**4-5**	**5-6**
12,0			**2-3**		**1**	**1-2**	**5-6**	**6-7**
Сварка проволокой NR-208H 0 2,0 мм								
12,0			**2**	—	**1**	**1**	**5**	**6**
14,0			**2**	**2**	**1-2**	**1-2**	**7-8**	**8-9**
16,0			**2**	**4**	**2**	**2**	**10**	**12**
18,5			**2**	**6**	**1-2**	**3**	**13**	**14-15**
22,0			**2**	**8**	**1-2**	**3**	**15**	**16-17**

Примечание. Количество заполняющих и корректирующих проходов зависит от параметров разделки кромок (величины притупления, зазора и угла скоса кромок).

и после этого сварка продолжается с нужной скоростью.

Ремонт стыков, сваренных самозащитной порошковой проволокой, осуществляется электродами с основным видом покрытия.

При сварке проволокой типа Иннершилд необходимо использовать специальную одежду.

3.7.2. Оборудование и режимы сварки проволокой типа Иннершилд

Перед началом работ необходимо на механизме подачи сварочной проволоки установить два параметра сварочного процесса — напряжение и скорость подачи проволоки. При этом следует учитывать, что регулятор скорости подачи проволоки отградуирован в американских единицах измерения скорости — дюймах в минуту.

В каждом конкретном случае разрабатывается конкретная технология сварки в зависимости от диаметра, толщины стенки и вида слоя. При этом сочетания параметров выбираются в соответствии с табл. 3.33 и 3.34.

Таблица 3.33

Выбор режима сварки проволокой типа Иннершилд

Марка проволоки; диаметр	Скорость подачи проволоки, дюйм/мин	значения Напряжение дуги, В	Сварочный ток, А	Коэффициент наплавки, кг/ч
NR-207, NR-208H; 1,7 мм; прямая полярность	80	17	195	1,3
	90	18	205	1,4
	100	19	220	1,6
	110	20	230	1,7
	120	21	245	1,8
NR-208H; 2,0 мм; прямая полярность	70	17	205	1,5
	80	18	225	1,8
	90	19	245	1,9
	100	20	255	2,1
	ПО	21	275	2,3
	120	22	290	2,5
	130	23	300	2,6

Таблица 3.34

Параметры режимов при сварке проволокой Иннершилд

Слой	Марка проволоки			
	NR-207 и NR-208S диаметром 1,7 мм		NR-208S диаметром 2,0 мм	
	Скорость подачи проволоки, дюйм/мин	Напряжение, В	Скорость подачи проволоки, дюйм/мин	Напряжение, В
"Горячий" проход	90	18	90	19
	100	19	100	20
	ПО	20		
Заполняющий	90	18	90	19
	100	19	100	20
	ПО	20	ПО	21
	120	21	120	22
			130	23
Облицовочный	80	17	80	18
	90	18	90	19
	100	19	100	20

Специализированный комплект оборудования для сварки самозащитной порошковой проволокой, разработанный и выпускаемый фирмой Lincoln Electric, включает следующее:

специальный источник сварочного тока — Idealarc DC-400, Invertec V350-PRO, Invertec V300-I, SAM-400 и источники типа Commander различных модификаций;

адаптер модели K350 или K350-1;

механизм подачи порошковой проволоки LN-23P;

сварочную горелку K345 со шлангом и кабелями.

3.8. СВАРКА ЗАХЛЕСТОВ И РАЗНОТОЛЩИННЫХ СОЕДИНЕНИЙ

3.8.1. Сварка захлестов

Сварку захлесточных стыков для ликвидации технологических разрывов можно производить при следующих

условиях:

оба конца стыкуемых участков трубопровода (плетей) свободны (не засыпаны грунтом) и имеют свободу перемещений в вертикальной и горизонтальной плоскостях;

конец одного из стыкуемых участков трубопровода имеет свободу перемещений в вертикальной и горизонтальной плоскостях, а второй защемлен (например, подходит к крановому узлу, соединен с патрубком запорной арматуры, засыпан грунтом и др.);

оба конца соединяемых участков трубопровода защемлены, но оси соединяемых участков совпадают в пределах, обеспечивающих выполнение захлестов без образования косого стыка [2, 16, 18].

В первых двух случаях соединение участков трубопровода может осуществляться сваркой одного кольцевого захлесточного стыка или вваркой катушки с выполнением двух кольцевых стыков. В третьем случае ликвидацию технологического разрыва производят путем вварки катушки с выполнением двух кольцевых стыков.

Для удобного монтажа (рис. 3.68) захлеста следует оставлять не'засыпанными концы стыкуемых участков трубопровода на расстоянии 50 — 60 м в обе стороны от места сварки захлесточного стыка. В месте сварки захлесточного стыка должен быть подготовлен приямок, размеры которого назначаются из условия удобного проведения работ по сварке, контролю и изоляции стыка.

При сборке захлесточного стыка обязательно применение наружного звенного центратора.

Подготовку концов труб к сборке захлесточного стыка рекомендуется выполнять в следующем порядке:

торец одного из стыкуемых участков трубопровода подготавливают под сварку и укладывают на опоры высотой 50 — 60 см по оси трубопровода. На торце без закрепления устанавливают наружный центратор;

конец второго стыкуемого участка трубопровода вывешивают рядом с первым и производят разметку места реза с помощью шаблона для обеспечения перпендикулярности плоскости реза оси трубопровода;

производят газовую резку размеченного участка и последующую зачистку торца механизированным абразивным инструментом;

производят сборку стыка с помощью наружного центратора.

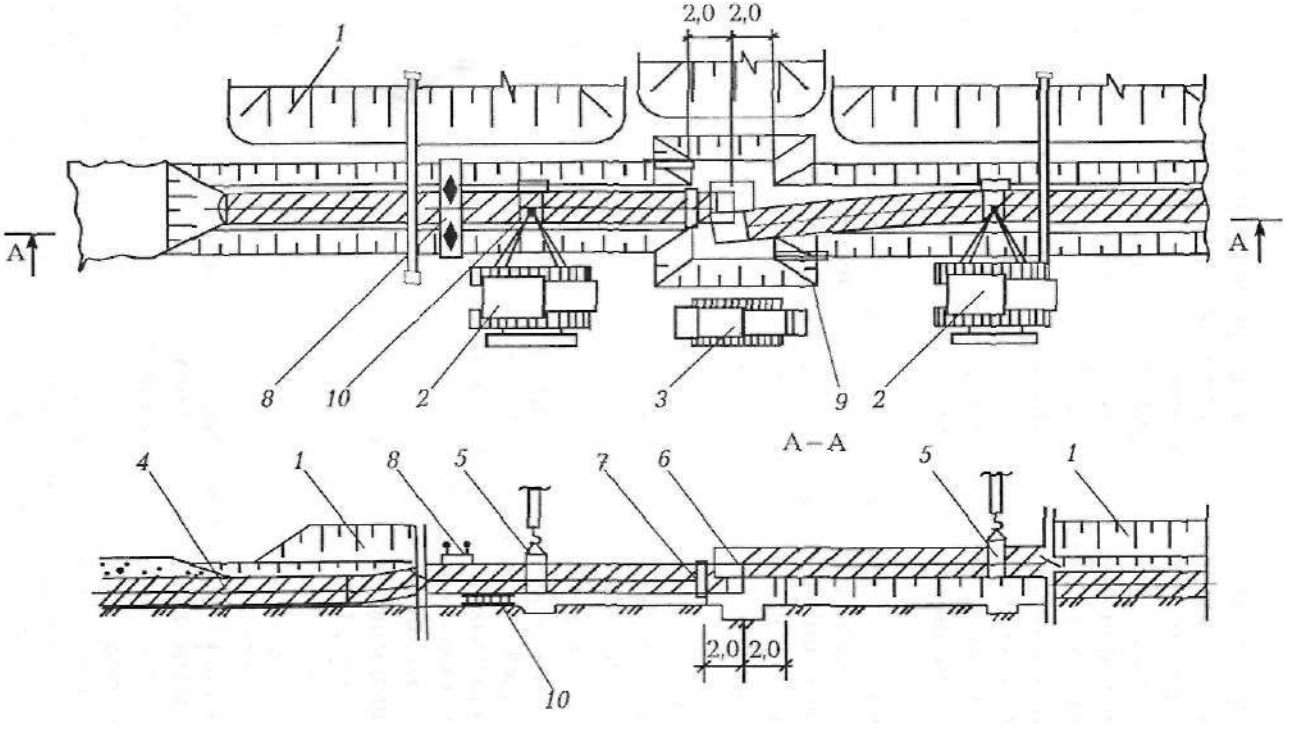


Рис. 3.68. Схема производства работ при монтаже и сварке трубопровода на захлестах:
1 — отвал грунта; 2 — трубоукладчик; *3* — установка сварочная; *4* ~ плеть трубопровода; 5 — полотенце мягкое; *6* — линия реза; 7 — центратор наружный; *8* — переходный мостик; *9* — лестница приставная; *10* — опора инвентарная

В процессе сборки совмещение осей стыкуемых участков трубопровода производится путем манипуляций стрелой трубоукладчика **в** вертикальной и горизонтальной плоскостях, при этом высота подъема обрезанного участка не должна превышать 1,5 м на расстоянии 50 — 60 м от торца;

в процессе сборки устанавливают зазор в стыке (см. рис. 3.69), регламентированный операционной технологической картой. Для фиксации сборочного зазора допускается установка прихваток. В процессе сварки корневого шва прихватки должны быть полностью удалены;

Рис. 3.69. Установка зазора

для повышения качества сборки рекомендуется собирать стык с зазором на 0,5— 1,0 мм меньше рекомендуемого операционной технологической картой с последующим сквозным калиброванным пропилом зазора шлифовальным кругом толщиной 2,5 — 3,0;

в случае необходимости в процессе сборки допускаются перемещения в горизонтальной и вертикальной плоскостях торцов обоих стыкуемых участков.

Подготовку труб к сборке при вварке катушки рекомендуется выполнять в следующем порядке:

соединяемые концы труб обрезают и подготавливают под сварку;

изготавливают катушку требуемой длины из трубы тех же размеров и марки стали, что и соединяемые трубы;

пристыковывают катушку к концу одной из плетей и производят сборку стыка с применением наружного центратора;

после сварки стыка производят сборку второго (захлесточного) стыка с помощью наружного центратора;

длина вваривaемой катушки, должна быть не менее 1,5 D_u.

В процессе монтажа захлесточного стыка запрещается для установки требуемого зазора или обеспечения соосности труб натягивать или изгибать трубы силовыми механизмами, а также нагревать за пределами зоны сварного стыка. В процессе сварки захлесточного стыка запрещается производить изменения параметров монтажной схемы, зафиксированной к моменту завершения сборки. Опускание приподнятого при монтаже участка (участков) трубопровода разрешается только после окончания сварки стыка. Сварку захлесточных стыков следует выполнять без перерывов. Сварные соединения запрещается оставлять незаконченными. Сварку захлесточных стыков должны выполнять не менее двух сварщиков.

Работы по ликвидации технологических разрывов следует выполнять, как правило, в светлое время дня при минимальной среднесуточной температуре. Монтаж захлесточных стыков следует выполнять в присутствии инженерно-технических работников. На проведенные работы составляется акт установленной формы. Сварка разнотолщинных труб при монтаже захлестов не допускается. Контроль стыков захлестов необходимо осуществлять радиографическим (100 %) и ультразвуковым (100 %) методами.

3.8.2. Сварка разнотолщинных соединений труб

Непосредственное соединение на трассе разнотолщинных труб одного и того же диаметра допускается при следующих условиях:

если разность толщин стенок стыкуемых труб (максимальная из которых 12 мм и менее) не превышает 2,5 мм;

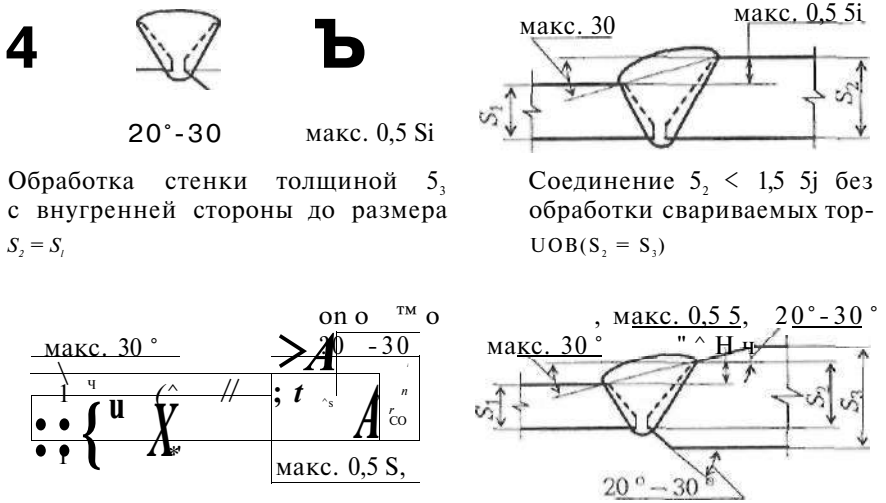
если разность толщин стенок стыкуемых труб (максимальная из которых более 12 мм) не превышает 3,0 мм [2, 16].

Сварка соединений труб, разнотолщинность которых превышает пределы, оговоренные выше, осуществляется:

путем непосредственного соединения специально обработанных свариваемых торцов (рис. 3.70) (при разнотолщинности не более 1,5). Разнотолщинность свариваемых торцов *[t\/t₂)* после механической обработки в соответствии с рис. 3.70 не должна превышать 1,5. Типовые варианты обработки соединяемых элементов с разнотолщинностью 1,5 и менее приведены на рис. 3.70 *а, б, в, г;*

путем вварки между ними катушки промежуточной толщины шириной не менее 250 мм или переходных колец, изготовленных в заводских условиях (при разнотолщинности более 1,5).

Разнотолщинные соединения свариваемых торцов труб диаметром 530 — 1420 мм необходимо выполнять с внутренней подвар-



Обработка стенки толщиной 5_3 с внугренней стороны до размера $S_2 = S_l$

Соединение 5_2 < 1,5 5j без обработки свариваемых тор- UOB(S_2 = S_3)

Обработка стенки толщиной S_3 с наружной стороны до размера $S_2<1,5S_l$

Обработка стенки толщиной S_3 с наружной и внутренней стороны до размера 5_2 < 1,5 5j

Рис. 3.70. Регламентируемые варианты обработки торцов стыкуемых разнотолщинных элементов:
5!— толщина стенки более тонкостенного элемента; S_2 — толщина свариваемого торца более толстостенного элемента; 5_3 — толщина стенки более толстостенного элемента

кой по всему периметру стыка и последующей зачисткой подварочного слоя от шлака и брызг. Контроль разнотолщинных сварных соединений следует осуществлять радиографическим (100 %) и ультразвуковым (100 %) методами.

Сборка разнотолщинных труб при монтаже захлестов не допускается.

3.9. РЕМОНТ СТЫКОВ С ПОМОЩЬЮ СВАРКИ

Исправление дефектов в **стыках,** выполненных дуговыми методами сварки, допускается в следующих случаях:

если суммарная длина дефектных участков не превышает 1/6 периметра стыка;

если длина выявленных в стыке трещин не превышает 50 мм.

При наличии трещин суммарной длиной более 50 мм стыки подлежат удалению.

Исправление дефектов в *стыках,* выполненных дуговыми методами сварки, следует производить следующими способами:

подваркой изнутри трубы дефектных участков в корне шва;

наплавкой ниточных валиков высотой не более 3 мм при ремонте наружных и внутренних подрезов;

вышлифовкой и последующей заваркой участков швов со шлаковыми включениями и порами;

при ремонте стыка с трещиной до 50 мм высверливаются два отверстия на расстоянии не менее 30 мм от краев трещины с каждой стороны, дефектный участок вышлифовывается полностью и заваривается вновь в несколько слоев.

Все исправленные участки стыков должны быть подвергнуты внешнему осмотру, радиографическому контролю. Повторный ремонт стыков не допускается.

Ремонт сварных соединений для труб диаметром более 1020 мм осуществляют как снаружи, так и изнутри трубы:

ремонт сварных стыков снаружи трубы производят в случае, если недопустимые дефекты расположены в заполняющих или облицовочных слоях шва;

ремонт сварных стыков изнутри трубы производят в случае, если недопустимые дефекты расположены в корневом или подва-

рочном слоях шва, а также в "горячем" проходе (ремонт дефектов в "горячем" проходе может осуществляться также и снаружи трубы);

в исключительных случаях при расположении дефектов по центру подварочного или корневого слоя шва допускается ремонт снаружи со сквозным пропилом шва. В этом случае должна быть обеспечена выборка части шва с углом раскрытия кромок 50 — 60 ° до глубины, равной суммарной толщине стенки трубы и величине обратного валика за вычетом 1,5 — 2,5 мм с последующим сквозным пропилом шлифовальным кругом толщиной 2,5 — 3,0 мм.

Ремонт кольцевых швов возможен только в том случае, если суммарная протяженность недопустимых дефектов не превышает 1/6 периметра стыка или, например, 535 мм для труб диаметром 1020 мм. Максимальная длина единовременно ремонтируемого участка — 300 мм для стыков диаметром 720— 1220 мм, 270 мм — для стыков диаметром 530 мм, 200 мм — для стыков диаметром 426 мм и 10 % периметра сварного шва — для соединений диаметром 219-^377 мм.

Допускается ремонт следующих дефектов:

шлаковых включений;

пор;

непроваров;

несплавлений;

наружных дефектов.

Подготовку к ремонту осуществляют следующим образом:

по результатам неразрушающего контроля отмечают на стыке место расположения и тип дефекта. Место ремонта и номер ремонтируемого стыка несмываемой краской фиксирует дефектоскопист;

разметку дефектного участка изнутри трубы проводят с помощью кольцевого шаблона с делениями, которые соответствуют показаниям мерного пояса;

разметку дефектного участка под вышлифовку производит бригадир звена ремонтных работ. При этом длина участка вышлифовки должна превышать фактическую длину наружного или внутреннего дефекта не менее чем на 30 мм в каждую сторону. Минимальная длина участка вышлифовки — 100 мм. Глубина вышлифованного участка должна быть равна глубине залегания дефекта плюс 1 —2 мм.

Руководитель ремонтных работ должен убедиться, что в процессе шлифования дефекты вскрыты и удалены.

Во всех случаях выборку дефектных участков осуществляют путем их вышлифовки с помощью шлифовальных кругов. При выборке дефекта изнутри трубы работу следует проводить с использованием шлифмашинки с напряжением питания не более 36 В. При выборке дефектов снаружи трубы ширина раскрытия кромок должна быть на 2—4 мм меньше ширины облицовочного слоя, а при выборке дефектов изнутри трубы ширина раскрытия кромок должна составлять не более 7 мм. Производят обязательный предварительный подогрев до температуры + 100 °С независимо от температуры окружающего воздуха. При этом при заварке наружного и внутреннего дефектного участка протяженностью менее 100 мм разрешается осуществлять местный нагрев снаружи трубы (однопламенной газовой горелкой). Во всех других случаях необходим равномерный предварительный подогрев всего периметра стыка кольцевой газовой горелкой.

Перед началом сварки первого ремонтного слоя температура в зоне работ не должна опускаться ниже +70 °С. Межслойная температура должна быть не менее +50 °С. В случае остывания зоны сварки ниже указанных выше температур следует осуществить сопутствующий подогрев до+ 100 ° +30<>c.

Кольцевые сварные стыки ремонтируют только с применением электродов с основным видом покрытия. Ремонт корневого слоя шва, "горячего" прохода и подварочного слоя можно осуществлять электродами, например, марки ОК 53.70 диаметром 2,5 — 3,2 мм или электродами Lincoln 16Р того же диаметра.

Ремонт заполняющих и облицовочных слоев шва осуществляют электродами типа Е7016 (ОК 53.70, Lincoln 16Р) 0 3,2 мм для труб класса Х65 или Е8016 (ОК 74.70, Lincoln 18Р) 0 3,2 мм для труб класса Х70. Полный перечень применяемых электродов представлен в Приложении 1.

Высота каждого слоя при заварке дефектного участка не должна превышать 3,0 — 4,0 мм. Производят обязательную межслойную и окончательную очистку слоев шва от шлака и брызг. Облицовочный слой шва и прилегающая поверхность должны быть подвергнуты чистовой обработке щеткой, шлифовальным кругом и/или напильником для очистки поверхности, сглаживания грубочешуйчатости и улучшения формы шва. При ремонте подреза об-

лицовочного слоя шва или недостаточного перекрытия кромок трубы облицовочным слоем производится частичная вышлифовка облицовочного слоя таким образом, чтобы после сварки ширина ремонтируемого шва не вышла за пределы допустимой величины (габариты шва). Допускается увеличение ширины облицовочного слоя в зоне ремонта на величину не более 2 мм.

При наличии внутренних дефектов, превышающих допустимые нормы, стык следует вырезать и вварить катушку. Ремонт дефектного участка разными сварщиками запрещается. Ремонтные работы выполняются от начала до конца без перерывов. Все отремонтированные участки сварного шва должны быть подвергнуты внешнему осмотру и неразрушающему контролю (100 % радиографический и 100 % ультразвуковой контроль).

Если после ремонта по периметру стыка обнаружены неудаленные дефекты, разрешается их дополнительная вышлифовка с последующей заваркой. Повторный ремонт одного и того же дефекта не разрешается.

Типовые технологические карты на ремонт кольцевых сварных стыков трубопроводов NNTH-CPD-12-01 и TH-CPD-12-02 разработаны ВНИИСТом и представлены в РД 153-006-02 [16].

ГЛАВА *СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ*

4.1. СВАРОЧНАЯ ПРОВОЛОКА

Для заполнения разделки шва в зону дуги вводят присадочный металл в виде прутка или проволоки. При ручной дуговой сварке применяют плавящиеся электроды в виде прутков или стержней с покрытием. При механизированной сварке используют электрод в виде проволоки, намотанной на кассету [12, 28].

Изготовляют стальную холоднотянутую проволоку круглого сечения диаметрами 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0 и 12,0 мм и поставляют в мотках (бухтах) из одного отреза. Проволока первых семи диаметров предназначена в основном для полуавтоматической и автоматической сварок в защитном газе. Для автоматической и полуавтоматической сварок под флюсом применяют проволоку диаметром 2 — 6 мм. Проволока диаметром 1,6 — 12,0 мм идет на изготовление стержней электродов. Поверхность проволоки должна быть гладкой, чистой, без окалины, ржавчины, грязи и масла.

По химическому составу стальную проволоку делят на три основные группы (ГОСТ 2246-70):

углеродистую (6 марок) с содержанием углерода не более 0,12 %, которая предназначена для сварки низкоуглеродистых, среднеутлеродистых и некоторых низколегированных сталей;

легированную (30 марок) для сварки низколегированных, конструкционных, теплостойких сталей;

высоколегированную (41 марка) для сварки хромистых, хромоникелевых, нержавеющих и других специальных легированных сталей.

Проволока маркируется индексом Св (сварочная), буквами и цифрами. Условные обозначения легирующих элементов в про-

волоке приведены в табл. 4.1. Первые две цифры указывают содержание углерода в сотых долях процента, а цифры после буквы, указывающей легирующие примеси, — количество данного элемента в процентах. Отсутствие цифры после буквенного обозначения легирующего элемента означает, что этого элемента в материале проволоки менее одного процента. Буква А в конце марки указывает на пониженное содержание вредных примесей (серы и фосфора).

Таблица 4.1

Условное обозначение элементов химического состава в основном металле и в электродной проволоке

Элемент	Условное обозначение		Элемент	Условное обозначение	
	в таблице Менделеева	в марке стали		в таблице Менделеева	в марке стали
Марганец	Мп	Г	Титан	Ti	Т
Кремний	Si	С	Ниобий	Nb	Б
Хром	Cr	Х	Ванадий	V	Ф
Никель	Ni	Н	Кобальт	Co	К
Молибден	Mo	М	Медь	Cu	**А**
Вольфрам	W	В	Бор	B	Р
Селен	Se	Е	Азот	N	А*
Алюминий	Al	Ю	Цирконий	Zr	**Ц**

Например, Св-08ГС расшифровывается следующим образом: Св — сварочная; 0,8 % углерода; до 1 % марганца; до 1 % кремния. Более точные составы сварочных проволок указаны в Приложении 1, табл. П1.1.

Содержание углерода в сварочной проволоке не превышает 0,12 —0,15 %, что снижает склонность металла шва к газовой пористости и образованию твердых закалочных структур. Содержание кремния в углеродистой проволоке составляет менее 0,03 %, так как наличие кремния способствует образованию при сварке пор в металле шва.

Допустимое содержание серы и фосфора также ограничено (0,04 % каждого элемента), так как они даже при малой концентрации способствуют образованию трещин в сварном шве.

Медь и ее сплавы сваривают проволокой и прутками из меди и сплавов на медной основе. Алюминий и алюминиевые сплавы сваривают сварочной проволокой из алюминия и его сплавов. Для сварки других металлов и сплавов применяют сварочную проволоку или стержни, изготовленные либо по ГОСТ на свариваемый металл, либо по техническим условиям.

Вместо дорогостоящей легированной сварочной проволоки применяется порошковая электродная проволока (рис. 4.1, 4.2). Она состоит из металлической оболочки и сердечника. Металлическая оболочка служит для подвода сварочного тока и удержания

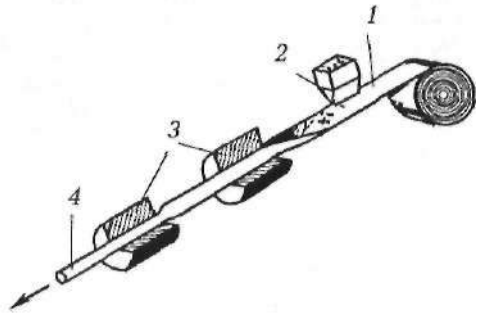


Рис. 4.1. Схема изготовления порошковой проволоки:
/ — стальная лента; 2 — бункер с шихтой; *3* — фильеры; *4* — порошковая проволока

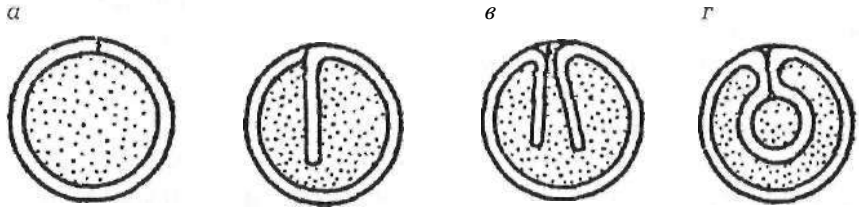


Рис. 4.2. Поперечное сечение порошковых проволок:
а — кольцевой; *б* — с одной загнутой кромкой; *в* — с двумя загнутыми кромками; *г* — двухслойной

порошкового сердечника. Сердечник представляет собой смесь порошков минералов, руд, ферросплавов и металлических порошков. Используя в металлургическом процессе при сварке такую смесь, защищают металл сварочной ванны от кислорода и азота воздуха, раскисляют и легируют металл шва, получают легкоудаляемый шлак, в результате образуется высококачественный шов. Сварку порошковой проволокой производят открытой дугой, **под** флюсом или в защитных газах.

Для получения более широкого слоя наплавленного металла и увеличения производительности наплавки вместо порошковой проволоки применяют порошковую ленту (рис. 4.3). Ее можно сворачивать в рулоны, использовать для наплавки автоматами, снабженными специальными устройствами для подачи ленточных электродов.

Широкое распространение получили проволоки, не требующие при сварке дополнительной защиты (самозащитные), и проволоки, используемые с газовой защитой зоны сварки (газозащитные). Благодаря высокой производительности и низкой чувствительности к внешним условиям сварка порошковой проволокой часто применяется при изготовлении и монтаже строительных конструкций на строительно-монтажной площадке. Наибольшее применение получили проволоки малого диаметра **(1,6 — 2,4** мм)

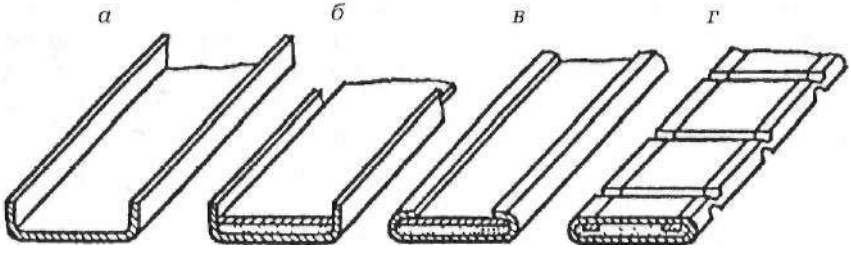


Рис. 4.3. Схема **изготовления порошковой ленты:**
а — отбортовка нижней ленты; *б* — заполнение порошком и укладка верхней ленты; в — завальцовка кромок нижней ленты; *г* — выдавливание углублений для уплотнения порошка и придания гибкости порошковой ленте

марок ПП-АН1, ПП-АН3, ПП-АН7, ПН-АНН, ПП-1, ДСК, ПП-2ДСК и др. Они позволяют получить сварные швы с высокими механическими свойствами.

Разработан и успешно применяется способ сварки самозащитной проволокой, т. е. сплошной легированной проволокой без защитной среды (открытой дугой). Металл специальных электродных проволок, применяемых для этого способа, содержит раскисляющие и стабилизирующие элементы. При сварке происходит компенсация выгорания марганца и кремния за счет повышенного содержания их в металле проволоки. Имеющиеся в электродной проволоке алюминий, титан, цирконий и церий обеспечивают хорошее раскисление сварочной ванны, образуя соединение, переходящее в шлак. Кроме того, эти элементы связывают азот, нейтрализуя его вредное действие на пластичность и вязкость металла. Введение церия и циркония повышает ударную вязкость и пластичность металла шва. Они также способствуют устойчивости процесса сварки и уменьшению разбрызгивания металла. Этим способом можно производить сварку в углекислом газе постоянным током прямой полярности, что позволяет значительно повысить коэффициент наплавки и производительности сварки. Для этого способа применяют проволоки марок Св-20ГСТЮА иСв-15ГСТЮА.

Входной контроль сварочной проволоки производят в соответствии с требованиями ГОСТ 2246 — 70. Проволоку поставляют свернутой в мотки диаметром 200 — 500 мм. Каждый моток перевязывают мягкой проволокой не менее чем в трех местах. На каждый моток проволоки крепят металлическую бирку с указанием завода-изготовителя, условного обозначения проволоки, номера партии. Моток заворачивают в непромокаемый материал. Каждая партия проволоки состоит из проволоки одной марки, плавки, диаметра, назначения и одного вида поверхности. При приемке партии проволоки контролируют:

1. Наличие сертификатов соответствия.

2. Внешний вид поверхности. Поверхность проволоки должна быть чистой, гладкой, без трещин, расслоений, плен, закатов, раковин, забоин, окалины, масла и других видов загрязнений. На поверхности проволоки допускаются риски, царапины, местная рябь и отдельные вмятины. Глубина указанных дефектов не должна превышать предельного отклонения по диаметру проволоки.

3. Диаметр проволоки с точностью до 0,01 мм в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Предельное отклонение диаметра проволоки составляет:

Диаметр проволоки, мм	*Предельное отклонение, мм*
1,0-1,2	0,09
1,6; 2,0; 2,5; 3,0	0,12
4,0-5,0	0,16

4. Химический состав.

4.2. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОДЫ

Металлические электроды для дуговой сварки изготовляют следующих размеров:

Таблица 4.2

Длина электрода, мм

Электроды	Диаметр электрода, мм									
	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10	12
Из углеродистой и легированной проволоки	200 250	250	250 300	300 350	350 450				450	
Из высоколегированной проволоки	150 200	200 250	250	300 350	350				350 450	

По качеству электроды подразделяют на три группы [1, 12].

До начала производства основных сварочно-монтажных работ на трассе трубопровода службами производственно-технической комплектации и технического надзора проводится входной контроль сварочных электродов.

Технические требования к электродам определены в ГОСТ 9466 — 75, ГОСТ 9467 — 75. Электроды поставляются завернутыми в водонепроницаемую бумагу, полиэтиленовую пленку или упакованными в пачки или картонные и вакуумные коробки массой 3 — 8 кг. Электроды поставляют партиями, состоящими из электродов одной марки , одного диаметра и изготовленных по одной технологии, i

При **входном контроле** партии электродов контролируют:

1. Наличие сертификатов соответствия.

2. Целостность упаковки.

3. Внешний вид покрытия электрода. На одном электроде допускается:

наличие пор — не более трех на длине 100 мм, при этом диаметр пор не должен превышать 2 мм, а глубина — половины толщины покрытия;

наличие волосяных трещин — не более двух, при этом длина каждой трещины не более 12 мм;

местные вмятины — не более трех, длина вмятины не более 12 мм, глубина — не более половины толщины покрытия;

продольные риски и отдельные задиры глубиной не более 0,25 толщины покрытия и суммарной длины не более 25 мм.

4. Адгезию электродного покрытия. Адгезию проверяют методом падения. Покрытие не должно разрушаться при свободном падении электрода плашмя на гладкую стальную плиту с высоты 1 м для $5 < 4$ и 0,5 м для $5 > 4$ мм. Допускается частичное откалывание покрытия общей длиной не более 5 % длины покрытой части электрода.

5. Концентричность электродного покрытия. Концентричность проверяют микрометром в трех местах, смещенных относительно друг друга на 50—100 мм по длине электрода и на 120 градусов по окружности. Концентричность — разность толщин покрытия — не должна превышать 0,08 мм при $d = 2$ мм; 0,15 мм — при $d = 3$ мм; 0,2 мм — при $d = 4$ мм.

6. Отсутствие ржавчины на стержне электрода.

7. Сварочно-технологические свойства: легкость возбуждения и стабильность горения дуги; равномерность плавления обмазки и стержня без образования козырьков и отваливания кусков; легкость удаления шлака; отсутствие трещин, надрывов и пор в сварном шве.

Качество поверхности покрытия контролируют визуально, без применения увеличительных приборов. Длину электрода, размеры поверхностных дефектов определяют штангенглубиномерами, штангенциркулями, линейками с погрешностью не более 0,1 мм.

На каждой пачке имеется этикетка, содержащая наименование завода-изготовителя, условное обозначение электрода, об-

ласть применения, режимы сварки, обработки и механические показатели сварного шва, свойства наплавленного металла и коэффициент наплавки.

ГЭлектроды, изготовленные по ГОСТ, обеспечивают устойчивое горение дуги и спокойное равномерное плавление покрытия. Шлак ровным слоем покрывает наплавляемый металл и легко удаляется после остывания. Трещины, газовые поры и шлаковые включения в сварном шве не образуются. Химический состав металла шва и допустимое содержание серы и фосфора указывают в паспорте электрода. Содержание серы и фосфора в металле сварного шва при сварке низкоуглеродистых и низколегированных сталей должно быть не более 0,05 %, при сварке легированных сталей повышенной прочности — не более 0,04 %. Сварные швы высоколегированных сталей должны содержать не более 0,025 % серы и 0,03 % фосфора^

Для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей предусмотрены девять типов электродов: Э38, Э42, Э42А, Э46, Э46А, Э50, Э50А, Э55, Э60; для сварки легированных конструкционных сталей повышенной и высокой прочности пять типов: Э70, Э85, Э100, Э125, Э150. Кроме того, предусмотрены девять типов электродов для сварки теплоустойчивых сталей.

Тип электрода обозначается буквой Э и цифрой, указывающей гарантируемый предел прочности металла шва в кгс/мм^2. Буква А в обозначении указывает, что металл шва, наплавленный этим электродом, имеет повышенные пластические свойства. Такие электроды применяют при сварке наиболее ответственных швов. Для изготовления стержней большинства электродов, предназначенных для сварки углеродистых и легированных конструкционных сталей, применяют проволоку марок Св-08 и Св-08А.

Тип электрода выбирают исходя из условия обеспечения равнопрочности сварного шва и основного металла. Характеристика металла сварного шва, выполненного электродами различных типов, приведена в табл. 4.3, 4.4.

Каждому типу электрода соответствует несколько марок электродов. Например, типу Э42 соответствуют электроды ОМА-2, АНО-б, МЭЗ-04 и др. Марка электрода — это его промышленное обозначение, как правило, характеризующее стержень и покрытие.

Электродные покрытия делят на две группы: тонкие (стабилизирующие и ионизирующие) и толстые (качественные). Назначе-

Таблица 4.3

Механические свойства металлов шва, наплавленного при дуговой сварке металлическими электродами для конструкционных сталей

Тип электрода	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение	Ударная вязкость, Дж/см^2	Угол загиба для металла соединения, сваренного электродами диаметрами менее 3 мм, град.
Э38	370	14	29	60
Э42	**410**	18	78	150
Э46	450	18	78	150
Э50	490	16	69	120
Э42А	**410**	22	147	180
Э46А	450	22	**137**	180
Э50А	490	20	**127**	150
Э55	540	20	**117**	150
Э60	590	18	98	120
Э70	690	14	59	
Э85	840	12	49	
Э100	980	10	49	
Э125	1225	8	39	
Э150	1470	6	39	

ние тонкого покрытия — облегчить возбуждение дуги и стабилизировать ее горение. Для этого покрытие составляют из вещества, атомы и молекулы которого обладают низким потенциалом ионизации, т. е. легко ионизируются в воздушном промежутке дуги. Такими веществами являются калий, натрий, кальций, барий, литий, стронций и др. Они применяются, как правило, в виде углекислых солей: мел ($CaC0_3$), поташ ($KCO_э$), углекислый барий ($BaCO_э$) и др. В качестве связующего вещества применяют жидкое стекло, представляющее собой силикат натрия. Покрытие наносят на стержень электрода слоем 0,1 — 0,25 мм, что составляет 1,5 — 2 % от массы электрода. Тонкое покрытие не создает защиты для расплавленного металла шва, и поэтому при сварке происходит окисление и азотирование наплавленного металла. Шов получается хрупкий, пористый, с различными неметаллическими включениями. Поэтому электроды с тонким покрытием используют при выполнении неответственных сварных швов.

Таблица 4.4

Механические свойства металлов шва, наплавленного при дуговой сварке металлическими электродами для легированных теплоустойчивых сталей

Тип электрода	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение Р5. %	Ударная вязкость, Дж/см^2
Э09М	440	18	**98**
Э09МХ	450	18	
Э09Х1М	470	18	
Э05Х2М	470	18	
Э09Х2М1	490	16	**78**
Э09Х1МФ	*490*	16	**7 в**
Э10Х1М1НФБ	490	15	**69**
Э10Х3М1БФ	540	14	**59**
Э10Х5МФ	540	14	**59**

Примечания: 1. В таблице даны механические свойства металла после термической обработки по режимам, регламентированным техническими условиями или паспортами на электроды конкретных марок. 2. Механические свойства соединений, сваренных электродами, диаметр которых меньше 3 мм, должны соответствовать техническим условиям и паспортам на электроды конкретных марок.

Материалы, используемые для изготовления электродных покрытий, должны удовлетворять требованиям соответствующих ГОСТов или ТУ (приложение 1, табл. Ш.2.).

Наиболее простым тонким покрытием является меловое. Оно состоит из мелкопросеянного чистого мела, разведенного на жидком стекле. На 100 массовых частей мела берут 25 — 30 массовых частей жидкого стекла и полученную смесь размешивают в воде до сметанообразного состояния. Электродные стержни окунают в *этот* раствор и сушат при комнатной температуре или в сушильных шкафах при температуре 30 — 40 °С. Такие электроды дают при сварке швы очень низкого качества и поэтому применяются очень редко. Более качественные сварные швы дают электроды с тонким покрытием марок К-3 и А-1. Основной составляющей этих покрытий является титановый концентрат. Покрытие К-3 содержит 57,8 % титанового концентрата и 42,2 % марганцевой руды, а жидкое стекло составляет 25 —35 % к массе концентрата и руды. Покрытие А-1 содержит 86,6 % титанового концентрата,

10,2 % марганцевой руды и 3,2 % калиевой селитры. Жидкое стекло берут в количестве 30 — 35% к массе остальных компонентов. При сварке тонкостенных изделий хорошие результаты дает покрытие МТ, состоящее из 62 % титанового концентрата, 31 % полевого шпата и 7 % хромовокислого калия. Жидкое стекло составляет 30 % к массе остальных компонентов. Кроме этих покрытий применяют и ряд других, имеющих различные назначения.

Электроды с толстым *покрытием применяют* для получения сварных соединений высокого качества, поэтому эти покрытия называют качественными. Качественное покрытие выполняет следующие функции: обеспечивает устойчивое горение дуги, защищает расплавленный металл шва от воздействия кислорода и азота воздуха, раскисляет в металле шва оксиды и удаляет невосстанавливаемые оксиды в шлак, изменяет состав наплавляемого металла вводом в него легирующих примесей, удаляет серу и фосфор из расплавленного металла шва, образует шлаковую корку над металлом шва, замедляет его охлаждение и тем самым способствует выходу газов и неметаллических включений на поверхность металла шва.

Теория сварочных процессов дает возможность точно рассчитать состав электродных покрытий в зависимости от состава свариваемого металла и требований, предъявляемых к сварочному шву. Для выполнения перечисленных выше функций электродное качественное покрытие должно содержать следующие компоненты:

ионизирующие вещества для снижения эффективного потенциала ионизации, что обеспечивает стабильное горение дуги. В качестве ионизирующих компонентов в покрытия вводят такие вещества, как мел, мрамор, поташ, полевой шпат и др.;

газообразующие вещества, которые при сварке *разлагаются* или сгорают, выделяя большое количество газов, создающих в зоне дуги газовую оболочку. Благодаря этой оболочке металл шва предохраняется от воздействия атмосферного кислорода и азота. Такими газообразующими веществами являются крахмал, древесная мука, целлюлоза и др.;

раскисляющие вещества, которые обладают большим сродством к кислороду и поэтому восстанавливают металл шва. Раскислителями служат ферросплавы, алюминий, графит и др.;

шлакообразующие вещества, создающие шлаковую защиту расплавленного металла шва, а также капель электродного метал-

ла, проходящих через дуговой промежуток. Кроме того, шлаки активно участвуют в металлургических процессах при сварке и способствуют получению качественного шва. В качестве шлакообразующих веществ применяют полевой шпат, кварц, мрамор, рутил, марганцевую руду и др.;

легирующие вещества, которые в процессе сварки переходят из покрытия в металл шва и легируют его для придания тех или иных физико-механических качеств. Хорошими легирующими веществами являются ферромарганец, ферросилиций, ферро-хром, ферротитан. Реже применяют различные оксиды металлов (меди, хрома и др.);

связующие вещества, предназначенные для замеса всех компонентов покрытия в виде пасты, а также для связывания пасты на сердечнике электрода и придания определенной прочности после высыхания покрытия. Таким веществом является жидкое стекло. Реже применяется декстрин. По видам покрытия электроды подразделяют: с кислым покрытием — условное обозначение А; с рутиловым — Р; с целлюлозным — Ц; с основным — Б; с покрытием смешанного типа — двойное обозначение (например, АЦ); с прочими видами покрытий — П.

Кислые покрытия (АНО-1, СМ-5) содержат руды в виде оксидов железа и марганца. При плавлении они выделяют кислород, способный окислить металл ванны и легирующие примеси. Для ослабления действия кислорода в покрытие вводят раскислители в виде ферросплавов. Однако наплавленный металл имеет относительно малые вязкость и пластичность, пониженное содержание легирующих примесей.

Рутиловые покрытия (АНО-3, АНО-4, МР-3, ОЗС-4) имеют основным компонентом рутил ($ТЮ_2$ — диоксид *титана]. Шлакообра*зующими служат рутил, а также полевой шпат, магнезит и др. В качестве раскислителя и легирующего компонента применяют ферромарганец.

Целлюлозные покрытия (ВСЦ-1, ВСЦ-2, ОМА-2) содержат главным образом органические компоненты в качестве газообразующих и связующих веществ. В качестве раскислителей введены ферромарганец, ферросилиций.

Основные покрытия (УОНИ-13, ДСК-50) составлены на основе плавикового шпата (CaF) и мрамора (карбонат кальция $CaC0_3$). Отсутствие в составе этого покрытия оксидов железа и марганца

позволяет широко легировать наплавляемый металл. При сварке можно получить металл шва заранее заданного химического состава с хорошими механическими свойствами. В качестве раскислителей покрытие содержит ферротитан, ферромарганец и ферросилиций.

Составы покрытий приведены в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Составы наиболее **распространенных видов электродных покрытий**

Вид покрытия	Содержание, % (по массе)								Коэффициент массы покрытия, %
	Двуокись титана	Силикаты	Руды	Карбонаты	Плавиковый шпат	Ферро сплавы	Железный порошок	Органика	
Кислый	—	25-35	28-35	0-15		20-30		0-5	30-60
Рутиловый	30-50	10-25	0-5	5-20	—	10-15	0-20	2-8	35-50
Основной	0-10	5-20	—	25-50	15-35	5-15	0-20	0-2	35-50
Целлюлозный	15-30	5-15	0-5	0-8	—	10-15	0-10	25-40	15-25
Рутиловый высокопроизводительный	10-30	6-12	10-15	0-10	—	6-12	40-60	1-3	140-180
Основной высокопроизводительный	0-10	5-	—	5-20	6-15	7-12	40-60	0-2	120-160

Условное обозначение электродов включает марку электрода, диаметр стержня, группу по качеству и номер ГОСТ (рис. 4.4).

Электроды покрытые металлические для сварки и наплавки сталей классифицируют следующим образом.

По назначению:

для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву до 600 МПа — У (условное обозначение);

для сварки легированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву более 600 МПа — Л;

для сварки легированных теплоустойчивых сталей — Т;

11 12

8	**9**	**10**

Рис. 4.4. Условное изображение электродов:
1 — тип; *2* — марка; *3* — диаметр, мм; *4* — обозначение назначения электродов; 5 — обозначение толщины покрытия; *6* — группа электродов; 7 — группа индексов, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва по действующим стандартам, *8* — обозначение вида покрытия; *9* — обозначение допустимых пространственных положений сварки и наплавки; *10* — обозначение рода тока, полярности постоянного тока и номинального напряжения холостого хода источника питания переменного тока частотой 50 Гц; *11* — ГОСТ...; *12* — обозначение стандарта на типы электродов

для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами — В;

для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами — Н.

По толщине покрытия в зависимости от отношения диаметра электрода к диаметру стержня D/d электроды делят:

с тонким покрытием — М, D/d < 1,2;

со средним покрытием — С, D/d = 1,2 — 1,45;

с толстым покрытием — Д, D/d = 1,45 — 1680;

с особо толстым — Г, D/d > 1,8.

По допустимым пространственным положениям сварки или наплавки:

для всех положений — 1;

для всех положений, кроме вертикального сверху вниз — 2;

для нижнего, горизонтального на вертикальной плоскости и вертикального снизу вверх — 3;

для нижнего и нижнего "в лодочку" — 4.

По роду тока, полярности постоянного тока и номинального напряжения холостого хода источника питания сварочной дуги переменного тока частотой 50 Гц — в соответствии с табл. 4.6.

Условное обозначение должно быть указано на этикетках или в маркировке коробок, пачек и ящиков с электродами.

Таблица 4.6

Классификация электродов *по* роду и полярности тока

Рекомендуемая полярность постоянного тока	Напряжение холостого хода источника переменного тока, В		Обозначения
	Номинальное	Предельные отклонения	
Обратная			0
Любая	50	+ 5	1
Прямая			2
Обратная			3
Любая	70	±10	4
Прямая			5
Обратная			6
Любая	90	±5	7
Прямая			8
Обратная			9

Например:

Э46А-УОНИ 13/45 4-3,0-УД2 $_{ГОС}$Т9466-75.
У432(5)-БЮ

Э46А — тип электрода, 46 — минимальный гарантируемый предел прочности металла, шва, кгс/мм^2 (460 МПа); А — наплавленный металл имеет *повышенные* пластические свойства;

УОНИ 13/45 — марка электрода; 3,0 — диаметр электрода, мм; У — электроды для сварки углеродистых и низколегированных сталей;

Д2 — с толстым покрытием второй группы;

Е 432(5) — группа индексов, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва; 43 — временное сопротивление разрыву не менее 460 МПа; 2 — относительное удлинение не менее 22 %; 5 — ударная вязкость не менее 34,3 дм/см^2 при температуре минус 40 °С;

Б — *основное* покрытие; 1 — для сварки во всех пространственных положениях; О — на постоянном токе обратной полярности.

Широкое распространение получили следующие электроды, назначение которых приводится в табл. 4.6.

Электроды УОНИ-13 дают высокое качество металла шва и применяются для сварки ответственных швов из конструкционных сталей. Такие электроды выпускаются нескольких марок: УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, УОНИ-13/65 и УОНИ-13/85. Цифры после черты означают получаемый предел прочности металла шва (кгс/мм^2). Сварку можно производить при любом положении шва, но только на постоянном токе обратной полярности. Эти электроды применяют в заводских и монтажных условиях. Коэффициент наплавки электродов типа УОНИ-13 достигает 9,5 г/(А • ч).

Электрод СМ-11 (тип Э42А) получил широкое распространение в строительстве. Применяется при сварке ответственных конструкций во всех пространственных положениях. Наплавленный металл имеет высокие механические свойства. Коэффициент наплавки электрода СМ-11 достигает 10 г/(А • ч). Важным положительным качеством электрода СМ-11 является устойчивость сварки в условиях монтажа, когда необходимо поддерживать постоянство длины сварочной дуги. Таким же качеством обладают электроды марки МР-3, имеющие коэффициент наплавки 9 г/(А • ч). Они предназначены для сварки постоянным и переменным током.

Широкое применение получили электрод марки ОЗС-4 (тип Э46) (коэффициент наплавки 8,5 г/(А • ч)) для сварки ответственных металлоконструкций из низкоуглеродистой стали и электрод ОЗС-5 (коэффициент наплавки 11 г/(А • ч)), содержащий в покрытии железный порошок. Сварка выполняется переменным и постоянным токами любой полярности во всех пространственных положениях.

^/\ля сварки ответственных конструкций из низкоуглеродистых сталей переменным или постоянным током во всех пространственных положениях хорошие результаты дают электроды марки АНО-5 (тип Э42), имеющие коэффициент наплавки 11 г/(А • ч), и марки АНО-6 (с коэффициентом наплавки 8,5 г/(А • ч)). При сварке деталей из низкоуглеродистой стали, работающих при динамических нагрузках, применяют электроды марок АНО-3 и АНО-4 (тип Э46) (с коэффициентом наплавки 8 г/(А • ч). Электроды типа АНО характеризуются устойчивым горением дуги, незначительным разбрызгиванием металла, стойкостью против образования кристаллизационных трещин и легкостью отделения шлаковой корки, *i*

Для сварки конструкций из низкоуглеродистых и низколегированных сталей с учетом их химического состава рекомендуются марки электродов, приведенные в табл. 4.7.

В качестве примера в табл. 4.8 и 4.9 приведены комбинации сварочных электродов, использованных для ручной дуговой сварки неповоротных стыков труб из стали класса Х65 и Х670 при строительстве КТК.

Таблица 4.7

Области применения электродов для сварки

Сталь	Марка электродов
Углеродистая 08, 10, 20, Ст2, СтЗ, СтЗГ	АНО-4, АНО-6М, ВСЦ-4А, МР-3, ОЗС-4, АНО-18, АНО-24, УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, ИТС-4С, ТМУ-21У, ЦУ-5, ЦУ-7, ЦУ-8, ЦУ-6, ТМУ-46, ТМУ-50
Ст4, 15Л, 20Л, 25Л	УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, ИТС-4С, ВСЦ-4А, ЦУ-5, ТМУ-21У, ЦУ-7, ЦУ-8, ТМУ-46, ТМУ-50
Низколегированная конструкционная 15ГС, 16ГС, 17ГС, 14ГН, 16ГН, 09Г2С, 10Г2С1, 14ХГС, 20ГСЛ, 17ПС, 17Г1СУ	ВСЦ-4А, ЦУ-5, УОНИ-13/55, ТМУ-21У, ЦУ-7, ЦУ-8, ИТС-4С

Таблица 4.8

Сварочные материалы для ручной дуговой сварки стыков труб согласно комбинированному варианту сварки — электроды с целлюлозным видом покрытия + электроды с основным видом покрытия

Класс прочности стали	Корневой слой	Горячий проход	Заполняющие и облицовочный слой
	Марка, диаметр электрода		
Х65	Fleetweld 5P + Pipweld6010 3,2-4,2 мм	Fleetweld 5P + Pipweld7010 4,0 **мм**	OK 53,70, Lincoln 16P3,2-4,0мм
Х70	Fleetweld 5P + Pipweld6010 3,2-4,2 мм	Shield-Arc 80 Pipeweld7010 4,0 мм	OK 74.70, Lincoln 18P3,2-4,0мм

Таблица 4.9

Сварочные материалы для ручной дуговой сварки стыков труб — с электродами с основным видом покрытия для сварки всех слоев шва

Класс прочности	Корневой слой	Заполняющие и облицовочный слой
	Марка, диаметр электрода	
Х65	ОК 53,70, Lincoln 16Р2,5-3,2мм	ОК 53.70, Lincoln 16Р3,2-4,0мм
Х70	ОК 53,70, Lincoln 16Р2,5-3,2мм	ОК 74.70, Lincoln 18Р3,2-4,0ММ

В приложении 1, табл. П1.3, П1.4, П1.5, П1.6, П1.7, П1.8 даются марки некоторых зарубежных электродов и их соответствие ГОСТ 9467-75.

Хранят электроды в специально оборудованных помещениях при температуре не ниже 15 °С и относительной влажности не более 50 %. Электроды следует хранить на стеллажах раздельно по маркам и партиям. Помещения должны иметь печь для прокалки электродов при температуре до 450 °С и сушильный шкаф с температурой до 150 °С и обеспечивать потребность в электродах.

Для каждой марки электродов устанавливают свою температуру прокалки, значения которой приведены в приложении 1, табл. П 1.9.

Прокалку электродов можно производить не более 3 раз. Если электроды после трех прокалок показали неудовлетворительные сварочно-технологические свойства, то применение их для сварочных работ не допускается.

Импортные электроды прокаливают по тому же режиму, что и отечественные с аналогичным типом покрытия.

Электроды с основным видом покрытия, предназначенные для сварки перлитных сталей, следует использовать в течение 5 суток после прокалки, остальные электроды — в течение 15 суток, если их хранят на складе с соблюдением требований. По истечении указанного срока электроды перед применением необходимо

вновь прокалить. В случае хранения электродов в сушильном шкафу при температуре 60—100 °С срок их годности не ограничивается.

4.3. ФЛЮСЫ ДЛЯ ДУГОВОЙ И ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ

С целью обеспечения надежной защиты зоны сварки от атмосферных газов, создания условий устойчивого горения дуги, формирования качественного шва при сварке плавлением применяют флюсы. Получают плотные и несклонные к кристаллизационным трещинам швы. После остывания шва шлаковую корку легко удалить. При использовании флюсов сокращается выделение пыли и газов, вредных для здоровья сварщика [10, 11].

Флюсы классифицируют по назначению, химическому составу, структуре, степени легирования шва, способу изготовления, зависимости вязкости шлака от температуры.

По назначению флюсы делят на три группы:

1) для сварки углеродистых и легированных сталей;

2) для сварки высоколегированных сталей;

3) для сварки цветных металлов и сплавов.

По химическому составу различают флюсы оксидные, солевые и солеоксидные (смешанные). Оксидные флюсы состоят из оксидов металлов и могут содержать до 10 % фтористых соединений. Их применяют для сварки углеродистых и низколегированных сталей. Солевые флюсы состоят из фтористых и хлористых солей металлов и других, не содержащих кислород химических соединений. Они используются для сварки активных металлов электрошлакового переплава. Солеоксидные флюсы состоят из фторидов и оксидов металлов, применяются для сварки легированных сталей.

По химическим свойствам оксидные флюсы подразделяют на кислые и основные, а также нейтральные. К кислым относят SiO_2 и TIO_2; к основным — CaO, MgO, к химически нейтральным соединениям — фториды и хлориды.

В зависимости от содержания SiO_2 различают высококремнистые, низкокремнистые и бескремнистые флюсы, а в зависимости

от содержания МпО — марганцевые и безмарганцевые флюсы.

По степени легирования металла шва различают флюсы пассивные, т. е. не вступающие во взаимодействие с расплавленным металлом, активные — слабо легирующие металл шва и сильно легирующие, к которым относят большинство керамических флюсов.

По способу изготовления флюсы делят на плавленые и неплавленые (керамические).

По строению крупинок — стекловидные, пемзовидные и цементированные.

По характеру зависимости вязкости шлаков от температуры различают флюсы, образующие шлаки с различными физическими свойствами. Флюсы, у которых вязкость шлаков с понижением температуры возрастает медленно, называют длинными, а флюсы, у которых вязкость шлаков при аналогичных условиях возрастает быстро — короткими. Зависимость вязкости флюсов от температуры существенно влияет на качество формирования шва. Преимущественно находят применение флюсы с короткими шлаками (основные флюсы) (табл. 4.10.).

При сварке под флюсом состав флюса полностью определяет состав шлака и атмосферу дуги. Взаимодействие жидкого шлака с расплавленным металлом оказывает существенное влияние на химический состав, структуру и свойства наплавленного металла.

Применительно к углеродистым сталям качественный шов можно получить при следующем сочетании флюсов и сварочной проволоки:

1) плавленый марганцевый, высококремнистый флюс и низкоуглеродистая или марганцовистая сварочная проволока;

2) плавленый безмарганцевый, высококремпистый флюс и низкоуглеродистая марганцовистая сварочная проволока;

3) керамический флюс и низкоуглеродистая сварочная проволока.

Для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей чаще всего используют углеродистую проволоку марок Св-08 и Св-08А в сочетании с высококремнистым марганцевым флюсом марок ОСЦ-45, АН-348А, ОСЦ-45М, АН-348АМ (мелкий). Требования к этим флюсам регламентируются ГОСТ 9087 — 81.

Флюсы ОСЦ-45 и АН-348А с зерном 0,35 — 3,0 мм применяют для автоматической сварки сварочной проволокой диаметром

Таблица 4.10

Состав некоторых марок плавленых флюсов для сварки углеродистых и легированных сталей

Марка флюса	Массовое содержание компонентов, %									
	SiO_2	MnO	CaF_2	MgO	CaO	Al_2O_3	K_2O	Fe_2O_3	S	
				Углеродистые стали						
ОСЦ-45	38,0-44,0	38,0-44,0	6,0-9,0	до2,5	до6,5	до5,0	—	до2,0	до0,15	до0,11
АН-348А	**41,0-**34,0	34,0-38,0	4,0-5,5	5,0-7,5	»6,5	»4,5	—	»2.0	»Q15	»Q12
ОСЦ-45М	38,0-44,0	38,0-44,0	6,0-9,0	до 2,5	»6,5	»5,0	—	»20	»Q15	»Q12
АН-348АМ	**41,0-**44,0	34,0-38,0	3,5-4,5	5,0-7,5	»6,5	»4,5	—	»20	»Q15	»Q12
ФЦ-9										
АН-8	3,9 34,5	40,0 23,5	2,6 16,0	до 1,0 6,0	3,5 *3,5*	1,0 ***13,0***	— —	»0,5 *»15*	— *АО0,15*	— *АрО, 15*
				Легированные стали						
АИ-22	18,0-21,5	7,0- *9,0*	20,0-24,0	11,5-15,0	12,0-15,0	19,0-23,0	1,0-2,0	до 1,0	до 0,06	до 0,05
АН-26С	29,0-33,0	2,5-4,0	20,0-24,0	15,0-18,0	4,0-8,0	19,0-23,0	—	1,5	>ХП0	»Q10
48-ОФ-6	9,0-**12,0**	—	35,0 45,0	11,0 14,0	до 8,0	28,0-34,0	—	—	»Q05	»Q04
АН-17	4,0	0,3	45,0-60,0	3,0	16,0-23.0	20,0-27,0	—	1,5	—	—

3 мм и более. Флюсы ОСЦ-45М и АН-348АМ с зерном 0,25 — 1,6 мм применяют для автоматической и механизированной сварки сварочной проволокой диаметром менее 3 мм.

Флюс ОСЦ-45 малочувствителен к ржавчине, дает весьма плотные швы, стойкие против образования горячих трещин. Существенным недостатком флюса является большое выделение вредных фтористых газов. Флюс АН-348А более чувствителен к коррозии, чем ОСЦ-45, но выделяет значительно меньше вредных фтористых *газов*.

Сварочные флюсы поставляют в бумажных кулях обычно массой по 25 кг. При приемке партии флюса контролируют:

1) однородность состава флюса, при этом не допускается загрязнение флюса посторонними сыпучими и жидкими материалами;

2) гранулометрический *состав* флюса;

3) плотность флюса.

Для сварки низкоуглеродистых сталей проволокой Св-08 и Св-08А применяют и керамические флюсы КВС-19 и К-11. В тех случаях, когда в металле шва необходимо сохранить элементы, имеющие большое сродство к кислороду, следует применять бескислородные флюсы, химически инертные к металлу сварочной ванны.

4.4. ГАЗЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВАРКЕ ПЛАВЛЕНИЕМ

Для защиты дуги при электрической сварке плавлением применяют такие газы, как аргон, гелий, углекислый газ, азот, водород, кислород и их смеси [10, 11].

Аргон и гелий *являются* одноатомными инертными газами. Они бесцветны, не имеют запаха. Аргон тяжелее воздуха, что обеспечивает хорошую защиту сварочной ванны. Аргон, предназначенный для сварки, регламентируется ГОСТ 10157 — 79 и поставляется двух сортов в зависимости от процентного содержания аргона и его назначения. Аргон высшего качества предназначен для сварки ответственных изделий из цветных металлов. Аргон первого сорта предназначен ддя сварки сталей. Смеси аргона с другими газами в определенных отношениях поставляют по особым ТУ (техническим условиям).

Гелий значительно легче воздуха. ГОСТ 20461 —75 предусматривает два сорта газообразного гелия: гелий высокой чистоты и гелий технический.

Углекислый газ в нормальных условиях представляет собой бесцветный газ с едва ощутимым запахом. Углекислый газ, предназначенный для сварки, должен соответствовать ГОСТ 8050 — 85, в зависимости от содержания он выпускается трех марок: сварочный, пищевой и технический. Летом в стандартные баллоны емкостью 40 дм^3 (литров) заливают 25 дм^3 (литров) углекислоты, при испарении которой образуется 12600 дм^3 газа. Зимой заливают

30 $дм^3$ (литров) углекислоты, при испарении которой образуется 15120 $дм^3$ газа. Сварочную углекислоту не разрешается заливать в баллоны из-под пищевой и технической углекислоты.

Водород в чистом виде представляет собой газ в 14,5 раза легче воздуха, не имеет запаха и цвета. ГОСТ 3022 — 80 предусматривает три марки технического водорода. Водород применяется только в смесях.

Кислород применяется как добавка к аргону или углекислому газу. ГОСТ 5583 — 78 предусматривает три сорта кислорода 1, 2-й и 3-й.

В последние годы все большее применение находят смеси таких газов, как CO_2 (углекислый газ), Ar (аргон), O_2 (кислород). При сварке в газовых смесях для точной дозировки газов применяют смесители. В настоящее время применяют смесители: УКП-1-71 для смеси (CO_2 + O_2); АКУП-1 для смеси (Ar + CO_2 + O_2); УКР-1-72 для смеси (CO_2 + O_2). Перед смесителем устанавливают осушители для отделения паров или конденсата влаги.

4.5. УСЛОВИЯ ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКИ СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сварочные материалы, к которым относят электроды, флюсы, сварочную проволоку могут быть первопричиной брака при сварке, если их хранение организовано неправильно. Поэтому к хранению сварочных материалов предъявляются определенные требования. Электроды, флюсы, сварочную проволоку следует хранить в специальных сухих отапливаемых помещениях при температуре не ниже 18 °С и относительной влажности не более 50 %.

Сварочные электроды и флюсы, как правило, на месте подвергают прокалке или просушке по режимам, приведенным в паспортах или **ТУ,** разработанных заводом-изготовителем. Например, электроды марки МР-3 прокаливают при температуре 170 — 200 °С в течение 1,5 ч; электроды марки УОНИ 13/45 — при температуре 350 - 400 °С в течение 1,5 ч. Флюсы ОСЦ-45 и АН-348 прокаливают при температуре 300 — 400 °С в течение 5 ч. После прокалки или

просушки электроды должны быть использованы в течение ближайших 5 суток, а флюсы — в течение 15 суток.

Сварочную проволоку необходимо хранить в условиях, исключающих ее загрязнение и окисление. Не всегда это удается выполнять в производственных условиях, поэтому в цехах применяют специальные зачистные машины для подготовки сварочной проволоки перед сваркой. Сварочная проволока для сварки алюминиевых сплавов поступает к потребителю протравленной химическим способом, кассеты с проволокой упаковывают в герметически запаянные полиэтиленовые пакеты, откуда предварительно откачивают воздух.

Защитные газы хранят и транспортируют преимущественно в баллонах емкостью 40 — 50 дм^3 (литров) при давлении 15 МПа, а жидкую углекислоту — до б МПа.

Для предохранения от коррозии и быстрого опознания баллоны, согласно требованиям ГОСТ 949 — 73, окрашивают в различные цвета и делают соответствующие надписи (табл. 4.11).

Наряду с баллонным снабжением сварочных постов защитными газами применяют танки-газификаторы для углекислого газа,

Таблица 4.11

Окраска баллонов для газов и надписи на них

ГОСТ на газ	Окраска баллонов	Цвет надписи	Цвет полосы
ГОСТ 10157 —79*. Аргон газообразный и жидкий. Технические условия	Серая	Зеленый	Зеленый
ГОСТ 20461— 75*. Гелий газообразный. Метод определения доли примесей эмиссиошшм спектральным анализом	Коричневая	Белый	—
ГОСТ 9293 — 74*. Азот газообразный и жидкий. Технические условия	Черная	Желтый	Коричневый
ГОСТ 8050 — 85. Двуокись углерода газообразная и жидкая. Технические условия	Черная	Желтый	—
ГОСТ 5583 — 78*. Кислород газообразный технический и медицинский. Технические условия	Голубая	Черный	—
ГОСТ 3022—80*. Водород технический. Технические условия	Темно-зеленая	Красный	—

аргона и кислорода. Газы перекачивают в специальные хранилища, откуда по магистралям газы поступают на рабочие места. Трубопроводы окрашивают в цвета, аналогичные цветам баллонов. Однако там, где не требуется большого расхода газов, применяется традиционная баллонная система для питания сварочных постов и рампового питания небольших цехов или участков. Транспортировка газов производится с соблюдением инструкций, регламентирующих квалификацию спецводителя (ограниченные по времени стоянки; поддержание определенного давления при вынужденных и аварийных остановках и другие специальные условия, связанные с эксплуатацией специальных автоцистерн).

5 ГЛАВА

АТТЕСТАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ, АТТЕСТАЦИЯ СВАРЩИКОВ, ТРЕБОВАНИЯ К СВАРИВАЕМЫМ ЭЛЕМЕНТАМ

5.1. АТТЕСТАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ

Аттестованная технология сварки — конкретная технология сварки, которая прошла приемку в данной производственной организации в соответствии с требованиями операционно-технологической карты и технологической инструкции по сварке, что подтверждается актом аттестации.

Аттестацию технологии сварки осуществляют согласно нормативным документам: при строительстве магистральных газопроводов согласно СП — 105 — 34 — 96, а при строительстве и капитальном ремонте нефтепроводов согласно РД 153 — 006 — 02 [16, 18].

На основании действующих нормативно-технических документов перед началом производства работ каждый подрядчик обязан провести аттестацию технологии сварки, которую он планирует к использованию при сооружении данного магистрального трубопровода, включая ремонт и специальные сварочные работы.

Аттестуемая технология сварки должна быть представлена технологической инструкцией, в которой оговариваются:

процесс сварки или сочетания процессов, предъявляемых к аттестации, с указанием, как выполняется этот процесс (вручную, механизированно, полумеханизированно или автоматически);

размеры труб (диаметры и толщины стенок), класс прочности труб, марка стали (тип — для импортных труб), ГОСТ или ТУ на поставку труб;

требования к подготовке кромок свариваемых труб (форма и размеры разделки кромок), требования к качеству зачистки их поверхности и тип инструмента для зачистки;

требования к сборке стыков (способ закрепления труб, допустимые зазоры и др.);

применяемые сварочные материалы (тип электрода, вид покрытия, марки электродов и/или сварочной проволоки, диаметр электрода и/или сварочной проволоки, марка флюса, вид и состав защитного газа), стандарт или ТУ на их поставку, требования к условиям их хранения и подготовке к сварке;

параметры сварочного процесса (род тока, его полярность, сила тока и напряжение на дуге, диапазон допустимых скоростей сварки, время оплавления, давление осадки, метод удаления наружного и внутреннего грата и др.);

положение труб в процессе сварки, количество и расположение прихваток, последовательность наложения слоев и допустимый временной интервал между их выполнением;

тип и основные характеристики сварочного оборудования, в том числе источников питания и центратора;

условия удаления центратора (минимальное количество слоев, сваренных до удаления центратора, и протяженность шва в процентах от периметра стыка);

необходимость предварительного, сопутствующего подогрева и послесварочной термообработки, а также их параметры, средства и условия контроля температуры;

другие характеристики, соблюдение которых требуется при выполнении процесса;

условия выполнения ремонта дефектных сварных швов;

параметры, требующие регистрации в процессе сварки;

допустимая температура эксплуатации сварных соединений участка трубопровода.

Для аттестационных технологических испытаний процесса сварки необходимо сварить кольцевое стыковое соединение в соответствии с технологической инструкцией и в присутствии представителя технадзора Заказчика.

Сварку стыка следует выполнять в условиях, тождественных трассовым, на трубах стандартной длины с использованием материалов, машин и механизмов, которые предусмотрены технологией сварки и имеют сертификаты соответствия.

При аттестации технологии специальных сварочных работ и ремонта сварных соединений допускается выполнять работы на катушках шириной не менее 250 мм.

Сварку стыка для аттестации технологии осуществляют сварщики, выбранные по усмотрению Подрядчика.

В процессе и после сварки стык подвергают пооперационному и визуальному контролю, контролю неразрушающими физическими методами, а также испытанию механических свойств сварного соединения. Дополнительно (например, в случаях двусторонней механизированной сварки под флюсом) определяют размеры швов по макрошлифам.

По требованию заказчика производится замер твердости сварного шва, ЗТВ и основного металла в соответствии со схемой, приведенной на рис. 5.**1**.

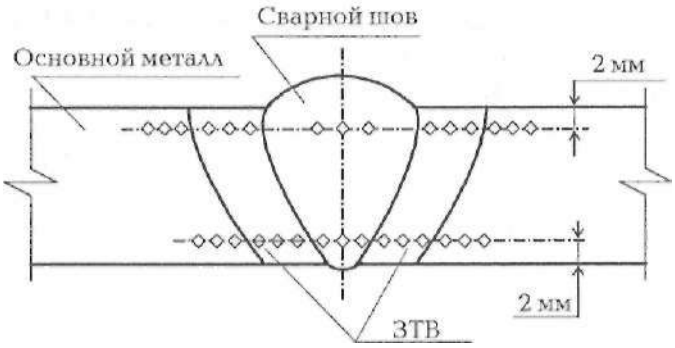


Рис. 5.1. Схема замера твердости сварного шва

Замер твердости выполняют по Викерсу HV10, линии замера должны располагаться на расстоянии не менее 2 мм от наружной и внутренней поверхности трубы, в каждой зоне замера должно быть не менее трех отпечатков (ЗТВ и основной металл — с двух сторон от оси шва). Максимальная твердость не должна превышать 350HV для швов без последующей термообработки и 320HV для швов после термообработки.

Для оценки механических свойств сварного соединения испытывают образцы на растяжение, статический и ударный изгиб. Предварительно может быть проведена дефлокирующая термическая обработка образцов на растяжение и статический изгиб по режиму 250 °С х 6 часов.

При механизированной дуговой сварке поворотных стыков под флюсом и в защитных газах, а также контактной стыковой сварке оплавлением темплеты для изготовления образцов и макрошлифов вырезают в любом месте сварного соединения, но не ближе (для дуговой сварки) 200 мм от места окончания процесса сварки. При сварке неповоротных стыков вырезку указанных темплетов осуществляют по схеме, приведенной на рис. 5.2, при диаметре труб 1020 мм и более вырезать темплеты можно как из целого, так и из половины стыка. Количество образцов для различных видов испытаний приведено в табл. 5.1.

Образцы для испытания на растяжение и ударный изгиб, а также стандартные образцы для испытания на статический изгиб изготавливают и испытывают в соответствии с ГОСТ 6996.

Испытание на растяжение сварного соединения труб необходимо проводить на поперечных плоских образцах типа XII или XIII с удалением выпуклости (усиления) шва по ГОСТ 6996.

Испытания на ударный изгиб сварного соединения проводят на поперечных образцах типа IX или XI по ГОСТ 6996 с V-образным надрезом (образцы Шарпи). При испытании металла шва надрез наносят по его центру, через все слои шва перпендикулярно поверхности трубы, при испытании металла зоны термического

Таблица 5.1

Количество образцов для механических испытаний

Группа по толщине стенки, **мм**	На растяжение	На статический изгиб			На ударный изгиб (KCV)*	
		с расположением корня шва		на ребро	по шву	по ЗТВ"
		наружу	внутрь			
До 12,5	4	4	4	—	3	3
>12,5-19,0	4	—	—	8	3	3
>19,0	4	—	—	8	б	6

* Испытания на ударный изгиб для швов, выполненных стыковой контактной сваркой, проводят только на стыках, подвергнутых термообработке.

** Испытания на ударный изгиб по ЗТВ проводят только в случае дуговой сварки.

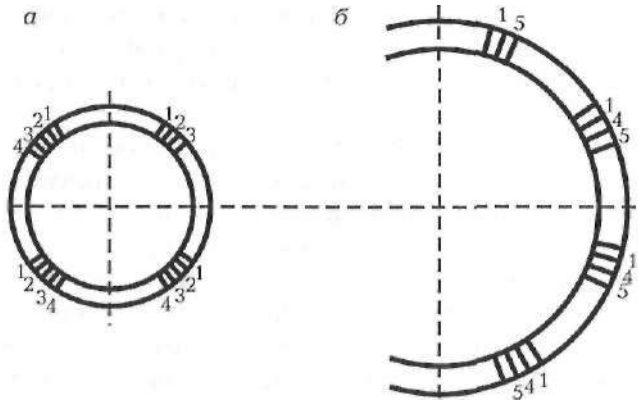


Рис. 5.2. Схема вырезки темплетов для изготовления образцов для механических испытаний при аттестации технологии сварки:
а — для труб диаметром 530 мм и более; *б* — для труб диаметром 1020 мм и более; образцы для испытания: / — на растяжение; *2* — на угол загиба "корнем наружу"; *3* — на угол загиба "корнем внутрь"; *4* — на ударную вязкость; *5* — на "ребро" (из каждого темплета по два образца). В том случае, когда образцы вырезают из целого стыка труб диаметром 1020 мм и более, вместо образцов 2, 3 вырезают образцы 5

влияния — в месте: линия сплавления +1—2 мм в сторону основного металла.

При вырезке образцов следует принять во внимание, что одна из чистовых поверхностей образца (после окончательной обработки) должна располагаться на расстоянии 1 — 2 мм от наружной поверхности трубы.

При толщине стенки трубы более 19 мм для испытания на ударный изгиб вырезают дополнительно еще 2 комплекта образцов с V-образным надрезом, одна из чистовых поверхностей которых расположена на расстоянии 1 — 2 мм от внутренней поверхности трубы.

Для стандартных испытаний на статический изгиб с расположением корня шва внутрь или наружу соответственно применяют образцы типа XXVII по ГОСТ 6996. При испытании на изгиб образцов, вырезаемых в направлении толщины стенки трубы с располо-

жением ширины образца в плоскости, перпендикулярной поверхности трубы (образцы для испытания на "ребро"), применяют образцы типа XXVIIIa по ГОСТ 6996. Ширину таких образцов принимают равной 12,5 мм.

При испытании образцов типа XXVII применяют оправку диаметром 4s±2 мм, где *s* — толщина образца (металла трубы), мм; для образцов XVIIIa диаметр оправки составляет 50±2 мм.

Временное сопротивление разрыву сварных соединений, определяемое на плоских разрывных образцах со снятым усилением, должно быть не ниже нормативного значения временного сопротивления разрыву основного металла труб.

Для сварных соединений, выполненных дуговой сваркой, среднее арифметическое значение угла изгиба образцов при испытании согласно ГОСТ 6996 должно быть не ниже 120 °, а его минимальное значение — не ниже 100 °.

Для сварных соединений, выполненных контактной стыковой сваркой, среднее арифметическое значение угла изгиба образцов при испытании согласно ГОСТ 6996 должно быть не ниже 70 °, а его минимальное значение — не ниже 40 °. При подсчете среднего значения все углы больше 110° принимаются равными 110°.

Ударную вязкость металла кольцевых сварных соединений газопроводов определяют при температуре испытания —20 °С.

Величина ударной вязкости металла сварных соединений, определяемая на образцах с V-образным надрезом (образцы типа Шарпи) при принятой температуре испытаний, должна быть не менее 34,4 Дж/см^2 (3,5 кгс/см^2).

Ударная вязкость определяется как среднее арифметическое из результатов испытаний при заданной температуре трех образцов, при этом минимальное значение ударной вязкости для одного образца должно быть не менее 29,4 Дж/см^2 (3 кгс/см^2).

Когда по каким-либо видам испытаний получают неудовлетворительные результаты, по согласованию с заказчиком проводят повторную сварку и испытания двух дополнительных стыков. Если при повторных испытаниях опять будут получены отрицательные результаты, решение о новых испытаниях при аттестации данного технологического процесса сварки и объемах этих испытаний может быть принято Заказчиком только после выявления и устранения подрядчиком причин неудовлетворительных результатов.

По результатам аттестации технологии сварки в соответствии с технологической инструкцией и картой составляется акт аттестации технологии сварки, который должен содержать: список полного состава бригады сварщиков, которая участвовала в аттестации, с указанием выполняемых каждым сварщиком слоев шва, клейма электросварщиков данной бригады, номера и названия технологических карт, по которым выполнена аттестация, конкретные марки сварочных материалов и конкретные режимы сварки. К акту прилагаются результаты визуального контроля швов, неразрушающего контроля, механических испытаний и контроля макрошлифов. Акты аттестации технологии следует хранить в монтажной организации и сдавать Заказчику в составе исполнительной документации.

Результаты аттестационных испытаний технологического процесса сварки распространяются только на те условия сварки, которые регламентированы технологической инструкцией и картой. В случаях одного или более перечисленных ниже изменений условий сварки должны быть проведены новые аттестационные испытания:

изменение процесса (или сочетания процессов) сварки и способа(ов) его выполнения;

изменение материала труб: ТУ или стандарта на поставку, прочностного класса (табл. 5.2), состояния поставки;

изменение диаметра свариваемых труб за пределы групп, приведенных в табл. 5.3;

изменение толщины стенки трубы за пределы групп, приведенных в табл. 5.4;

изменение разделки кромок за пределы допусков, регламентированных технологической инструкцией;

изменение типа сварочных материалов за пределы принятого технологией прочностного класса, типа электродов, вида электродного покрытия и сердечника порошковой проволоки, типа и основности флюса;

изменение рода тока (переменный, постоянный) и полярности (обратная, прямая);

изменение положения труб в процессе сварки и направления сварки (снизу вверх, сверху вниз);

изменение числа слоев шва (в сторону уменьшения) и временного интервала между их выполнением (в сторону увеличения);

Таблица 5.2

Группы по классу прочности труб

Группа	Класс прочности	Нормативное значение временного сопротивления разрыву металла, МПа (кгс/мм^2)
1	Менее К50	Менее 490(50)
2	К50-К54	490(50)-529(54)
3	К55-К60	539(55)-588(60)
4	Свыше К60	Более 588 (60)

Таблица 5.3

Группы по диаметрам труб

Группа	Диаметр труб, мм
	200 и менее
	>200-720
	>720-1420

Таблица 5.4

Группы по толщине стенки

Группа	Толщина стенки трубы, мм
	12,5 не менее
	> 12,5-19,0
	>19,0

изменение типа центратора (внутренний, наружный) и условий его удаления;

изменение параметров предварительного, сопутствующего подогревов и послесварочной термообработки;

уменьшение числа сварщиков на корневом слое шва, предусмотренного технологической инструкцией.

Аттестацию технологии ремонта дефектных стыков следует проводить одновременно с аттестацией технологии сварки трубопровода преимущественно на том же стыке. При проведении аттестации технологии ремонта производят ремонт участков сварного шва длиной не менее 300 мм в зоне вырезки образцов, обозначенных на рис. 5.2. Если ремонт сварного шва выполняется теми же

сварочными материалами и тем же методом сварки, которые предусмотрены аттестованной технологией сварки, разрешается аттестовать технологию ремонта по результатам неразрушающего контроля одного потолочного участка шва длиной не менее 300 мм.

Технология сварки захлестов и другие специальные сварочные работы должны быть аттестованы отдельно, в соответствии с вышеперечисленными требованиями [18].

5.2. АТТЕСТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ СВАРЩИКОВ

Аттестация сварщиков и специалистов сварочного производства проводится в целях установления достаточности их теоретической и практической подготовки, проверки их знаний и навыков и предоставления права сварщикам и специалистам сварочного производства выполнять работы на объектах, подконтрольных Госгортехнадзору России [14, 15].

Система аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства определяет:

уровни профессиональной подготовки специалистов сварочного производства;

структуру и принципы формирования аттестационных органов;

требования к образованию и специальной подготовке сварщиков и специалистов сварочного производства;

порядок аттестации сварщиков;

порядок аттестации специалистов сварочного производства;

порядок ведения реестра системы аттестации.

Установлено четыре уровня профессиональной подготовки:

I уровень — аттестованный сварщик;

II уровень — аттестованный мастер-сварщик;

III уровень — аттестованный технолог-сварщик;

IV уровень — аттестованный инженер-сварщик.

Присвоение уровня не отменяет присвоенного квалификационного разряда по действующей системе согласно Общероссийскому классификатору профессий рабочих, должностей служа-

щих и тарифных разрядов (ОК 016 — 94).

Организационная структура системы аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства включает в себя:

Госгортехнадзор России;

Национальный аттестационный комитет по сварочному производству (НАКС);

головные аттестационные центры (ГАЦ);

аттестационные центры (АЦ);

аттестационные пункты (АП).

Аттестованный сварщик — специалист I уровня профессиональной подготовки. Для получения I уровня аттестуемый сварщик должен иметь среднее (неполное среднее) общее образование, пройти подготовку в профтехучилищах, на спецкурсах (в том числе по месту работы) по программам, утвержденным в установленном порядке [15].

Сварщики подлежат аттестации на право выполнения сварочных и наплавочных работ конкретными видами (способами) сварки плавлением, осуществляемыми вручную, механизированными (полуавтоматическими) и автоматизированными методами при работах на объектах, подконтрольных Госгортехнадзору России.

После аттестации сварщику присваивается I уровень профессиональной подготовки (аттестованный сварщик).

Аттестация сварщиков подразделяется на первичную, дополнительную, периодическую и внеочередную.

Первичную аттестацию проходят сварщики, не имевшие ранее допуска к сварке и/или наплавке (далее по тексту — сварке) соединений оборудования, конструкций и трубопроводов, подконтрольных Госгортехнадзору России.

Для сварщиков, аттестованных по "Правилам аттестации сварщиков", утвержденных Госгортехнадзором России 16 марта 1993 г., первичной считается первая аттестация в соответствии с требованиями настоящих Правил, которую они проходят по завершении срока действия аттестационного удостоверения старого образца.

Дополнительную аттестацию проходят сварщики, прошедшие первичную аттестацию, перед их допуском к сварочным работам, не указанным в их аттестационных удостоверениях, а также после перерыва свыше 6 месяцев в выполнении сварочных работ, указанных в их аттестационных удостоверениях. При дополнитель-

ной аттестации сварщики сдают специальный и практический экзамены.

Периодическую аттестацию проходят все сварщики в целях продления указанного срока действия их аттестационных удостоверений на выполнение соответствующих сварочных работ. При периодической аттестации сварщики сдают специальный и практический экзамены.

Внеочередную аттестацию должны проходить сварщики перед их допуском к выполнению сварки после их временного отстранения от работы за нарушение технологии сварки или повторяющееся неудовлетворительное качество выполненных ими производственных сварных соединений. При внеочередной аттестации сварщики сдают общий, специальный и практический экзамены.

К первичной аттестации допускаются сварщики, имеющие:

разряд не ниже указанного в руководящей и нормативно-технической документации на сварку объектов, подконтрольных Госгортехнадзору России;

необходимый минимальный производственный стаж работы по специальности;

свидетельство о прохождении специальной теоретической и практической подготовки по аттестуемому направлению деятельности.

Если сварщик имеет опыт работы по ручной сварке, то в стаж его работы при аттестации на сварку механизированными и автоматическими способами сварки разрешается засчитывать стаж работы по ручной сварке.

Если сварщик имеет опыт работы по механизированным способам сварки, то в стаж его работы при аттестации на сварку автоматическими способами сварки разрешается засчитывать стаж работы по механизированным способам сварки.

Когда кандидат самостоятельно представляет заявку на проведение аттестации, он должен иметь разряд не ниже 4-го.

Аттестуемый сварщик должен уметь выполнять сварочные работы с соблюдением требований технологической документации и правил безопасности.

Порядок аттестации сварщиков изложен в "Технологическом регламенте аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства".

Требования к минимальному стажу работы по специальности, необходимому для допуска сварщика к первичной аттестации:

Способы сварки и наплавки	*Минимальный стаж работы по способу сварки, мес*
1. Ручная дуговая, газовая, механизированная пеплавящимся и плавящимся электродами в защитных газах, в том числе вварка труб в трубные решетки	12 *
2. Ручная неплавящимся электродом в инертных газах, автоматическая и механизированная под флюсом, автоматическая пеплавящимся и плавящимся электродом в защитных газах, электрошлаковая, электронно-лучевая, плазменная	6

* Решением аттестационной комиссии минимальный производственный стаж может быть уменьшен, но при этом в любом случае он должен составлять не менее шести месяцев для аттестации на допуск к ручной и полуавтоматической сварке и не менее трех месяцев для аттестации на допуск контроля автоматической сварки.

"Для выполнения сварных соединений неответственных конструкций по согласованию с органами Госгортехнадзора России к первичной аттестации могут быть допущены выпускники профессионально-технических училищ или учебных комбинатов, не имеющие производственного стажа.

5.2.1. АТТЕСТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ СВАРЩИКОВ, ПРОВОДИМЫЕ ЗАКАЗЧИКОМ

Целью аттестационных испытаний является определение способности сварщика выполнить качественное сварное соединение при использовании технологического процесса сварки, прошедшего соответствующую аттестацию [18]. Прежде чем приступить к выполнению сварочных работ каждый сварщик должен сварить на специально подготовленных "катушках" допускной стык (рис. 5.3).

При ручной дуговой сварке неповоротных стыков труб диа-

Рис. 5.3. Аттестация сварщиков — сварка кольцевого стыкового соединения

метром 1020 мм и более допускается сваривать при проведении аттестации сварщиков одну из половин стыка относительно вертикальной оси.

Сварщик-оператор механизированной сварки должен выполнить весь набор операций, связанный со сваркой стыка в целом или той части шва, на которую он аттестуется.

Сварщик(и), выполнивший(е) сварку стыка, признанного годным при аттестации технологии сварки, считается(ются) прошедшим (и) испытания и для получения аттестационного удостоверения ему (им) не требуется проходить дополнительную аттестацию.

В процессе аттестационных испытаний сварщик(и) должен(ны) выполнять требования технологической инструкции и карты и применять такую же технику выполнения швов, которая будет использоваться в дальнейшем при сооружении трубопровода. Допускнои стык следует сваривать в присутствии представителя технадзора Заказчика при условиях непрерывного пооперационного контроля и последовательной оценки качества операций.

Аттестационные испытания сварщика, в том числе при работе в составе бригады, назначают также в случаях, если:

он имел перерыв в своей работе более трех месяцев;

в технологическую документацию внесены изменения (изменение материала труб, диаметра труб, изменение типа сварочных материалов и т. п., см. п. 5.1)

Допускной стык подвергают:

пооперационному контролю в процессе сварки;

визуальному осмотру с определением геометрических параметров сварного соединения (рис. 5.4, *5.5);*

радиографическому контролю;

испытанию образцов на излом с надрезом;

контролю за размерами швов и наличием недопустимых дефектов по макрошлифам.

После радиографического контроля допускного стыка должны быть выполнены испытания образцов на излом с надрезом. Схема вырезки образцов в зависимости от диаметра трубы показана на рис. 5.6, а форма и размеры самого образца — на рис. 5.7.

Образцы (рис. 5.7) должны иметь длину около 230 мм и ширину около 20 мм. Они могут быть вырезаны газовой резкой, фрезой или другим аналогичным инструментом с последующей механической обработкой. Образцы должны иметь надрезы, выполненные ножовкой в центральной части сварного шва (со стороны наружного усиления) и по бокам шва. Кромки образца должны быть параллельные и гладкие.

При толщине стенки трубы менее 20 мм глубина боковых надрезов должна находиться в пределах 3 мм, а поперечного надреза по усилению шва — 1,5 мм, при толщине стенки трубы 20 мм и более — соответственно 4,0 мм и 2,5 мм.

Усиление и обратный валик не удаляют.

Образцы могут быть разрушены преимущественно растяжением на разрывной машине. В отдельных случаях при соблюдении техники безопасности разрешается разрушение образцов ударом по центру образца при зажатых концах или ударом молота по свободному концу образца при зажатом другом конце.

Поверхность излома должна быть полностью проваренной и сплавленной между слоями шва. Максимальный размер любой газовой поры должен быть не более 2,5 мм, а суммарная площадь допустимых пор не должна превышать 3 % площади излома образца.

Рис. 5.4. Ручная электродуговая сварка

Рис. 5.5. Контроль сварного соединения шаблоном сварщика

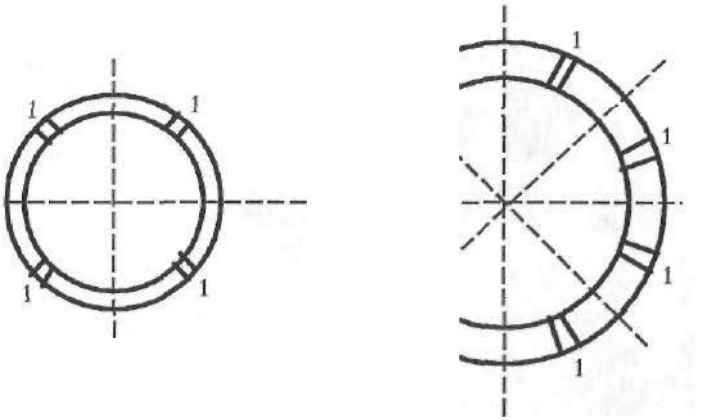


Рис. 5.6. Схема вырезки образцов для испытаний при аттестации сварщиков:
а — для труб диаметром 530 мм и более; *б* — для труб диаметром 1020 мм и более; *1* — образцы для испытания на излом (Nick Break)

It

230

Усиление не удалять

Толщина трубы

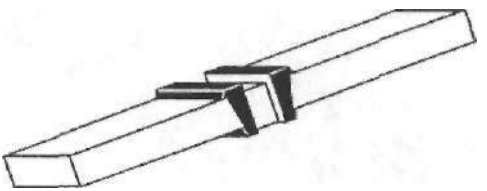


Рис. 5.7. Образец с надрезами для испытания на излом

Глубина шлаковых включений не должна превышать 1 мм. Расстояние между соседними шлаковыми включениями должно быть не менее 12,5 мм.

Если в изломе обнаружены дефекты типа флокенов ("рыбьих глаз"), то они не являются браковочным признаком при данном испытании.

По согласованию с Заказчиком допускается вместо испытаний на излом образца с надрезом проводить испытания на статический изгиб. Для этого из положения, близкого к потолочному ("5 — 7 часов"), должен быть вырезан комплект из двух образцов для испытаний на ребро.

Если результаты контроля удовлетворяют вышеперечисленным требованиям, то признают, что сварщик (сварщики) выдержал(ли) испытания, что должно быть подтверждено актом аттестации и именной карточкой.

Если результаты контроля не удовлетворяют вышеперечисленным требованиям, то разрешается выполнить сварку и контроль двух других допускных стыков; в случае получения при повторном контроле неудовлетворительных результатов хотя бы на одном из стыков сварщика признают невыдержавшим испытание. К повторному испытанию сварщик может быть допущен только после дополнительного обучения (тренировки) по специальной программе, согласованной с технадзором Заказчика.

Срок действия аттестационных испытаний сварщиков определяется на время строительства данного объекта в том случае, если соблюдены следующие условия:

сварщик в течение всего этого времени выполняет *только* ту работу, по которой он прошел аттестационные испытания;

перерыв в работе за этот период не превышает трех месяцев.

Если сварщик за время работы нарушил технологическую дисциплину и допустил брак в работе, технадзор Подрядчика или Заказчика имеет право отстранить его от работы и потребовать переаттестации.

6 ГЛАВА

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА КОЛЬЦЕВЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ

Неразрушающий контроль сварных соединений трубопроводов следует производить методами и в объемах, предусмотренных действующими нормативными документами:

СНиП 2.05.06 — 85*. Магистральные трубопроводы;

СНиП III —42 —80 —85*. Магистральные трубопроводы. Правила производства и приемки работ;

ГОСТ 7512 — 82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод;

ГОСТ 14782 — 86. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые ;

ВСН 012 — 88. Строительство магистральных и промысловых трубопроводов. Контроль качества и приемка работ.

Неразрушающий контроль сварных соединений технологических трубопроводов пара, масла, горячей воды следует производить методами и в объемах, предусмотренных "Правилами устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов" (ПБ 03-108-96).

Рассмотрим общую классификацию методов и приборов неразрушающего контроля качества материалов и изделий:

Акустические для контроля методами:

теневым;
эхо-импульсным;
резонансным;
свободных колебаний;
эмиссионным;
импедансным;
велосиметрическим.

Капиллярные для контроля методами:

цветным (хроматическим);

яркостным (ахроматическим);
люминесцентным;
люминесцентно-цветным;
фильтрующихся частиц;
комбинированным.

Магнитные для контроля методами:
магнитопорошковым;
магнитографическим;
магнитоферрозондовым;
индукционным;
магнитополупроводниковым.

Оптические для контроля методами:
прошедшего излучения;
отраженного излучения;
собственного излучения.

Тепловые для контроля методами:
прошедшего излучения;
отраженного излучения;
собственного излучения.

Радиационные для контроля методами:
рентгеновским;
гамма;
бета;
нейтронным;
позитронным.

Радиоволновые для контроля методами:
прошедшего излучения,
отраженного излучения,
собственного излучения.

Электромагнитные (вихревых потоков) и электрические:
для контроля *электромагнитным* методом с использованием преобразователей: проходных, накладных, экранных, комбинированных;
для контроля *электрическим* методом.

Визуальные.

При контроле качества кольцевых сварных соединений трубопроводов действующими нормативно-техническими документами рекомендуются рентгенографический, ультразвуковой и визуальный измерительный контроль. При диагностике технического со-

стояния трубопроводов и оборудования также используют и другие методы.

6.1. ТИПЫ ДЕФЕКТОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В сварочном производстве различают дефекты подготовки изделий под сварку и дефекты, возникающие в процессе сварки. Сварочные дефекты могут быть наружными и внутренними. Неразрушающие методы контроля применяют, как правило, для определения внутренних макроскопических дефектов. Наружные дефекты сварки обычно выявляют внешним осмотром [5, 11, 23]. На рис. 6.1. представлены виды и причины возникновения дефектов сварных швов.

Допущенные дефекты при подготовке и сборке приводят к появлению собственно сварочных дефектов. Наиболее характерные дефекты этого типа: неправильный угол скоса кромок в швах; слишком большое или малое притупление по длине стыкуемых кромок; непостоянство зазора между кромками; несовпадение стыкуемых плоскостей кромок; расслоения и загрязнения на кромках и т. п.

Причинами подобных дефектов могут быть неисправности оборудования, применяемого для изготовления заготовок и приспособлений для сборки, недоброкачественность исходных материалов, низкая квалификация обслуживающего персонала.

Правильность сборки контролируют внешним осмотром и геометрическими измерениями с помощью шаблонов и специализированного инструмента.

Форма и размеры швов задаются техническими условиями. При сварке плавлением, как правило, регламентируют ширину и выпуклость шва, число проходов и глубину проплавления. Швы могут иметь неравномерность, которая появляется вследствие неустойчивого режима сварки, неравномерности зазора и угла скоса кромок. Неправильная форма швов является следствием неточного направления электрода относительно разделки. В случае недостаточной скорости подачи электродной проволоки при данной скорости сварки, увеличения угла скоса кромок или зазора

между ними, протекания металла в зазор возникает так называемая неполномерность сварных швов. В местах расположения прихваток из-за нестабильности сварочного процесса появляется неравномерность шва.

Поры образуются при сварке загрязненных кромок металла, т. е. при плохой зачистке от окалины, ржавчины. Поры и шлаковые включения образуются часто вследствие недостаточного сварочного тока и чрезмерно большой скорости сварки. Размеры пор и шлаковых включений колеблются от нескольких микрометров до нескольких миллиметров, форма их обычно сферическая. Шлаковые включения могут располагаться на границе оплавления основного металла с наплавленным, непровары чаще всего — в корне шва. Шлаковые включения могут вызвать местную концентрацию напряжений и снизить прочность соединения. Встречаются микроскопические шлаковые включения — загрязнения в виде нитридов, сульфидов, легкоплавких эвтектик, оксида железа.

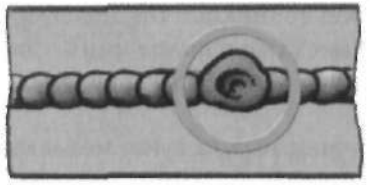
На поверхности сварных швов образуются подрезы, представляющие собой углубления в основном металле, появляющиеся в процессе сварки вдоль края шва. Подрезы уменьшают сечения изделия, вызывают концентрацию напряжений и могут стать причиной разрушения швов.

При обрыве дуги образуются кратеры в виде углублений, которые уменьшают рабочее сечение шва, снижают его прочность и коррозионную стойкость. Часто кратер служит очагом появления трещин.

В результате большого сварочного тока, чрезмерно высокой погонной энергии образуются прожоги. Место прожога должно быть повторно заварено. Наиболее часто встречающиеся дефекты — это поры. Часть из них выходит на поверхность. Из канальных пор обычно развиваются свищи, т. е. сквозные дефекты. Поверхностные дефекты можно обнаружить визуально и исправить. Если допускаются небольшие дефекты формирования, то это должно быть оговорено в инструкциях и технических условиях на изготовление данного изделия. Значительное количество поверхностных дефектов обычно указывает на наличие и внутренних дефектов.

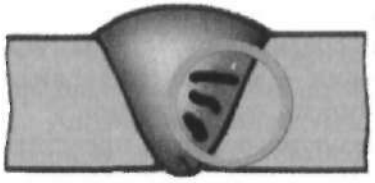
К внутренним дефектам, нарушающим сплошность сварного соединения, можно отнести поры, трещины, непровары, несплавления и др.

Трещины являются весьма опасными дефектами, так как со-

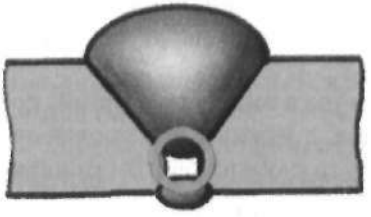


Кратеры:
обрыв дуги;
неправильное выполнение конечного участка шва.

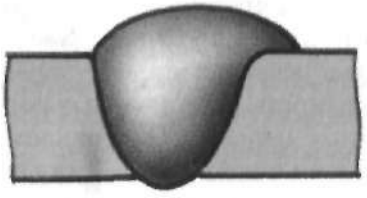
Поры:
быстрое охлаждение шва;
загрязнение кромок маслом, ржавчиной и т. п.;
непросушенные электроды;
высокая скорость сварки.



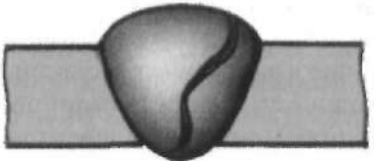
Включения шлака:
грязь на кромках;
малый сварочный ток;
большая скорость сварки.



Несплавления:
плохая зачистка кромок;
большая длина дуги;
недостаточный сварочный ток;
большая скорость сварки.

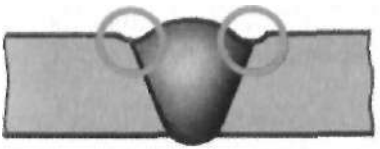


Наплыв:
большой сварочный ток;
неправильный наклон электрода;
излишне длинная дуга.

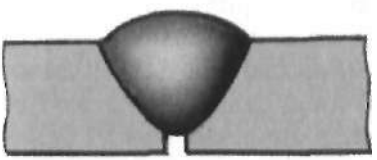


Свищи:
низкая пластичность металла шва;
образование закалочных структур;
напряжение от неравномерного нагрева.

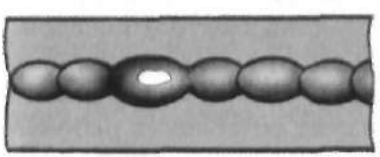
Рис. 6.1. Виды и причины возникновения



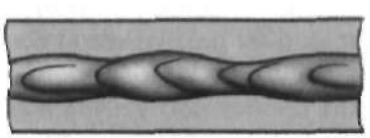
Подрезы:
большой сварочный ток;
длинная дуга;
при сварке угловых швов — смещение электрода в сторону вертикальной стенки.



Непровар:
малый угол скоса вертикальных кромок;
малый зазор между ними;
загрязнение кромок;
недостаточный сварочный ток;
завышенная скорость сварки.

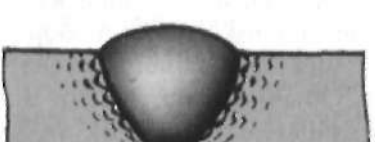


Прожог:
большой ток при малой скорости сварки;
большой зазор между кромками;
под свариваемый шов плохо поджата флюсовая подушка или медная подкладка (на трубопроводах не применяется).



Неравномерная форма шва или грубая чешуйчатость:
неустойчивый режим сварки;
неточное направление электрода.

Трещины:
резкое охлаждение конструкции;
высокое напряжение в жестко закрепленных конструкциях;
повышенное содержание серы или фосфора.



Перегрев (пережог) металла:
чрезмерный нагрев околошовной зоны;
неправильный выбор тепловой мощности;
завышенные значения мощности пламени или сварочного тока.

дефектов сварных швов

здают резкую концентрацию напряжений. Трещины появляются при сварке высокоуглеродистых и легированных сталей в результате слишком быстрого охлаждения.

Иногда трещины возникают при охлаждении сваренных заготовок на воздухе. Они могут располагаться вдоль и поперек сварного соединения, а также в основном металле, в месте сосредоточения швов и приводить к разрушению сварной конструкции. Сварные соединения с трещинами подлежат исправлению.

Несплавления кромок основного металла с наплавленным или слоев шва между собой при многослойной сварке называют непроваром, представляющим собой несплошность между основным и наплавленным металлом.

Непровары чаще всего образуются при небольшом зазоре между кромками и малом угле их скоса, завышенном притуплении и загрязнении кромок, неточном направлении электродной проволоки относительно места сварки, недостаточном сварочном токе или чрезмерно большой скорости сварки. Они снижают работоспособность сварного соединения за счет ослабления рабочего сечения, создают концентрацию напряжений в шве.

Упомянутые выше дефекты встречаются при сварке плавлением. Они уменьшают рабочее сечение шва, создают концентрацию напряжений и способствуют ускоренному разрушению конструкции. Если в сварном соединении сосудов и трубопроводов имеются сквозные дефекты, то через них происходит утечка жидкостей и газов.

6.2. КОНТРОЛЬ ВНЕШНИМ ОСМОТРОМ И ИЗМЕРЕНИЕМ

Внешним осмотром, или, как его часто называют, визуальным контролем, проверяют качество подготовки и сборки заготовок под сварку, качество выполнения швов в процессе сварки и качество готовых сварных швов. Обычно осматривают все сварные соединения независимо от применения других видов контроля. Внешний осмотр во многих случаях достаточно информативен. Это наиболее дешевый и оперативный метод контроля.

Внешнему осмотру подвергают сварной шов и зону прилегаю-

щего к нему основного металла на расстоянии не менее 20 мм от границы шва по всей протяженности сварного соединения с двух сторон.

Контроль внешним осмотром сварных соединений, подвергающихся термообработке, осуществляется до и после нее. Сварные соединения, для которых радиационный, ультразвуковой и другие методы неразрушающего контроля невозможны, следует контролировать внешним осмотром после выполнения каждого слоя шва.

Условия проведения контроля внешним осмотром и измерением, объем контроля и нормы допустимых дефектов определяются техническими условиями на продукцию.

При внешнем осмотре контролируемый сварной шов должен быть хорошо освещен. Внешний осмотр осуществляют невооруженным глазом или с помощью обзорной либо измерительной лупы 4— 10-кратного увеличения после тщательной очистки швов, околошовной зоны от шлака, брызг и других загрязнений. Сварные швы, скрытые близлежащими деталями и недоступные прямому наблюдению, осматривают с помощью оптических приборов — эндоскопов. В промышленности применяют перископические дефектоскопы с телескопической зрительной трубкой, объективом, подвижным окуляром и прямоугольной оптической призмой, изменяющей направление лучей на 90 °. Для измерения используют стальную линейку или рулетку, а также штангенциркуль.

Для замера конструктивных элементов сварных швов разработан универсальный шаблон сварщика, предназначенный для контроля качества элемента труб при сборке и сварке стыков магистральных трубопроводов.

Универсальный шаблон сварщика УШС2 (рис. 6.2) состоит из пластин, основания с нанесенными на нем метками и движка с закрепленной на нем измерительной иглой, которая поворачивается вокруг оси. На основании имеются комбинированные вырезы для замера диаметров сварочной проволоки. Универсальный шаблон позволяет контролировать глубину раковин и забоин, углы скоса и др. С помощью шаблона можно контролировать ширину зазора, форму и глубину разделки стыка. Для измерения высоты наружного сварного шва труб диаметром 530— 1620 мм применяют индикатор (рис. 6.3) с базой 60 мм.

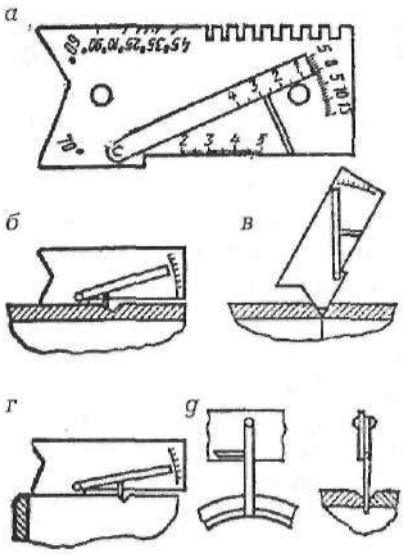


Рис. 6.2. Универсальный шаблон сварщика (а) и примеры его использования для контроля глубины раковин (б), забоин (в), формы разделки стыков (г), ширины зазора (д)

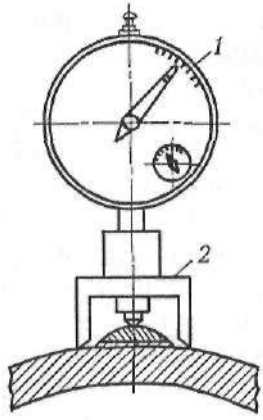


Рис. 6.3. Индикатор высоты шва:
1 – индикатор; *2* – скоба

6.3. РАДИОГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ

Радиографический контроль, основанный на использовании ионизирующего излучения, позволяет получать изображения внутренней структуры сварного соединения (рис. 6.4). Интенсивность излучения, прошедшего сквозь контролируемое изделие, меняется в зависимости от плотности материала и толщины. По результатам измерения интенсивности прошедшего излучения за объектом определяют наличие в нем дефектов.

Радиографический контроль применяют для выявления в сварных соединениях внутренних дефектов: трещин, непроваров, усадочных раковин, пор, шлаковых, вольфрамовых, оксидных и других включений [1, 23].

Толщина контролируемого металла, мм	*Минимальное раскрытие непроваров и трещин, мм*
до 40	0,1
40-100	0,2
100-150	0,3
150-200	0,4
200-250	0,5

Чувствительность радиографического контроля зависит от следующих основных факторов: энергии прямого излучения, плотности и толщины просвечиваемого металла, формы и места расположения дефекта по толщине исследуемого металла, условий просвечивания (геометрических размеров изделия, источника излучения, поверхности облучения и фокусного расстояния), оптической плотности и контрастности снимка, сорта и качества пленки или фотобумаги, типа усиливающего экрана и т. д. Поэтому она на практике определяется экспериментально. Чувствительность контроля может быть также определена как наименьший диаметр выявляемой на снимке проволоки проволочного эталона или наименьшая глубина выявляемой на снимке канавки канавочного эталона согласно ГОСТ 7512 — 82.

Конкретные значения чувствительности установлены технической документацией (требованиями чертежей, техническими условиями, правилами контроля и приемки) на контролируемые изделия.

Выпускаемые отечественной промышленностью источники ионизирующего излучения для неразрушающего контроля рассчитаны на диапазон энергии примерно 10 кэВ — 35 МэВ. Это рентгеновские аппараты, гамма-дефектоскопы и специальные электрофизические установки — ускорители электронов. Рентгеновские аппараты применяют в цеховых и реже в полевых условиях, а также в случаях, когда к качеству сварных соединений предъявляются высокие требования. Гамма-дефектоскопы используют при контроле сварных соединений больших толщин, а также стыков, расположенных в труднодоступных местах, в полевых условиях. Ускорители электронов эффективны при дефектоскопии соединений большой толщины, в основном в цеховых условиях.

Рентгеновский аппарат служит для получения рентгеновского излучения с заданными параметрами и состоит из рентгеновской

6.4. РАДИОМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ

Сущность метода заключается в преобразовании плотности потока или спектрального состава прошедшего излучения в пропорциональный им электрический сигнал (напряжение, ток). Радиометрическая установка содержит источник излучения, детектор, электронную схему обработки информации, регистрирующее устройство. Радиометрический контроль в основном применяется для контроля металлоконструкций и сварных соединений в заводских условиях. На трубопроводах применяется редко [1,23].

При радиометрическом контроле сварных соединений нашли применение два основных метода: среднетоковый и импульсный. В основном различие между ними определяется способом регистрации прошедшего излучения и электронной обработки дефектоскопической информации.

Источниками ионизирующего излучения в радиометрическом контроле служат радиоизотопные дефектоскопы, ускорители, реже рентгеновские аппараты,

Детекторами служат ионизационные камеры, газоразрядные счетчики, полупроводниковые и сцинтилляционные детекторы.

Преимущества радиометрии: высокая чувствительность, возможность бесконтактного контроля качества движущихся изделий при их поточном производстве, высокое быстродействие электронной аппаратуры, обусловленное электрической природой выходного сигнала, что позволяет получить большую производительность контроля.

Используя радиоизотопные источники излучения и ускорители, можно контролировать стальные изделия толщиной до 500 мм с чувствительностью контроля примерно 2 %.

Основным недостатком радиометрии является появление сигналов от дефекта и локальных изменений толщины изделия (выпуклости шва), определяемых состоянием внешней поверхности и качеством обработки. Это затрудняет возможность определения формы, размеров и глубины залегания дефекта. Для уменьшения влияния неровностей поверхности сварного шва разработана методика оптимизации размеров детекторов в зависимости от среднего периода неоднородности выпуклости сварного шва. Помеха, связанная с колебаниями толщины, устраняется пространствен-

ной фильтрацией, которая осуществляется путем выбора размера радиометрического детектора. Пространственная фильтрация основана на том, что колебания толщины характеризуются периодичностью. Поверхность сварного шва можно представить в виде суммы синусоидальных колебаний толщины, причем амплитуда определенной синусоиды зависит от длины волны. С помощью радиометрического детектора, регистрирующего излучение, прошедшее сквозь контролируемый сварной шов, усредняется толщина контролируемого материала вдоль продольного размера детектора. Поэтому при радиометрическом контроле происходит сглаживание спектра. Варьируя размер детектора, можно исключить из исходного спектра определенные гармоники. Например, если в продольном размере детектора укладывается целое число основных гармоник спектра неоднородности сварного шва, то основная гармоника сглаживается. Пространственная фильтрация позволяет значительно уменьшить помеху, обусловленную неоднородностью сварного шва. На основании этой методики разработаны блочные полупроводниковые детекторы ионизирующего излучения для контроля сварных соединений с неровной поверхностью.

С учетом особенностей радиометрического контроля дефект характеризуется следующими параметрами сигнала: амплитудой, протяженностью, крутизной переднего и заднего фронтов импульсов, конфигурацией вершины кривой, описывающей импульс. Протяженность характеризует длину дефекта в направлении перемещения контролируемого изделия. Крутизна переднего и заднего фронтов характеризует тип дефекта. Конфигурация вершины импульса характеризует сечение дефекта вдоль оси просвечивания. Плавные изменения сигнала указывают на равномерное изменение размера дефекта вдоль зоны контроля. Резкие скачки свидетельствуют о скоплении мелких дефектов, расположенных на малом расстоянии друг от друга. Оператор по характерным признакам сигнала определяет тип дефекта.

Для повышения производительности контроля увеличивается число каналов регистрации. Система автоматики осуществляет измерение текущих координат.

6.5. УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

Ультразвуковые волны, используемые в дефектоскопии, представляют собой упругие колебания частотой свыше 20 кГц, возбуждаемые в материале изделия. При этом частицы материала не перемещаются вдоль направления движения волны, каждая частица, совершив колебательное движение относительно своей первоначальной ориентации, снова занимает исходное положение. В металлах ультразвуковые волны распространяются как направленные лучи [1,5, 25].

Ультразвуковые волны обладают способностью проникать в глубь материала, что используется для обнаружения достаточно малых внутренних дефектов. Распространение ультразвуковых волн подчиняется законам геометрической оптики. Упругая волна в направлении распространения несет определенную энергию, и по мере удаления от излучателя интенсивность волн, т. е. количество энергии, переносимое волной за 1 с сквозь поверхность площадью 1 $м^2$, падает, а амплитуда колебаний частиц убывает.

В металлах возбуждаются волны нескольких типов: поперечные, продольные, поверхностные и др. Возникновение волн того или иного типа определяется упругими свойствами объекта и его формой. Если частицы совершают колебательные движения, совпадающие с направлением движения волны по объекту, то это продольные волны. Когда направление колебания частиц перпендикулярное, то это поперечные (сдвиговые) волны. В объектах, толщина которых соизмерима с длиной волны (листовой материал), могут возникать волны изгиба (нормальные).

В качестве источников энергии в ультразвуковых дефектоскопах используют электронные генераторы. Получаемые в них электрические импульсы преобразуются в ультразвуковые механические колебания с помощью преобразователей, основанных на пьезоэлектрическом эффекте.

Наибольшее распространение имеют пьезоэлектрические преобразователи, представляющие собой пластинку, изготовленную из монокристалла кварца или пьезокерамических материалов: титаната бария, цирконаттитаната свинца и др. На поверхности этих пластинок наносят тонкие электроды и поляризуют их в постоянном электрическом поле. Излучающую пластинку монтируют в специальной выносной искательной головке, связанной

с генератором коаксиальным кабелем.

Для контроля сварных соединений используют различные типы преобразователей с возбуждением в контролируемом изделии продольных, сдвиговых, поверхностных волн. Все преобразователи имеют следующие основные элементы: корпус, пьезоэлемент, электроды, демпфер, протектор или призму. При ультразвуковом контроле используют несколько методов прозвучивания сварных швов.

Метод отраженного излучения (эхо-метод) является основным при контроле сварных соединений. Этот метод основан на посылке в контролируемое изделие коротких импульсов, на регистрации амплитуды и времени прихода эхо-сигналов, отраженных от дефектов. Импульс, посланный излучателем, проходит сквозь изделие и отражается от противоположной стороны (поверхности). Если имеется дефект, то импульс отражается от него, что будет зарегистрировано на экране дефектоскопа в виде импульса, пришедшего раньше донного отражения.

Аппаратура для ультразвукового контроля сварных соединений представляет собой комплекс приборов и устройств, предназначенных для выявления внутренних дефектов в сварных швах и исследования структуры металла.

Весь комплекс аппаратуры можно разделить на основные группы: ультразвуковые дефектоскопы и анализаторы; комплекты эталонов и тест-образцов для поверки и настройки приборов; координатные линейки и шаблоны для определения места расположения отражающих поверхностей; вспомогательные приспособления.

Ультразвуковой дефектоскоп представляет собой прибор для излучения и приема ультразвуковых колебаний, а также для определения координат выявленных дефектов.

Эхо-сигналы регистрируют, как правило, на экране электронно-лучевой трубки. Технические характеристики дефектоскопов представлены в табл. 6.1. Фотографии современных дефектоспоков приведены на рис. 6.5.

Для контроля важно знать рабочую частоту ультразвуковых колебаний $/ = C/A$ (где С — скорость, X — длина волны звука в контролируемом изделии).

Под рабочей частотой /понимают частоту спектра излучаемого акустического сигнала, имеющую максимальную амплитуду.

Таблица 6.1

Некоторые технические характеристики ультразвуковых дефектоскопов

Технические характе-ристики	USN 52R	DIO-562	Пеленг	А1212	УД2-70	УДЦ-201П	ЕРОСН4	УД2-12
Нщах- м	5,0	7,5	8,0	2,2	5,0	2,4	10,0	5,0
/,МГц	0,4+10; 0,3+4, 02+8; 3+10	0,5+20	0,1;0,4; 0,62; **1,25;1,8;** 2,5;5,0; 10,0	1,0;1,2; 1,8;2,5; 5,0; 10,0; 15,0	0,4; 1,25; 1,8;2,5; 5,0; 10,0	1,25; 1,8; 2,5; 5,0	0,1+25	1,25; 1,8;2,5; 5,0; 10,0
ДТ,°С	-20+ +55	-10+ +50	-30+ +50	-20+ +45	-20+ + 50	0+ +50	-20+ +50	-10+ +50
Масса, кг	2,7	1,7	**2,15**	0,8	3,0	4,0	2,6	8,4

Форма электрического импульса генератора дефектоскопа может значительно искажаться в акустическом преобразователе электрических колебаний. Импульс, излучаемый генератором ударного возбуждения, в результате взаимодействия с пьезоэлементом акустического преобразователя приближается к несимметричному колоколообразному (с более крутым передним фронтом). Длительность импульса определяется числом периодов колебаний (или соответствующим интервалом времени), амплитуда которых превышает 0,1 от его максимального значения [23, 25].

Чувствительность ультразвукового контроля определяется минимальными размерами выявляемых дефектов или моделей дефектов. Для оценки координат важна точка ввода луча — место пересечения акустической оси с поверхностью преобразователя, контактирующей с изделием,

Угол ввода луча в контролируемом изделии определяется углом между перпендикуляром к поверхности, на которой установлен преобразователь, и линией, соединяющей центр цилиндрического отражателя с точкой ввода при установке преобразователя в такое положение, когда амплитуда эхо-сигнала от отражателя

Рис. 6.5. Ультразвуковые дефектоскопы (характеристики приведены в табл. 6.3):
а - USN 52R; *б* - DIO-562; *в* - УД2-70; *г* - УДЦ-201П; *д* - А1212; *е* - Пеленг; *ж* - EPOCH 4

наибольшая. Дефектоскоп характеризуется динамическим диапазоном — максимальным изменением амплитуды принимаемого сигнала, которое можно наблюдать на экране ЭЛТ дефектоскопа без регулирования чувствительности, и максимальной акустической чувствительностью, т. е. отношением амплитуд минимального сигнала, который регистрируется дефектоскопом, к амплитуде зондирующего импульса. Оценивается и электрическая чувствительность — отношение минимального электрического сигнала, регистрируемого дефектоскопом, к амплитуде сигнала генератора. К эксплуатационным параметрам относят чувствительность контроля и разрешающую способность.

Чувствительность контроля характеризует минимальные размеры дефектов того или иного типа, выявляемых в изделиях или сварных соединениях определенного типа. Ее можно оценить статистической обработкой результатов контроля и металлографического исследования большой серии объектов этого вида.

Разрешающая способность эхо-метода определяется минимальным расстоянием между двумя одинаковыми дефектами, при котором они фиксируются раздельно. Различают лучевую и фронтальную разрешающую способность. Лучевая разрешающая способность — это минимальное расстояние между двумя отражающими поверхностями в направлении прозвучивания, при котором они регистрируются раздельно. Фронтальная разрешающая способность — минимальное расстояние между двумя одинаковыми дефектами или моделями дефектов, залегающих на одинаковой глубине от поверхности ввода луча.

Эхо-метод позволяет контролировать сварные соединения при одностороннем доступе к ним. По величине отраженного эхо-сигнала можно составить представление о размере дефекта. У преобразователей есть так называемая мертвая зона — участок непосредственно у поверхности детали. В этой зоне дефект нельзя обнаружить, так как в момент возвращения эхо-сигнала от дефекта еще продолжается излучение прямого импульса.

Рассмотрим общие положения УЗК применительно к контролю сварных соединений, выполненных дуговой сваркой.

При контроле сварных соединений необходимо обеспечивать тщательное прозвучивание металла шва. Ультразвуковые волны вводят в шов через основной металл с помощью наклонных акустических преобразователей. Различают способы прозвучивания

прямым лучом, однократно и многократно отраженными лучами (рис. 6.6) [23].

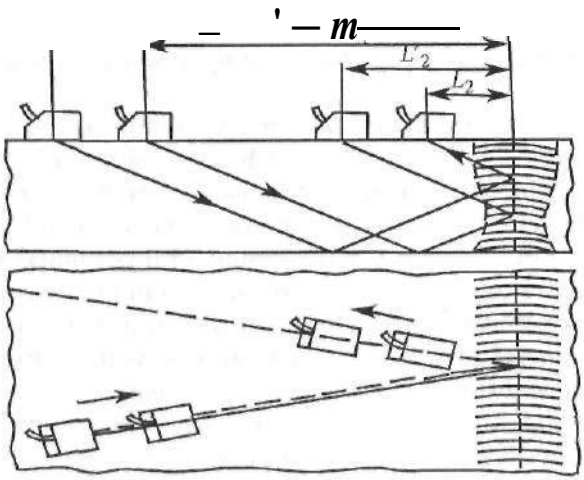


Рис. 6.6. Схема контроля при тандем-методе

Контроль сварных швов, как правило, осуществляют эхо-методом с включением акустического преобразователя по совмещенной схеме. Раздельную и раздельно-совмещенную схемы включения преобразователей применяют, если контроль по совмещенной схеме не обеспечивает достаточную достоверность.

Объекты контроля должны иметь очищенную от сварочных брызг поверхность для обеспечения акустического контакта преобразователя с контролируемым изделием. При контроле на горизонтальной поверхности в качестве контактной среды используют воду, в других случаях — масло или пасту, особенно при контроле вертикальных стыков.

Форма валика шва на качество контроля оказывает сильное влияние, так как эхо-сигналы от валика маскируют эхо-сигналы от дефектов, особенно при малом угле прозвучивания.

Критериями для разбраковки при ультразвуковом контроле чаще всего служат амплитуда эхо-сигнала, а также условные высота, ширина и протяженность дефекта. Условная протяженность

характеризует размеры дефекта вдоль шва (в плане), а условные ширина и высота — размеры дефекта в сечении шва.

Условную поверхность дефекта измеряют длиной зоны перемещения искателя вдоль шва, в пределах которой воспринимается эхо-сигнал от выявленного дефекта. Аналогично при перемещении преобразователя нормально ко шву измеряют условную ширину дефекта.

Условную высоту дефекта вычисляют по разности интервалов времени между зондирующими импульсами и эхо-импульсами при крайних положениях преобразователя, между которыми измеряли условную ширину. Имеется несколько способов задания крайних положений искателя при измерении условных размеров.

В качестве эталонных отражателей обычно используют плоскодонные сверления, ориентированные перпендикулярно к направлению прозвучивания, боковые сверления или зарубки.

В нашей стране используют четыре стандартных образца. Эти образцы применяют для определения чувствительности, разрешающей способности, точности глубиномера и угла призмы преобразователя. Образец изготовляют из органического стекла. На образце имеется набор боковых цилиндрических отражателей диаметром 2 мм, амплитуда сигнала от которых изменяется на 30 — 50 дБ, что достаточно для решения большинства задач ультразвуковой дефектоскопии сварных соединений.

При разработке методики контроля основное внимание уделяют надежному выявлению дефектов при возможно меньшем количестве необходимых операций.

В процессе отработки методики контроля выбирают экспериментально оптимальные параметры (частоту ультразвуковых колебаний, чувствительность и угол призмы преобразователя). При этом данные ультразвуковой дефектоскопии сопоставляют с результатами рентгенографии, осмотра излома или металлографического исследования сварных швов.

Настраивая дефектоскоп на поисковую чувствительность, определяют способ прозвучивания, тип преобразователей и пределы их перемещения, а также характер ожидаемых дефектов. Особое внимание уделяют тем дефектам, отражение от которых можно получить лишь тогда, когда их поверхность перпендикулярна к акустической оси преобразователя.

Рассмотрим контроль сварных швов, получаемых контактной

стыковой сваркой. Дефекты контактной сварки имеют наибольшую площадь в плоскости сварного стыка. Поэтому они плохо выявляются другими методами контроля, например радиографическим. Для соединений, полученных контактной стыковой, диффузионной, высокочастотной сваркой, и других подобных видов сварных соединений, имеющих небольшие дефекты по ширине шва, требуются специальные методы контроля.

На поверхностях изломов образцов, полученных контактной сваркой и разрушенных по зоне соединения, можно обнаружить участки с мелкозернистой структурой излома, имеющие относительно небольшую площадь. Такие участки обычно называют матовыми пятнами, которые отличаются от качественного излома с крупнозернистой структурой. Дефекты сварных соединений, выполненных контактной стыковой сваркой, в зависимости от их строения в различной степени отражают ультразвуковые колебания.

По отражательным характеристикам дефекты контактной сварки можно условно разделить на два типа: несплошности, которым свойственны в равной степени зеркальное и обратное отражения; дефекты, характеризующиеся в основном зеркальным и в значительно меньшей степени обратным отражением.

Рассмотрим вначале особенности обнаружения дефектов первого типа. Известно, что при ультразвуковом контроле сварных соединений в реальных условиях основными помехами при обнаружении несплошностей являются ложные сигналы от выпуклости шва и недостаточно удаленного грата. Практика ультразвукового контроля сварных соединений показывает, что при необходимой чувствительности контроля амплитуды отраженных сигналов от выпуклости шва соизмеримы с амплитудами эхо-сигналов от дефектов. Таким образом, задача селекции эхо-сигналов от дефектов первого типа сводится к обнаружению сигналов от дефектов на фоне указанных выше помех.

Исследования показали, что оптимальные углы ввода ультразвуковых колебаний для таких соединений составляют 70 — 72 °, рабочая частота — 2,5 МГц.

При обнаружении дефектов типа оксидных пленок, матовых пятен необходимо учитывать помехи, обусловленные эхо-сигналами от структуры сварного шва, так как амплитуды структурных шумов соизмеримы с сигналами от дефектов, и время прихода эхо-сигналов от дефекта и структуры шва совпадает.

Зона шва при контактной стыковой сварке оплавлением составляет 2 — 4 мм и характеризуется зернистой структурой. Если длина ультразвуковой волны соизмерима с линейными размерами зерен (кристаллитов), то распространение упругих волн внутри зерен металла аналогично распространению их в металлических монокристаллах. Вследствие анизотропии скорости волн внутри зерен при каждом прохождении межкристаллитной границы наблюдается скачок скорости ультразвуковой волны. Изменения скорости вызывают изменение местных акустических сопротивлений на границе зерен, что приводит к отражениям ультразвуковых волн от межкристаллитной границы. Отраженные от границы зерен ультразвуковые сигналы носят название структурных шумов. Ориентация и форма зерен сварного соединения могут значительно изменяться при сварке сталей различного химического состава и зависят от режима сварки.

Упругие свойства зерен, соединенных в плоскости сварки через оксидную пленку, отличны от соответствующих параметров зерен качественного соединения. Эти различия используют для обнаружения дефектов контактной сварки типа оксидных пленок. Экспериментально установлено, что при взаимодействии ультразвуковых волн, направленных в металл под углом 50 ° к плоскости сварки, амплитуды зеркальных сигналов от дефектов типа оксидных пленок превышают амплитуды сигналов структурных шумов бездефектного шва. Поскольку дефекты второго типа характеризуются в основном зеркальным отражением, для их обнаружения рекомендуется эхо-зеркальный метод контроля с соединением двух преобразователей в тандем. При этом прозвучивание шва происходит двумя преобразователями, расположенными с одной стороны шва друг за другом. Один из искателей излучает ультразвуковые колебания, а другой их принимает.

Угол ввода ультразвуковых колебаний в металл должен составлять 30 — 55°, контроль следует проводить на частотах / = 2,5 * 5 МГц, пороговый уровень сравнения эхо-сигналов для выявления дефектов второго типа устанавливают на 2 — 4 дБ выше среднего уровня амплитуд эхо-сигналов от структуры шва. Амплитуды отраженных сигналов, превышающие пороговые уровни, фиксируются с указанием их местоположения на сварном шве. Таким образом, при ультразвуковом контроле выбранного участка сварного шва получаем эхо-сигналы от дефектов сварного шва

и от структуры металла шва. Задача заключается в обнаружении полезного эхо-сигнала от дефекта на фоне структурных шумов. Для решения этой задачи определяют среднее значение амплитуд эхо-сигналов в выбранном участке шва и среднее квадратичное отклонение. На основании этих данных и допустимых ошибок определяют пороги и сравнивают с ними амплитуды эхо-сигналов. В области, где амплитуды обратно отраженных и зеркально отраженных эхо-сигналов превышают верхний порог, дефекты относят к несплошностям (пора, трещина, непровар с раскрытием). В областях, где амплитуды зеркально отраженных эхо-сигналов превышают верхний порог, а амплитуды обратно отраженных эхо-сигналов меньше нижнего порога, дефект относят ко второму типу дефектов (оксидная пленка, непровар без раскрытия, матовое пятно).

Все операции по оценке необходимых статистических характеристик наблюдаемых эхо-сигналов могут быть выполнены с помощью вычислительного устройства.

При контроле труб на трубосварочных заводах используют установки для автоматического ультразвукового контроля, позволяющие выявлять трещины, непровары, крупные поры. Для каждого диаметра и толщины стенки используют определенный угол падения ультразвуковых колебаний, при котором достигается максимальная чувствительность.

Для выявления поверхностных дефектов сложной конфигурации ультразвуковой контроль сочетают с другими видами контроля, например с магнитным или капиллярным.

Для измерения толщины изделия применяют обычно эхо-импульсный метод. При этом толщину стенки изделия определяют по длительности прохождения ультразвукового импульса или по времени между повторно отраженными импульсами. Импульс упругих колебаний, распространяясь в металле с определенной скоростью, многократно отражается от противоположных поверхностей и при обратном ходе отдает пьезоэлементу часть энергии. Из-за поглощения и рассеяния ультразвуковых колебаний каждый последующий импульс несет меньшую энергию. На экране видеоконтрольного устройства (рис. 6.7, дисплей толщиномера) возникает последовательный ряд импульсов, равноотстоящих друг от друга и убывающих по амплитуде. Интервал времени между двумя последовательными импульсами прямо пропорционален измеряе-

мой толщине.

При измерении толщины стенки с хорошо обработанными и параллельными поверхностями погрешность эхо-импульсных толщиномеров (см. рис. 6.7, табл. 6.2) составляет 0,01 мм, а при из-

Рис. 6.7. Ультразвуковой толщиномер ТУЗ-1

Таблица 6.2

Технические характеристики ультразвуковых толщиномеров

Толщиномер	Диапазон измеряемых толщин, мм	Ошибка измерения, мм	Масса, кг
УТ-93П	0,8-300	±0,1	0,8
УТ-80М	1 -1000	**±0,1**	0,4
СКАТ-4000	0,8-300	±0,1	0,4
ТУЗ-1	0,6-300	**±0,1**	0,4
26MG, 26MG-XT, 26XTDL	0,5-500	**±0,1**	0,24
Булат IS	0,6-200	**±0,1**	0,22
Булат 1М	0,6-200	±0,1	0,22
Булат 1П	1-100	±0,1	0,22
A1207	0,8-30	±0,1	0,25

мерении толщины стенки с необработанными, корродированными и непараллельными поверхностями — 0,1 — 0,2 мм.

Стыковые соединения толщиной б —60 мм контролируют эхометодом наклонными преобразователями по совмещенной схеме. Нижнюю часть шва проверяют прямым лучом, а верхнюю — однократно отраженным. Если выпуклость шва не позволяет контролировать нижнюю часть прямым лучом, то контроль ведется однократно и двукратно отраженным лучом. Прозвучивание сварных соединений со снятой выпуклостью шва рекомендуется проводить преобразователем, акустическая ось которого перпендикулярна к поверхности кромок шва. Места пересечения швов контролируют по специальной схеме.

Ультразвуковой контроль сварных стыков трубопроводов с толщиной стенки более 8 мм осуществляют путем плавного возвратно-поступательного движения наклонным преобразователем по поверхности трубы, прилегающей к сварному шву. При прозвучивании необходимо все время следить за тем, чтобы преобразователь был направлен перпендикулярно к шву. Смещение преобразователя по окружности трубы должно быть не менее 2 — 4 мм. Зона перемещения преобразователя вдоль трубы должна обеспечивать контроль всего шва, а ширину ее выбирают в зависимости от толщины стенок трубы и формы разделки шва. Сварной кольцевой шов трубопровода контролируют последовательно с двух сторон по ходу и против хода рабочей среды, а швы на стыке трубы с литой арматурой — только со стороны трубы. Стыки между литыми деталями подвергают ультразвуковому контролю на наличие поперечных трещин.

Нижнюю часть сварного шва трубопровода контролируют прямым лучом или, если это возможно, двукратно отраженным лучом. Трубопроводы с толщиной стенки до 40 мм контролируют в один прием, т. е. верхнюю и нижнюю части шва проверяют за одно движение преобразователя, а с толщиной более 40 мм — в два приема: сначала проверяют корневую часть шва прямым лучом, а затем верхнюю часть шва однократно отраженным лучом.

При ультразвуковом контроле сварных швов трубопроводов необходимо учитывать особенности формирования корневого слоя и обратного валика. При сварке в нижнем положении металл обратного валика провисает внутрь трубы, а при сварке в потолочном положении металл проседает.

Для обнаружения поперечных трещин преобразователь перемещают вдоль шва непосредственно по поверхности наплавленного металла.

Ультразвуковой контроль сварных соединений трубопроводов диаметром 25—100 мм с толщиной стенки 3 — 8 мм проводят на рабочей частоте 5 МГц специальными преобразователями, обеспечивающими выполнение контроля корневой части шва прямым лучом.

При отсутствии доступа к стенке или при небольших ее размерах, не обеспечивающих необходимые пределы перемещения преобразователей, можно проводить контроль с наружной поверхности полки для выявления непровара в корне шва. Угол ввода ультразвуковых волн должен быть таким, чтобы направление луча было приблизительно перпендикулярным к сечению, в котором ожидается максимальная площадь дефекта.

6.6. МЕТОД АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Акустическая эмиссия (АЭ) — излучение упругих волн, возникающих в процессе перестройки внутренней структуры твердых тел. Акустическая эмиссия проявляется при пластической деформации твердых материалов, при возникновении и развитии в них дефектов, например при образовании трещин. Моменты излучения акустической эмиссии распределены статистически во времени, и возникающие при этом дискретные импульсы имеют широкий частотный диапазон (от десятков килогерц до сотен мегагерц в зависимости от материала). Сигналы улавливаются преобразователями, которые благодаря своим ограниченным размерам имеют одинаковую чувствительность в некотором диапазоне углов. Улавливаются не только те сигналы, которые распространяются вдоль прямой, соединяющей источник эмиссии и преобразователь, но и сигнал, который из-за конечной толщины материала может быть суммой многократных отражений от границ изделия [23, 25].

Эмиссия характеризуется следующими основными параметрами: числом импульсов — общим числом импульсов, зарегистрированных за время наблюдения при определенном пороговом

уровне чувствительности аппаратуры; интенсивностью — числом импульсов, зарегистрированных за 1 с; амплитудой — максимальным значением огибающей принятых сигналов; пиковой амплитудой сигналов — максимальным значением амплитуды за определенный интервал времени; энергией эмиссии — суммой квадратов амплитуд сигналов, принятых за определенный интервал времени; амплитудным распределением сигналов, принятых за время наблюдения.

Контроль сварных соединений с помощью акустической эмиссии (АЭ) можно осуществлять на разных стадиях: в процессе сварки, когда шов только формируется; в процессе охлаждения сварного шва после окончания сварки до прихода его в равновесное состояние; при внешнем механическом нагружении конструкции.

Для протяженных швов первые две стадии можно совместить во времени. Общей их особенностью является возникновение АЭ без внешней нагрузки, под действием внутренних локальных напряжений, развивающихся в самом шве и околошовной зоне. Причинами этих напряжений являются неравномерность и нестационарность теплового режима сварки, неоднородность структуры материала.

На последней стадии для возникновения АЭ необходимо общее или локальное воздействие внешней нагрузки на шов.

Использование АЭ для оценки качества сварного шва определяется возможностью выделения сигналов, порождаемых развивающимися дефектами, из общей массы сигналов, большинство из которых являются мешающими (шумами).

Метод целесообразно применять для решения следующих задач: проведения диагностики технического состояния трубопроводов; наблюдения за ростом трещин в процессе проверочных испытаний резервуаров под давлением; постоянного надзора в эксплуатации за участками сварных конструкций, находящихся в напряженном состоянии, в которых могут образоваться трещины; оценки возможности появления трещин в процессе остывания; изучения особенностей роста усталостных трещин при разных условиях эксплуатации.

Принцип работы акусто-эмиссионных приборов основан на приеме информативных параметров акустических сигналов, возникающих как при деформировании твердых тел, трещин по

образовании, так и при развитии в них усталостных дефектов. Приборы определяют местоположение дефектов, локализуя их в направлении расположения двух преобразователей.

6.7. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ

Для всех электромагнитных методов (токо-вихревых и магнитных) характерно наличие полезадающей системы, магнитного поля дефекта и устройства его обнаружения. Для электромагнитных средств контроля металлических изделий используют широкий спектр частот, начиная от постоянного магнитного поля до переменных полей с частотами в несколько десятков мегагерц.

Методы электромагнитного контроля, которые основаны на изменении реакции вихревых токов, создаваемых на поверхности изделия, называют вихретоковыми. Этими методами можно контролировать только электропроводимые материалы [5, 23].

Различные методы контроля ферромагнитных материалов, основанные на намагничивании исследуемого сварного шва, называются магнитными. По способу регистрации магнитных полей рассеяния, возникающих в зоне расположения дефектов, магнитные методы разделяют на магнитопорошковый, магнитографический, феррозондовый, индукционный, магнитоакустический, магнитополупроводниковый, магнитоэлектрический. Каждый из этих методов имеет свои разновидности.

Принципиальным отличием всех магнитных методов от вихретоковых является обязательное намагничивание ферромагнитного изделия. При этом на поверхности сварного шва в зоне расположения дефекта возникает магнитное поле рассеяния. Если шов не насыщен, то магнитное поле рассеяния от дефекта увеличивает индукцию в металле, а на поверхности изделия дополнительное поле практически не возникает. При достаточно высоком намагничивании сварного шва магнитное поле рассеяния от дефекта обнаруживается на поверхности шва. Внутри дефекта магнитный поток распределен неравномерно. Это распределение зависит от геометрии дефекта, близости его расположения к поверхности и степени насыщения детали.

В зависимости от метода создания магнитного поля, намагничивание делят на:

постоянное;

остаточное;

импульсное;

индукционное;

комбинированное;

циркуляционное;

полюсное.

Выбор метода намагничивания определяется реальными возможностями применения его и требованиями к уровню выявляемое™ дефектов.

При каждом методе намагничивания процесс обнаружения дефекта протекает в приложенном или остаточном поле. Более эффективен контроль в приложенном магнитном поле (рис. 6 8) Такое намагничивание сварного шва хорошо выявляет дефекты находящиеся на внутренней поверхности цилиндрической детали. По характеру замыкания силовых линий без выделения магнитных полюсов этот метод намагничивания называют циркулярным. Такого же характера поле возникает в протяженной цилиндрической детали, если через нее пропускать электрический ток большой силы. В случае переменного электрического тока при циркулярном методе хорошо намагничиваются внешние слои детали. Если деталь имеет сложное переменное сечение, то внешнее намагничивание, аналогичное рассмотренным двум вариантам, будет сопровождаться образованием полюсов. Это явление нежелательно.

Наиболее распространены методы регистрации полей рассеяния дефектов с помощью измерительной катушки, магнитного порошка, магнитной ленты, датчиков Холла, магнитных полупроводниковых элементов, феррозондов, индукционных головок.

Рис. 6.8. Циркуляционное индукционное намагничивание труб

Принципиальное различие в системах регистрации — наличие каких-либо механических или электрических средств измерений, позволяющих получить э. д. с. в соответствии с законом электромагнитной индукции. Такие устройства не нужны при статических методах регистрации, например, с помощью датчиков Холла, магнитного порошка, магнитных диодов и т. п.

Рассмотрим наиболее распространенные методы регистрации магнитных полей. Эффективным оказался магнитоакустическии метод, при котором измерительную катушку наклеивают на пластинку из ферромагнетика с магнитострикционным эффектом. В пластине возбуждаются колебания, которые передаются наклеенной на нее измерительной катушке. Наводимая э. д. с. пропорциональна постоянному магнитному полю дефекта, которое подмагничивает пластину. Этот метод удобен для автоматизации процесса обнаружения относительно грубых дефектов. Измерение происходит в зоне локального насыщения пластины с магнитострикционным эффектом, который изменяется в зависимости от степени подмагничивания.

Магнитопорошковый метод широко используется при диагностике сварных швов эксплуатируемых трубопроводов, сосудов и аппаратов ввиду своей простоты, надежности и высокой чувствительности. Порошок можно наносить непосредственно на поверхности исследуемого изделия или насыпать на специальные линзы, которые перемещают над поверхностью намагниченного изделия.

Чувствительность магнитопорошкового метода может быть охарактеризована следующими размерами дефекта (мм): ширина раскрытия 0,001; глубина 0,01 —0,05; протяженность 0,3.

Среди магнитных методов дефектоскопии наибольшее распространение для контроля сварных швов получил **магнитографический метод** благодаря низкой стоимости материалов, простоте применяемого оборудования, безопасности для обслуживающего персонала и др.

Магнитографическим методом выявляются трещины, непровары, несплавления, а также газовые поры и раковины. С уменьшением глубины залегания дефектов чувствительность метода возрастает. Значительное влияние на чувствительность оказывает состояние поверхности шва. Грубая чешуйчатость, наплывы, брызги металла приводят к повышению уровня помех, которые

могут быть ошибочно приняты за дефекты. Для повышения эффективности и достоверности контроля целесообразна предварительная подготовка стыков. Поверхность сварного соединения очищают от грязи, воды, металлических брызг, остатков шлака и др.

Магнитографический контроль осуществляют следующим образом. На контролируемое изделие накладывают магнитную ленту и плотно прижимают ее к поверхности, например, резиновым поясом. Намагничивают изделия путем перемещения намагничивающего устройства вдоль шва. Магнитные поля рассеяния, появляющиеся в местах расположения дефектов, фиксируются на магнитной ленте. Считывание информации с магнитной ленты осуществляют протягиванием этой ленты через дефектоскоп, при этом определяют местонахождение дефекта.

Оптимальные режимы намагничивания сварных швов в каждом конкретном случае определяют на эталонах, имеющих недопустимые дефекты. Эталоны изготовляют из того же материала, что и контролируемое изделие.

Получение видимого изображения существенно расширяет возможности магнитографического контроля, делает его более наглядным, позволяя оценивать не только размеры, но и характер и форму дефектов.

Появившиеся на экране дефекты различных видов характеризуются присущими только им особенностями. Газовые поры и шлаковые включения появляются в виде темных пятен разнообразной формы. Непровар по кромке изображается черной линией, смещенной от оси шва, а непровар в корне шва — линией посередине. Подрезы дают изображение в виде широких черных линий по краям шва. При наличии трещин на экране появляются прямые или зигзагообразные линии с неровными краями.

6.8. МЕТОДЫ КАПИЛЛЯРНОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Капиллярные методы неразрушающего контроля основаны на капиллярном проникновении индикаторных жидкостей (пенетрантов) в полости поверхностных и сквозных несплошностей материала объектов контроля и регистрации обра-

зующихся индикаторных следов визуальным способом или с помощью преобразователя [29].

Капиллярный НК предназначен для обнаружения невидимых или слабовидимых невооруженным глазом поверхностных и сквозных дефектов в объектах контроля, определения их расположения, протяженности (для дефектов типа трещин) и ориентации по поверхности. Этот вид контроля позволяет диагностировать объекты любых размеров и форм, изготовленные из черных и цветных металлов и сплавов, пластмасс, стекла, керамики, а также других твердых неферромагнитных материалов.

Капиллярный контроль применяют также для объектов, изготовленных из ферромагнитных материалов, если их магнитные свойства, форма, вид и местоположение дефектов не позволяют достичь требуемой чувствительности магнитопорошковым методом или магнитопорошковый метод контроля не допускается применять по условиям эксплуатации объекта.

Капилляр, выходящий на поверхность объекта контроля только с одной стороны, называют поверхностной несплошностью, а соединяющий противоположные стенки объекта контроля,— сквозной. Если поверхностная и сквозная несплошности являются дефектами, то допускается применять вместо них термины "поверхностный дефект" и "сквозной дефект".

Изображение, образованное пенетрантом, в месте расположения несплошности и подобное форме сечения у выхода на поверхность объекта контроля, называют индикаторным рисунком. Применительно к несплошности типа единичной трещины вместо термина "индикаторный рисунок" допускается применение термина "индикаторный след".

Глубина несплошности — размер несплошности в направлении внутрь объекта контроля от его поверхности. Длина несплошности — продольный размер несплошности на поверхности объекта. Раскрытие несплошности — поперечный размер несплошности у ее выхода на поверхности объекта контроля.

Необходимым условием выявления капиллярным контролем дефектов нарушения сплошности материала типа полостных, имеющих выход на поверхность объекта и глубину распространения, значительно превышающую ширину их раскрытия, является относительная их незагрязненность посторонними веществами.

Следует различать максимальную, минимальную и среднюю

глубину, длину и раскрытие несплошности. Если не требуется заранее оговаривать, какое из указанных значений размеров имеется в виду, то для исключения недоразумений следует принять термин "преимущественный размер". Для несплошностей типа округлых пор раскрытие равно диаметру несплошности на поверхности объекта.

Все методы капиллярного неразрушающего контроля по характеру взаимодействия проникающих пенетрантов с объектом контроля рассматриваются как молекулярные, что не указывается в определениях для сокращения.

Капиллярные методы подразделяют на основные, использующие капиллярные явления, и комбинированные.

Основные капиллярные методы контроля подразделяют в зависимости от типа проникающего вещества на следующие:

1. *Метод проникающих растворов* — жидкостный метод капиллярного неразрушающего контроля, основанный на использовании в качестве проникающего вещества жидкого индикаторного раствора.

2. *Метод фильтрующихся суспензий* — жидкостный метод капиллярного контроля, основанный на использовании в качестве проникающего вещества индикаторной суспензии, которая образует индикаторный рисунок из отфильтрованных частиц дисперсной фазы.

Капиллярные методы в зависимости от способа выявления индикаторного рисунка подразделяют на *люминесцентный,* основанный на регистрации контраста люминесцирующего в длинноволновом ультрафиолетовом излучении видимого индикаторного рисунка на фоне поверхности объекта контроля;

цветной, основанный на регистрации контраста цветного в видимом излучении индикаторного рисунка на фоне поверхности объекта контроля;

люминесцентно-цветной, основанный на регистрации контраста цветного или люминесцирующего индикаторного рисунка на фоне поверхности объекта контроля в видимом или длинноволновом ультрафиолетовом излучении;

яркостный, основанный на регистрации контраста в видимом излучении ахроматического рисунка на фоне поверхности объекта контроля.

При контроле качества кольцевых сварных соединений строящихся трубопроводов и диагностике технического состояния экс-

плуатируемых трубопроводов применяется **цветной метод дефектоскопии.**

Капиллярный дефектоскопический материал применяют при цветном методе контроля и используют для пропитки, нейтрализации или удаления избытка проникающего вещества с поверхности и проявления его остатка с целью получения первичной информации о наличии несплошности в объекте контроля.

Дефектоскопические материалы выбирают в зависимости от требований, предъявляемых к объекту контроля, его состояния **и** условий контроля. Их укомплектовывают в целевые наборы, в которые входят полностью или частично взаимообусловленные совместимые дефектоскопические материалы, приведенные ниже.

Набор дефектоскопических материалов — взаимозависимое целевое сочетание дефектоскопических материалов: индикаторного пенетранта, проявителя, очистителя и гасителя.

Индикаторный пенетрант (пенетрант) И — капиллярный дефектоскопический материал, обладающий способностью проникать в несплошности объекта контроля и индицировать их.

Очиститель от пенетранта (очиститель) М — капиллярный дефектоскопический материал, предназначенный для удаления индикаторного пенетранта с поверхности объекта контроля; его можно применять в сочетании с органическим растворителем или водой.

Проявитель пенетранта (проявитель) П — капиллярный дефектоскопический материал, предназначенный для извлечения индикаторного пенетранта из капиллярной полости несплошности с целью образования четкого индикаторного рисунка и создания контрастирующего с ним фона.

В табл. 6.3 и 6.4 представлены наиболее распространенные наборы для цветной дефектоскопии и классы чувствительности капиллярного контроля.

Основными операциями капиллярного неразрушающего контроля являются:

подготовка объекта к контролю (зачистка, шлифовка);

обработка объекта дефектоскопическими материалами;

проявление дефектов;

обнаружение дефектов и расшифровка результатов контроля;

окончательная очистка объекта.

Таблица 6.3

Наиболее распространенные наборы дефектоскопических материалов

Дефектоскопические материалы набора			Показатели назначения набора			
Пенетрант	Проявитель	Очиститель	Материал объекта контроля	Параметр шероховатости поверхности R_a, мкм	Диапазон температур объекта контроля, °С	Класс чувстви-тельности
ЛЖ-6А	ПР-1	ОЖ-1	Металлы, пластмассы, стекло, керамика	2,5 — 5,0	15-35	
«К»	«М»	Маслокероси новая смесь	Тоже	5,0-10,0	-40--+40	I
ЛЖ-6А	ПР-4	ОЖ-1	Тоже	2,5-5,0	15--35	II
ЛЖ-12	Окись магния	ОЖ-1	Тоже	Необработанная поверхность (12,5-50,0)	15--35	II
ЛЖ-4	Тоже	Вода с ПАВ	Тоже	Тоже	15--35	III
ЛЖ-12	ПР-5	ОЖ-1	Тоже	2,5-5,0	15--35	II
ЛЖ-1 или керосиновый раствор ЛЖ-1 К	ПР-4	ОЖ-1	Тоже	Необработанная поверхность (12,5-50,0)	15--35	II
ЛЖ-1 или керосиновый раствор ЛЖ-1 К	Окись магния	Вода с ПАВ	Тоже	Тоже	15--35	III
Нориол-А Керосиновый раствор	ПР-4	ОЖ-1	Тоже	2,5-5,0	15-35	II
SPOTCHECK SKL-SP1 (WP)	SKD-S2	SKC-S	Тоже	Необработанная поверхность (12,5-50,0)	10 — 50	
SHERWIN DP-51	D-100	DR-60	Тоже	Тоже	10-50	

Таблица 6.4.

Классы чувствительности капиллярного контроля

Класс чувствительности	Минимальный размер (ширина раскрытия) дефектов, мкм
I	Менее 1
II	1-10
III	10-100
IV	100-500
Технологический	Не нормируют

6.9. НОРМАТИВНЫЕ ТРЕБО К КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА

Для обеспечения требуемого уровня качества кольцевых сварных соединений трубопроводов необходимо выполнять:

пооперационный контроль;

визуальный контроль;

контроль по макрошлифам (в случае двусторонней сварки под флюсом);

контроль неразрушающими физическими методами;

механические испытания образцов сварных соединений;

регистрацию параметров процесса сварки.

Для выполнения контроля привлекают организации, имеющие лицензию Госгортехнадзора России [5, 25].

Пооперационный контроль производитель работ выполняет непосредственно и непрерывно в процессе проведения операций по сборке и сварке трубопроводов. При пооперационном контроле проверяют соответствие выполняемых работ проекту, требованиям государственных стандартов, технологических инструкций и карт.

Визуальный контроль и обмер сварных соединений выполняют работники служб контроля подрядчика с использованием необходимого измерительного инструмента.

Пооперационному контролю и визуальному осмотру подле-

жат кольцевые сварные соединения, выполненные при аттестации технологического процесса сварки, аттестационных испытаниях сварщиков, а также все сварные соединения трубопроводов. При этом качество швов оценивают по результатам осмотра наружной и внутренней поверхности сварных соединений трубопроводов.

Контроль захлесточных стыков любого диаметра и сварных соединений труб диаметром 720 мм и менее можно осуществлять только с наружной поверхности трубопровода.

Перед визуальным осмотром кольцевые сварные соединения очищают от шлака, брызг металла, грязи, снега и т. п.

При контактной стыковой сварке осмотр сварных соединений выполняют после снятия грата.

При визуальном контроле проверяют соответствие кольцевых сварных соединений следующим требованиям [18] :

при дуговой сварке высота усиления шва снаружи трубы должна быть 2 ± 1 мм и иметь плавный переход к основному металлу;

при дуговой сварке высота усиления швов, сваренных изнутри трубы, должна быть 2 ± 1 мм и иметь плавный переход к основному металлу;

при дуговой сварке высота усиления обратного валика корневого слоя шва должна быть 1 ± 1 мм;

ширина наружного и внутреннего сварных швов при дуговой сварке под флюсом должна соответствовать значениям, приведенным в табл. 6.5;

ширина подварочного слоя, выполненного ручной дуговой сваркой, должна быть 8 ± 2 мм;

в стыках, выполненных контактной стыковой сваркой, грат снаружи и внутри труб должен быть удален механической обработкой. Величина усиления металла в зоне грата после его удаления с наружной и внутренней сторон трубы не должна превышать 3 мм. При снятии грата не допускается уменьшение толщины стенки сваренных труб. Смещение кромок после сварки не должно превышать 25 % толщины стенки, но быть не более 3 мм. Допускаются местные смещения на длине 20 % периметра стыка, величина которых не превышает 30 % толщины стенки, но не более 4 мм.

На поверхности сварных швов и околошовной зоны должны отсутствовать поры и трещины любых размеров, а также другие

Таблица 6.5

Ширина шва для различных способов сварки, мм

Толщина стенки трубы, мм	Ручная дуговая сварка		Сварка под флюсом		Автоматическая сварка в защитных газах
	по заводской разделке кромок	по V-образной разделке кромок	плавленым	агломерированным	
			Наружный шов		
>8-14	15-22	17-24	17-24	16-22	10-14
>14-19	18-24	24-30	18-26	17-23	10-16
>19-22	21-27	27-33	20-29	18-26	11-17
>22-28*	25-31	32-38	20-31	20-31	11-18
			Внутренний шов		
>8-14	8±2		14-19	13-17	2-10
>14—19			17-22	16-21	
>19—22			18-25	17-23	
>22-28*			19-26	18-24	

При толщине стенки более 28 мм ширина шва регламентируется технологической картой.

видимые дефекты, размеры которых превышают регламентированные для неразрушающего контроля (табл. 6.6).

Следует проверить наличие соответствующих отметок, идентифицирующих проверяемый стык (шифр/клеймо сварщика, порядковый номер стыка плети и др.).

В случае, если при визуальном осмотре в сварном соединении обнаружены недопустимые дефекты, данное сварное соединение подлежит вырезке или ремонту в соответствии с требованиями нормативных документов.

Контроль кольцевых сварных соединений по макрошлифам выполняют при механизированной двусторонней сварке под флюсом при проведении аттестации технологических процессов сварки и аттестационных испытаниях сварщиков.

При сварке указанным способом поворотных стыков макрошлифы отбирают также от одного из каждых двухсот товарных кольцевых стыков. Темплеты для изготовления макрошлифов

Таблица 6.6

Дефекты, выявляемые при радиографическом контроле

Название дефекта	Условное обозначение дефекта	Допустимые размеры дефекта			Примечание
		Глубина	Единичная длина	Суммарная длина на 300 мм шва	
Поры:					
Сферические		d<0,15, но < 3мм при 3d < *1* < *5d;*			
Удлиненные	*Аа*	*d* < 0,25, но < 3мм при *1* < 5d;		<50мм	
Цепочки	*Ав*	< 0,15, но не более 3 мм	<30мм	<30мм	
Скопления	*Ас*	< 0,25, но не более 3 мм	< 13 мм (^скопл.)	< 13 мм	
Канальные	*Ак*	< 0,25, но < 5, но не не более 3 мм	более 30 мм	< 13 мм	
Полый валик	*Аов*	Не регламентируется, если полностью расположен вне толщины стенки трубы (только в обратном валике); если хотя бы частично находится в рабочем сечении шва, то его относят к канальной поре.			
Шлаковые включения					
Компактные, сферические	***Ва***	**<0,15** < 0,5 5, но **не**	более 7 мм	< 50 мм	Ширина включения < 3 мм
Удлиненные	*Ва*	<0,15	< 2 5, но не более 50 мм	<50мм	Ширина одиночного включения < 1,5 мм
Цепочка	*Вв*	<0,15	< 2 5, но **не** более 50 мм	<50мм	Максимальная ширина сдвоенных параллельных дефектов («зашлакованных карманов») < 0,8 мм на длине < 30 мм

Название дефекта	Условное обозначение дефекта	Допустимые размеры дефекта			Примечание
		Глубина	Единичная длина	Суммарная длина на 300 мм шва	
Скопление	*Вс*	<0,15	< 2 5, по не более 30 мм	< 30 мм	
Непровары и несплавления					
В корне шва	*Да*	< 0,05 *S,* но не более 1 мм	< 2 *S,* но не более 30 мм	< 30 мм	В сварных соединениях трубопроводов диаметром 1020 мм, выполненных с внутренней подваркой, непровары и несплавления в корне шва не допускаются
Межслойные	Дв		< 2 5, но не более 30 мм	<50мм	
По контуру разделки	***Ас***				
Любые трещины	*Е*	Не допускаются			
Вогнутость корня шва (утяжина)	*Fa*	< 2 5, но не более 2 мм, при этом плотность изображения на снимке не более плотности изображения основного металла		< 1 /6 периметра стыка	Плавный дефект корня шва при проплавленных кромках
Провисы (превышение провара)	***FB***	<5мм	< 50 мм	<50мм	

Окончание табл. 6.6

Название дефекта	Условное обозначение дефекта	Допустимые размеры дефекта			Примечание
		Глубина	Единичная длина	Суммарная длина на 300 мм шва	
Подрезы	*Fc*	<5мм	<50мм	<50мм	
Смещения кромок	*Fd*	< 0,2 *S*, но не более 3 мм	< 1/6 периметра стыка		

Примечания:

1. Обозначения размеров: *S* — толщина стенки; *I* — расстояние между соседними дефектами; *d* — максимальный размер единичного дефекта;
2. Цепочка пор и шлаковых включений: три и более пор или шлаковых включений, расположенных на одной линии с расстоянием между любыми двумя близлежащими дефектами более одного, но не более трех максимальных размеров этих дефектов.
3. Скопление пор и шлаковых включений: три и более беспорядочно расположенных пор или шлаковых включений с расположением между любыми двумя близлежащими дефектами более одного, но не более трех максимальных размеров этих дефектов.
4. Любая суммарная протяженность совокупности допустимых по глубине дефектов на любые 300 мм шва должна быть < 50 мм (но не более 1/6 периметра шва).

(не менее трех на стык) при оценке качества товарных стыков вырезают на любом участке сварного соединения равномерно по периметру стыка, но не ближе 200 мм от места начала или окончания процесса сварки.

При оценке качества сварных соединений по макрошлифам величина перекрытия внутренних и наружных слоев должна быть не менее 3 мм для труб с толщиной стенки более 12,5 мм и не менее 2 мм для труб с толщиной стенки 12,5 мм и менее, а смещение их осей не должно превышать 2 мм. Глубина проплавления внутреннего шва должна быть не более 7 мм при толщине стенки трубы до 20 мм включительно и не более 10 мм при толщине до 30 мм включительно.

В случае несоответствия размеров швов требованиям и наличия на макрошлифах недопустимых дефектов, указанных в табл. 6.6, сварку товарных стыков следует остановить. Все стыки, сваренные до вырезки макрошлифов, подлежат разбраковке с участием Заказчика. Затем следует произвести отладку оборудования и корректировку режимов сварки в соответствии с требованиями технологической инструкции и заварить новый стык, из которого вырезать макрошлифы. Если размеры швов по макрошлифам соответствуют требованиям, сварку можно продолжить, а стык считать представительным для 199 стыков, сваренных после него.

В случае повторных неудовлетворительных результатов контроля по макрошлифам Заказчик вправе потребовать новой аттестации технологии сварки.

Все кольцевые сварные соединения системы трубопроводов, выполненные дуговыми методами сварки, подлежат 100 % неразрушающему радиографическому контролю и, по требованию Заказчика, дублирующему ультразвуковому контролю в объеме не более 25 %. До начала сварки технология методов неразрушающего контроля в виде технологической инструкции должна быть представлена на утверждение Заказчику. Все рекомендованные к использованию методы неразрушающего контроля должны соответствовать требованиям РД 153-006-02, СП 105-34-96, ГОСТ 7512 и ГОСТ 14782 и другим отраслевым нормативам, а их технология должна быть аттестована в установленном порядке.

Сварные соединения после ремонта подвергают неразрушающему контролю в следующих объемах:

радиографический метод— 100 %;

дублирующий ультразвуковой контроль отремонтированной зоны сварного шва на длине, превышающей отремонтированный участок на 100 мм в каждую сторону, — 100 %.

Контроль качества сварных соединений неразрушающими методами в соответствии с приказом Госстандарта РФ № 282 от 16.09.96 могут осуществлять производственные испытательные лаборатории, прошедшие аккредитацию на техническую компетентность (наличие обученного персонала, современного оборудования и нормативной документации), а также имеющие лицензию Госгортехнадзора России на проведение работ по неразрушающему контролю.

Аттестацию методов неразрушающего контроля рекомендует-

ся проводить одновременно с аттестацией технологии сварки в реальных условиях контроля, включая температуру сварного соединения в процессе контроля, а также оборудование и материалы, которые будут применены для контроля.

В технологической инструкции по контролю, предъявляемой для аттестации, помимо правил и методических указаний по выполнению контроля должны быть указаны следующие основные параметры:

Для радиографического контроля:

диапазон диаметров трубы и толщина сварного шва, для которых действительна настоящая технологическая инструкция;

источник излучения (тип оборудования, размер фокального пятна, номинальное напряжение);

усиливающие экраны (тип, в случае свинцовых экранов — их толщина);

пленка (тип и/или марка, количество отрезков пленки; схема последовательности просмотра пленок);

схема просвечивания (просвечивание через одну или через две стенки; указатель положения пленки относительно сварного шва; расстояние между маркировочными знаками, число экспозиций);

параметры просвечивания (ток, мощность дозы излучения для гаммаграфии, время экспозиции);

условия обработки снимков (в автомате или вручную, время проявления и закрепления, температура проявителя, режимы сушки);

эталоны чувствительности (тип, маркировочный номер, диаметр выявляемого отверстия. Материал прокладки и ее толщина);

плотность снимка;

нахлест пленок;

привязка ко шву (начало и конец шва и др.);

сроки хранения пленок;

первоначальная мощность источника.

Каждая пленка (радиограмма) должна содержать следующую информацию:

название газопровода, номер участка;

номер шва;

тип снимка (ремонтный шов, замененный шов, пересвет стыка и т. д.);

положение пленки на стыке по часовому циферблату;

дату проведения контроля.

Для ультразвукового контроля:

сведения об объекте контроля (геометрические параметры труб; вид сварки; вид разделки кромок);

требования к организации рабочего места оператора-дефектоскописта, допустимый диапазон температур проведения УЗК;

требования к уровню квалификации оператора-дефектоскописта в соответствии с "Правилами аттестации специалистов неразрушающего контроля", утвержденных Госгортехнадзором РФ 18 августа 1992 г.;

вид или основные требования к применяемому оборудованию (ультразвуковым дефектоскопам, ультразвуковым преобразователям, стандартным образцам (СО), стандартным образцам предприятия (СОП), контактирующим жидкостям);

способы проверки работоспособности и настройки аппаратуры (настройка скорости развертки, задержки строб-импульса, системы АСД (автомат-сигнализатор дефекта), настройка чувствительности дефектоскопа и оценка величины и допустимости обнаруженных дефектов с учетом фактической шероховатости поверхности изделий по "Методике оценки шероховатости и волнистости поверхности объектов контроля и корректировке чувствительности ультразвукового дефектоскопа", согласованной с Госгортехнадзором РФ 26.05.93 г., проверка основных параметров ультразвуковых преобразователей: стрела, *точка* ввода, угол ввода);

вид СОП для настройки чувствительности контроля, вид эталонных отражателей и их основные размеры;

правила настройки чувствительности на СОП. Уровни чувствительности при контроле: браковочная, поисковая, контрольная;

способ контроля сварного соединения: шаг сканирования, способ прозвучивания, ширина зоны сканирования (или способ ее расчета);

измеряемые параметры (амплитуда — эквивалентная площадь, условная протяженность, наибольшая глубина залегания);

критерии оценки качества соединений;

способ регистрации результатов контроля;

особые условия (предварительная толщинометрия и контроль

расслоений в околошовной зоне, УЗК после ремонта сварного соединения — размер зоны сканирования и т. п.);

другие необходимые для выполнения контроля параметры.

Заказчик вправе потребовать применения дублирующего ультразвукового контроля. Процент контроля кольцевых сварных соединений трубопроводов определяется Заказчиком, но не должен превышать 25 %.

Для кольцевых сварных соединений поворотных стыков, выполненных двусторонней механизированной дуговой сваркой, рекомендуется в качестве дублирующего применение автоматического УЗК. При этом разбраковка дефектных участков может осуществляться с помощью ручного УЗК.

Контроль неразрушающими методами и оценку результатов контроля должны выполнять специалисты службы контроля, аттестованные согласно действующим "Правилам аттестации специалистов неразрушающего контроля", утвержденных Госгортехнадзором России 18 августа 1992 г., и изменений к ним от 14.07.95 г. Расшифровку результатов контроля могут выполнять *только* специалисты уровня II (III), квалифицированные в соответствии с указанными Правилами с учетом рекомендаций по обучению и аттестации специалистов неразрушающего контроля ИСО 9712'. 1992 Е "Неразрушающий контроль. Квалификация и сертификация персонала" и Е № 473 — 93 "Квалификация и сертификация специалистов".

Радиографический контроль *можно* выполнять при использовании рентгеновских аппаратов или источников радиоактивного излучения, обеспечивающих требования ГОСТ 7512.

Оборудование и материалы, применяемые при радиографическом контроле, должны обеспечивать выявление недопустимых дефектов. На каждом радиографическом снимке необходимо присутствие эталонов чувствительности, форма и размеры которых должны соответствовать требованиям ГОСТ 7512.

Чувствительность радиографического контроля должна быть не ниже класса II по ГОСТ 7512.

Средства измерения размеров дефектов при расшифровке снимков, денситометры и набор мер для измерения оптической плотности снимков, негатоскопы с регулируемой яркостью должны быть метрологически аттестованы.

Критерии приемки всех кольцевых сварных соединений при

оценке их качества по данным радиографического контроля приведены в табл. 6.6 и на рис. 6.9 — 6.13 [18].

Ультразвуковой контроль сварных соединений трубопроводов, выполненный дуговыми способами сварки, должен соответствовать требованиям ГОСТ 14782. Средства контроля должны быть метрологически аттестованы на специальных образцах по методикам, утвержденным Росстандартом.

Контроль можно проводить в ручном, механизированном или автоматизированном режимах.

Для ручного контроля и контроля с механизацией сканирования следует применять ультразвуковые эхо-импульсные дефектоскопы, укомплектованные пьезоэлектрическими преобразователями, рассчитанными на рабочую частоту в диапазоне от 1,25 до 5 МГц.

Для автоматизированного контроля следует применять оборудование и технологию, обеспечивающие выявление и фиксацию всех недопустимых дефектов сварного шва.

При обнаружении дефекта определяют следующие его характеристики:

амплитуду эхо-сигнала от дефекта;

наибольшую глубину залегания дефекта в сечении шва;

условную протяженность дефекта;

суммарную условную протяженность дефектов на оценочном участке.

Дефекты сварных соединений дуговой сварки по результатам ультразвукового контроля относят к одному из следующих видов:

непротяженные;

протяженные;

цепочки и скопления.

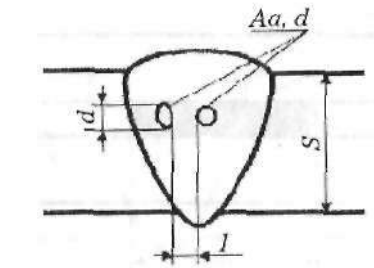
К непротяженным относят дефекты, условная протяженность которых не превышает 15 мм.

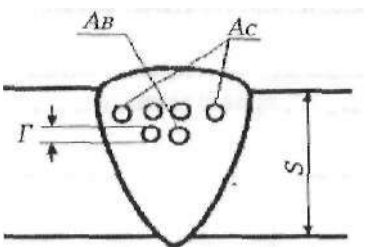
К протяженным относят дефекты, условная протяженность которых превышает 15 мм.

Цепочкой и скоплением считают три и более дефекта, если при перемещении искателя соответственно вдоль или поперек шва огибающие последовательности эхо-сигналов от этих дефектов при поисковом уровне чувствительности пересекаются (не разделяются).

При разделении эхо-сигналов дефекты считают одиночными.

Сечение В плане





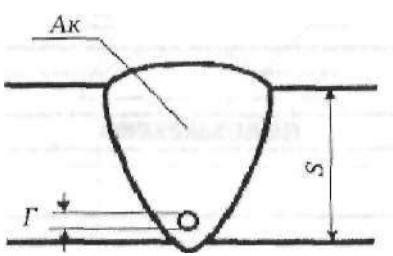


Рис. 6.9. Схематическое изображение пор:
Aa,Ad,Ab,AcAK — типыпорсогласнотабл.6.6; Г— глубина канальной поры; глубина поры в цепочке и скоплении пор; *T* — ширина канальной поры; ширина скопления пор; I — длина канальной поры; длина скопления и цепочки пор; *d* — диаметр сферической поры; *S* — толщина стенки трубы

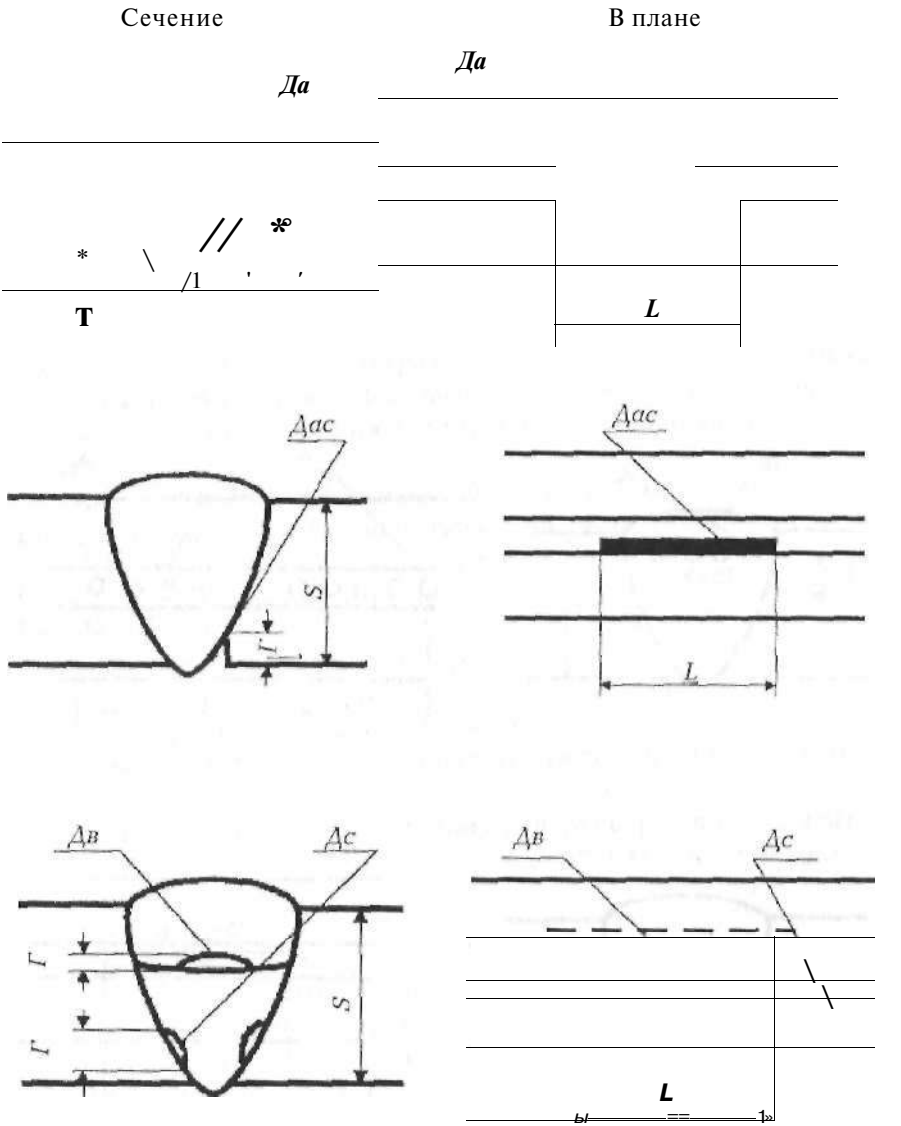


Рис. 6.10. Схематическое изображение непроваров и несплавлений:
Да, Дас, Дв, Дс — типы непроваров и несплавлений согласно табл. 6.6; *Г* — глубина; *L* — длина; 5 — толщина стенки трубы

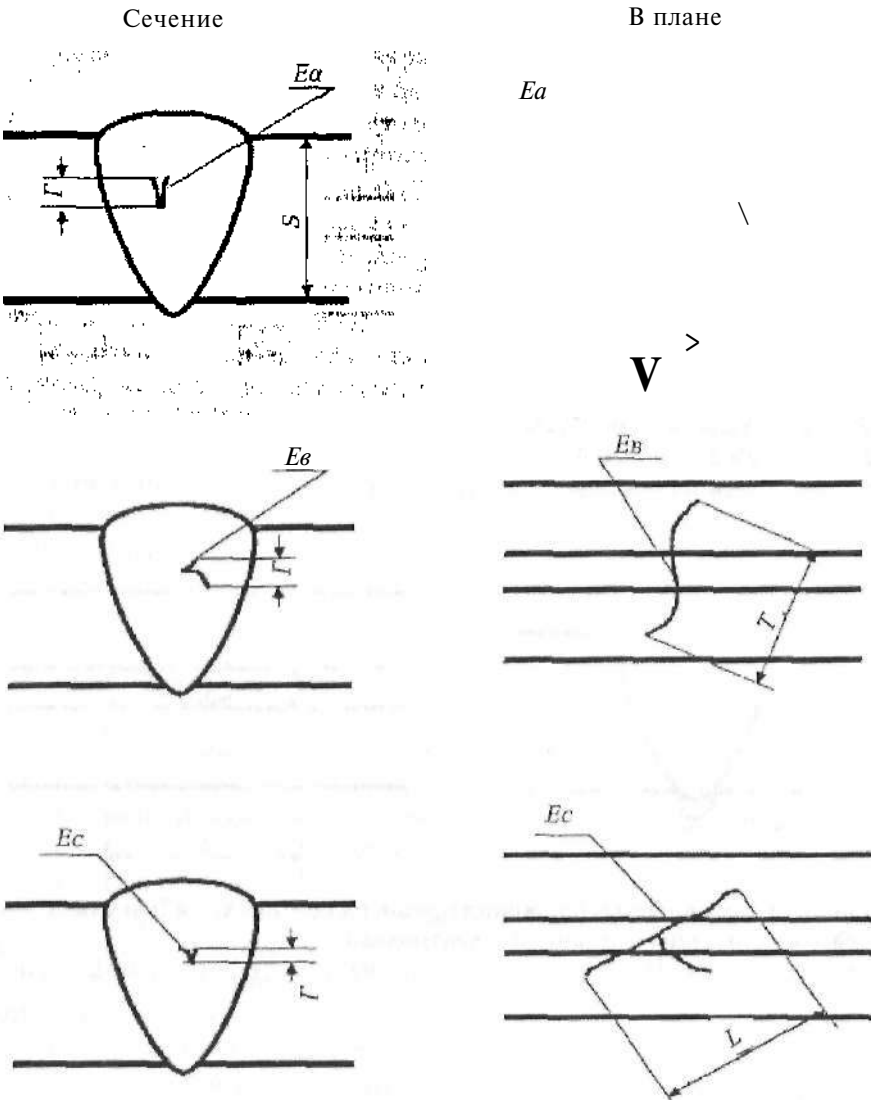


Рис. 6.11. Схематическое изображение трещин (индекс "£" согласно табл. 6.6):

Еа — внутренние, продольные, криволинейные; *Ев* — внутренние, поперечные, криволинейные; *Ее* — внутренние разветвленные, в том числе "паукообразные"; *Г* — глубина залегания; *Т* — ширина; I — длина

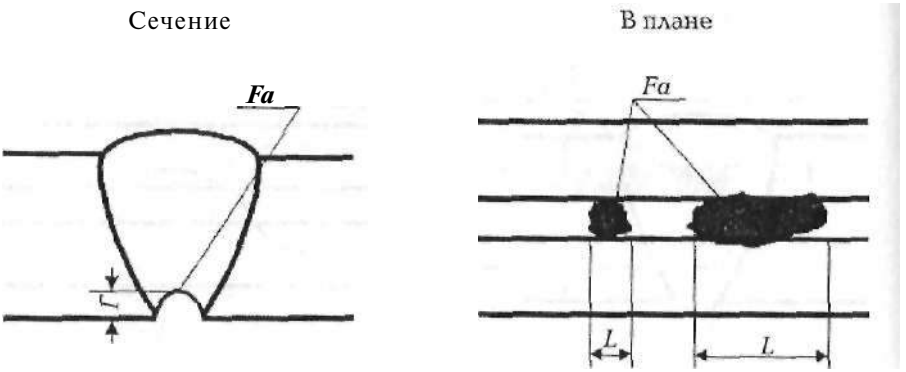


Рис. 6.12. Условные изображения утяжин, ослаблений в корне шва:
Fa — согласно табл. 6.6; *Г* — глубина утяжины; *L* — длина ослабления и протяженной утяжины

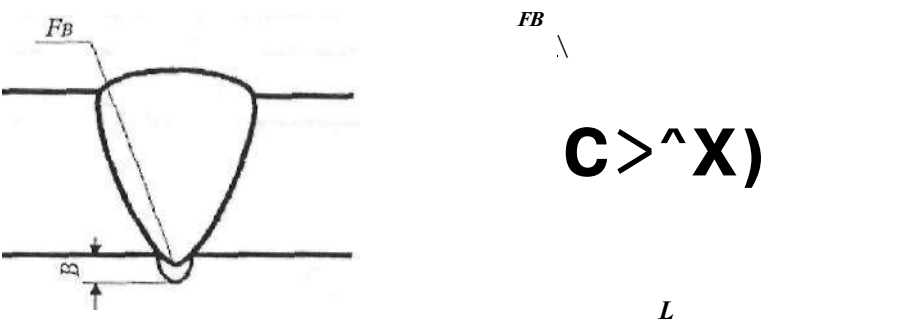


Рис. 6.13. Условные изображения провисов (дефект типа "сосулька" — сварка корня шва основными электродами):
FB — согласно табл. 6.6; В — превышение на внутренней стенке;! — длина дефектного участка

По результатам ультразвукового контроля годным считают выполненное дуговой сваркой сварное соединение, **в** котором отсутствуют:

непротяженные дефекты, амплитуда эхо-сигнала от которых превышает амплитуду эхо-сигнала от контрольного отражателя **в** СОП или суммарная условная протяженность которых в шве

превышает 1/6 периметра шва;

цепочки и скопления, для которых амплитуда эхо-сигнала от любого дефекта, входящего в цепочку (скопление), превышает амплитуду эхо-сигнала от контрольного отражателя в СОП или суммарная условная протяженность дефектов, входящих в цепочку (скопление), более 30 мм на любые 300 мм шва;

протяженные дефекты в сечении шва, амплитуда эхо-сигнала от которых превышает амплитуду эхо-сигнала от контрольного отражателя в СОП или условная протяженность которых более 50 мм на любые 300 мм шва;

протяженные дефекты в корне шва, амплитуда эхо-сигналов от которых превышает амплитуду эхо-сигналов от контрольного отражателя в СОП или условная протяженность такого дефекта превышает 1/6 периметра шва.

При описании результатов контроля следует каждый дефект (или группу дефектов) указывать отдельно и обозначать в приведенной ниже последовательности:

буквой, определяющей вид дефекта по протяженности;

цифрой, определяющей наибольшую глубину залегания дефекта, мм;

цифрой, определяющей условную протяженность дефекта, мм;

буквой, определяющей качественно признак оценки допустимости дефекта по амплитуде эхо-сигнала.

Для записи необходимо применять следующие обозначения:

А — непротяженные дефекты;

В — протяженные дефекты;

Г — дефект, амплитуда эхо-сигнала от которого равна или менее допустимых значений;

Н — дефект, амплитуда эхо-сигнала от которого превышает допустимое значение.

Условную протяженность для дефектов типа А не указывают.

В сокращенной записи числовые значения отделяют одно от другого и от буквенных обозначений дефисом.

Примеры обозначения:

первый: В-7-7-Г означает: скопление дефектов, глубиной 7 мм, протяженностью 7 мм, годен;

второй: В-5-65-Н означает: протяженный дефект, глубиной 5 мм, протяженностью 65 мм, негоден.

Кольцевые сварные соединения признают годными по результатам радиографического и ультразвукового контроля, если в них отсутствуют недопустимые дефекты.

Результаты неразрушающего контроля должны быть оформлены заключением, в котором отражают:

номер контракта;

название трассы;

участок газопровода;

диаметр и толщину стенки стыка;

номер стыка;

клейма сварщиков;

название метода контроля;

номер снимка и его чувствительность по ГОСТ 7512;

описание обнаруженных дефектов, их условное обозначение и расположение на стыке (при необходимости с приложением схемы);

дату контроля;

оценку стыка (годен-негоден-ремонт);

подпись контролера, его уровень квалификации;

подпись представителя технадзора;

утверждение руководителя контрольной службы.

При получении неудовлетворительных результатов неразрушающего контроля кольцевого сварного соединения при сооружении трубопровода данное кольцевое сварное соединение подлежит вырезке или ремонту.

Результаты неразрушающих испытаний распространяются только на то кольцевое сварное соединение, которое фактически подвергалось контролю.

Если по результатам неразрушающего контроля имеет место массовое появление недопустимых дефектов, по требованию Заказчика дальнейшее выполнение кольцевых сварных соединений данным сварщиком (сварщиками) запрещается. Разрешение на выполнение работ данным сварщиком (сварщиками) может быть выдано только после выявления и устранения причин неудовлетворительных результатов контроля и проведения повторных аттестационных испытаний сварщика(ов).

Испытания механических свойств сварных соединений выполняют при проведении аттестации технологических процессов сварки.

Сварные соединения, выполненные стыковой контактной сваркой оплавлением, подлежат механическим испытаниям в объеме 1 % от количества сваренных товарных стыков.

Оценке качества по данным регистрации параметров процесса сварки подлежат 100 % кольцевых сварных соединений, выполненных контактной стыковой сваркой. Методика оценки качества зависит от применяемого сварочного оборудования, диаметра трубы, толщины ее стенки, а также класса стали и регламентируется соответствующей технологической инструкцией и картой. При этом обязательной проверке подлежат следующие параметры процесса:

первичное напряжение на сварочном трансформаторе;

сварочный ток;

время сварки;

скорость сближения кромок в начальный и конечный период оплавления;

скорость осадки;

припуск на оплавление и осадку;

время осадки подтоком.

Сварные соединения считают годными, если зарегистрированные фактические параметры процесса полностью соответствуют заданным значениям с учетом установленных технологической инструкцией допустимых отклонений.

При несоответствии данных регистрации указанным требованиям кольцевые сварные соединения подлежат вырезке.

В процессе сооружения трубопровода Заказчик имеет право подвергнуть дополнительному неразрушающему контролю или испытанию образцов для определения механических свойств любое кольцевое сварное соединение.

Выбор контрольных стыков и их вырезка производится Исполнителем по согласованию с Заказчиком.

Испытания контрольных стыков необходимо проводить в объеме, предусмотренном при аттестации технологии сварки.

7 ГЛАВА

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СВАРКЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ И ПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

7.1. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ СВАРОЧНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ

При выполнении сварочно-монтажных работ, разделительной и поверхностной резке, пайке необходимо руководствоваться следующими нормативными документами:

ГОСТ 12.3.004-75. ССБТ. Работы электросварочные. Общие требования безопасности;

ГОСТ 12.2.007.8-75. ССБТ. Устройства электросварочные и для плазменной обработки. Требования безопасности;

СНиП III —4 —80*. Техника безопасности в строительстве.— М.: Стройиздат, 1980;

СНиП 12 — 03 — 99. Техника безопасности при производстве строительных работ. Часть I. Общие требования. Техника безопасности при строительстве магистральных трубопроводов.— М.: Стройиздат, 1999;

Санитарные правила при сварке, наплавке и резке металлов.— М.: Медицина, 1973;

Правила техники безопасности и производственной санитарии при электросварочных работах.— М: Машгиз, 1966;

Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов.— М.: Металлургия, 1976;

Примерная инструкция по технике безопасности для машиниста передвижной *электростанции.*— М.: Недра, 1973;

Примерная инструкция по технике безопасности для такелажника.— М.: Недра, 1973;

Примерная инструкция по технике безопасности для машиниста трубоукладчика.— М.: Недра, 1973.

К работам по электросварке могут быть допущены квалифицированные электросварщики в возрасте не моложе 18 лет, которые прошли медицинское освидетельствование при приеме на работу [1,21].

Каждый рабочий может быть допущен к работе только после того, как прошел:

вводный (общий) инструктаж по охране труда;

инструктаж по технике безопасности непосредственно на рабочем месте.

Инструктаж на рабочем месте необходимо проводить:

периодически, не реже одного раза в квартал;

при каждом изменении условий работы;

при совмещении профессий;

при переводе на другую работу;

в случаях нарушения правил инструкций по технике безопасности для данного вида работ.

К выполнению работ по строповке труб и других грузов могут быть допущены только рабочие, которые прошли курс обучения, сдали экзамены квалификационной комиссии и получили удостоверение стропальщика.

Члены сборочно-сварочной бригады, а также операторы и подсобные рабочие должны быть обеспечены удобной, не стесняющей движений спецодеждой и спецобувью, а также индивидуальными средствами защиты.

В зимних условиях, чтобы рабочие могли обогреться, устанавливают перерывы в работе.

В распоряжении бригад должны быть пункты обогрева (передвижные вагон-домики или другие помещения), которые перемещают вместе с бригадой сварщиков.

Такелажные приспособления (стропы, клещевые захваты и т. п.) следует подвергать техническому осмотру через каждые 10 дней. Результаты осмотра фиксируют в журнале учета и осмотра.

При монтаже, наладке и эксплуатации электроустановок необходимо руководствоваться "Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей и правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей".

Передвижные электростанции, электросварочные агрегаты и другое электросварочное оборудование, не укомплектованные специальными отключающими устройствами, а также сварочные

стеллажи и стенды должны быть надежно заземлены.

Перед началом работы необходимо особо тщательно проверить целостность электроизоляции всех проводов.

Рабочие должны выполнять в защитных очках следующие операции:

очистку внутренней и наружной поверхностей трубы от грязи, снега, льда и от посторонних предметов;

обработку торцов труб и правку на них вмятин.

При очистке внутренней полости трубы ершом, установленным на штанге, запрещается находиться между трактором и торцом трубы.

При обработке кромок труб на станках необходимо выполнять требования техники безопасности, указанные в заводской Инструкции по эксплуатации этих станков.

При стыковке труб запрещается держать руки в световом пространстве между торцами труб.

По обе стороны стыка следует устанавливать страховочные опоры.

Плети сваренных труб должны быть размещены на расстоянии не менее 1,5 м от бровки траншеи.

Подваривать шов разрешается внутри трубопровода диаметром 1020 мм и выше с обязательным соблюдением следующих требований по технике безопасности:

а) рабочий внутри трубопровода передвигается на тележке на расстоянии не более 36 м от торца трубопровода; во время пребывания рабочего внутри трубопровода электросварочный кабель должен быть обесточен;

б) рабочий должен пользоваться специальным защитным шлемом, под который подается свежий воздух. Без специального защитного шлема разрешается работать только в том случае, если применена принудительная вентиляция, при которой загрязненность воздуха вредными газами внутри трубопровода не превышает предельно допустимых концентраций (в мг/м^3):

Окись железа с примесью до 3 % окислов марганца 6
Окись железа с примесью фтористых и марганцевых соединений 4
Марганец (в пересчете на окись марганца) 0,3
Окись углерода 20
Соли фтористоводородной кислоты
(в пересчете на фтористый водород) 1,0

в) скорость движения воздуха внутри трубопровода должна быть не менее 0,25 и не более 1,5 м/с. Администрация строительно-монтажной организации обязана организовать периодические замеры концентраций вредных газов в воздушной среде;

г) у торца трубопровода должны постоянно находиться двое рабочих для страховки, которые поддерживают сигнальную связь с электросварщиком, работающим внутри трубопровода;

д) при необходимости оказания помощи электросварщику, находящемуся внутри трубопровода, страхующий рабочий немедленно отправляется внутрь трубопровода к рабочему месту, предварительно надев маску кислородного прибора;

е) освещение внутри трубопровода должно быть от источника питания напряжением не более 12 В;

ж) электросварщику следует работать на резиновом коврике.

Во время очистки внутренней и наружной поверхностей труб и деталей трубопроводов рабочие должны носить защитные очки.

При применении газопламенных подогревателей бригаду необходимо обеспечить средствами противопожарной безопасности (огнетушитель, кошма). Рабочих, выполняющих работу по подогреву свариваемых стыков, следует обеспечить брезентовыми костюмами и рукавицами.

Газорезчики, электросварщики, кроме средств индивидуальной защиты, предусмотренных типовыми отраслевыми нормами, должны пользоваться также защитными ковриками, защитными козырьками и шлемами.

Баллоны с кислородом и горючими газами следует устанавливать на расстоянии не менее 10 м от источника огня. При температуре ниже минус 25 °С должны быть приняты меры, предотвращающие замерзание редукторов баллонов и содержащихся в них газов.

Для сварки захлестов и вварки катушек необходимо устраивать котлованы с размером по 2 м во все стороны от свариваемого стыка.

Передвижные электростанции должны быть выполнены с изолированной нейтралью. При этом защитной мерой должна служить металлическая связь корпусов электросварочного и другого оборудования, питающегося от электростанции, с корпусом электростанции в сочетании с непрерывным контролем величины сопротивления изоляции относительно корпуса.

При стыковой контактной сварке трубопроводов возможны следующие вредные и опасные факторы:

поражение электрическим током;.

поражение искрами расплавленного металла;

запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;

выделение электромагнитного излучения;

травмирование перемещаемыми грузами и трубами при такелажных работах.

При ограничений времени работы передвижной электростанции с изолированной нейтралью на одном месте защитное заземление можно не предусматривать. В этом случае электроустановка должна быть снабжена устройствами непрерывного контроля изоляции и защитно-отключающими устройствами.

В процессе работы необходимо следить за исправным состоянием изоляции токоведущих проводов, пусковых и отключающих устройств, сварочных трансформаторов. Не допускается попадание на изоляцию воды и масла, дизельного топлива и других нефтепродуктов.

При работе установки в помещении необходимо оборудовать приточно-вытяжную вентиляцию с шестикратным обменом воздуха в 1 ч.

Напряженность магнитного поля в рабочей зоне не должна превышать 100 А/м.

Производитель работ до их начала обязан ознакомить рабочих, занятых на испытании трубопровода силовым воздействием, с методикой испытаний и правилами техники безопасности.

Перед началом испытаний такелажные приспособления (стрелы, клещевые захваты, троллейные подвески и т. п.) следует подвергать техническому осмотру. Результаты осмотра должны фиксироваться в журналах учета и осмотра.

До начала работ следует проверить состояние канатов, блоков и тормозных устройств трубоукладчиков, троллейных подвесок, которые должны отвечать следующим требованиям безопасности:

иметь шестикратный запас прочности;

иметь свидетельство завода-изготовителя об испытаниях, а при отсутствии свидетельства они должны быть испытаны строительной организацией;

подвергаться испытанию через каждые б месяцев нагрузкой, в 1,25 раза превышающей рабочую. Результаты испытания зано-

сят в специальный журнал.

Для предупреждения поражения электрическим током при эксплуатации высокочастотного оборудования для пайки трубопроводов следует соблюдать следующие правила:

Передвижная электроустановка, питающая индукционную установку, должна быть снабжена устройством защитного отключения или устройством непрерывного автоматического контроля состояния изоляции. Корпуса передвижной электроустановки и высокочастотной установки должны иметь металлическую связь.

Все устройства для подключения и переключения электрических цепей должны быть защищены кожухами.

Не проводить ремонтных работ в установке, находящейся под напряжением.

Перед заменой предохранителей конденсаторы должны быть разряжены.

Высокочастотный преобразователь необходимо содержать в чистоте, не допуская появления на его деталях влаги и пыли.

Регулярно, не реже 2 раз в месяц, производить осмотр и чистку контактов пуско-регулирующей аппаратуры, блок-контактов электромеханической блокировки и поверхностей групповых охладителей тиристоров преобразователя.

Наладку высокочастотной установки и все необходимые переключения для настройки режима имеют право производить только квалифицированные электромонтеры, имеющие на это соответствующее разрешение, освоившие конструкцию преобразователя и прошедшие инструктаж по технике безопасности.

Обслуживающий персонал высокочастотной установки обязан немедленно отключить ее в случае обнаружения неисправностей, пожара и стихийных бедствий.

При возникновении пожара пламя следует тушить углекислотными огнетушителями. Категорически запрещается заливать пламя водой.

При выполнении разделительной и поверхностной резки в период строительства трубопроводов следует руководствоваться: "Правилами техники безопасности и производственной санитарии при производстве ацетилена, кислорода и газопламенной обработке металлов".— М.: Машиностроение, 1967.

К работе с аппаратурой по всем видам резки допускаются

лица не моложе 18 лет, специально обученные и имеющие соответствующее удостоверение.

Во время резки оператор должен защищать глаза специальными очками, маской или щитком со светофильтрами Э-2, а при обработке поверхности реза абразивными кругами шлифовальной машинки необходимо пользоваться защитными очками.

Запрещается вести разделительную резку трубопровода или секций труб, когда внутри трубопровода ведутся сварочные работы или находятся люди.

Запрещается проводить резку на открытом воздухе во время грозы, дождя или снегопада.

Все соединения рукавов с резаком и редуктором, а также соединения шлангов выполнять с помощью обжимных муфт. Применение проволочных скруток запрещается.

При перерывах в работе установки для обслуживания и ремонта необходимо выставлять ограждения и вывешивать предупредительные знаки.

При работе с аппаратурой для газокислородной резки необходимо соблюдать определенные правила:

Перед началом работы нужно проверить герметичность соединения всех газовых коммуникаций, аппаратуры и приборов, а также наличие достаточного уровня воды в водяном затворе.

Перед резкой трубу следует надежно установить на инвентарные опоры (в случае механизированной резки можно использовать земляные призмы) высотой 50 см над уровнем земли.

Особенно тщательно нужно следить за тем, чтобы аппаратура не соприкасалась с маслом и жирами, так как под действием кислорода возможен взрыв.

При использовании сжатых газов в баллонах необходимо соблюдать правила перевозки, хранения и получения баллонов.

Баллоны во время использования должны быть установлены вертикально и закреплены.

Баллоны следует предохранять от нагрева солнечными лучами.

Баллоны с кислородом, газом (или газогенераторы) следует располагать на расстоянии не менее 5 м от места работы.

Запрещается хранить в одном помещении баллоны для горючего газа и для кислорода (как наполненные, так и пустые).

Транспортировать баллоны с газами от стыка к стыку следует на специальных тележках или санях в зависимости от времени

года. Запрещается переносить баллоны на плечах, тянуть их по земле или по полу за вентиль или перекатывать.

При работе с газорежущими машинами типа "Орбита-2", "Спутник-2" необходимо соблюдать следующие правила:

машина должна быть надежно закреплена в направляющем поясе (гибком, цепном); шланги — свободно перемещаться по трубе;

во избежание поражения электрическим током должно быть подключено заземление (или зануление);

рабочее место должно быть свободным и удобным для работы.

Ремонт редуктора, установленного на баллоне, запрещается, в противном случае может произойти несчастный случай.

В случае разрыва или воспламенения рукавов для горючего в первую очередь необходимо погасить пламя резака, а затем перекрыть подачу горючего.

В случае воспламенения кислородного рукава необходимо закрыть подачу кислорода из баллона. Перегибать рукав для прекращения подачи кислорода не рекомендуется во избежание ожогов.

Газорежущую машину должны обслуживать два оператора.

Во время перерывов в работе аппаратура должна быть отключена от источников питания. Запрещается оставлять без присмотра рабочее место с подключенными газами и при включенном напряжении.

По окончании работы вентили баллонов с горючим газом и кислородом должны быть закрыты, аппаратура отключена и убрана в помещение.

По окончании работы следует отключить компрессоры и снять напряжение со всех устройств, входящих в установку.

При выполнении воздушно-плазменной резки обслуживающему персоналу следует особое внимание уделять соблюдению правил электробезопасности:

Электропитание всех устройств установки необходимо осуществлять через автоматический выключатель А37125. Запрещается выполнять наладку, профилактическое обслуживание и ремонт деталей и узлов установки при включенном автоматическом выключателе.

Для обеспечения безопасности работы место подключения кабеля к выпрямителю и плазмотрону необходимо изолировать двойной или усиленной изоляцией, а корпус выпрямителя — от всех частей установки.

Для своевременного выявления повреждения изоляции источник питания установки (выпрямитель) должен быть включен в сеть через автоматический выключатель Ф-419, а в цепь "выпрямитель-плазмотрон" должно быть включено реле безопасности персонала РБП-2. Указанные устройства автоматически разрывают электрическую цепь при уменьшении сопротивления изоляции ниже установленных значений. Повторное включение выпрямителя в работу возможно только при восстановленной изоляции.

Для обеспечения безопасности перед началом работы проверяют двойную или усиленную изоляцию кабеля, соединяющего " —" от выпрямителя с плазмотроном, двойную изоляцию места подключения этого кабеля к выпрямителю и к плазмотрону; корпус выпрямителя должен быть изолирован от всех частей установки. Сопротивление изоляции должно быть не менее 2 МОм для основной изоляции и 7 МОм — для усиленной изоляции.

Запрещается работа на установке с незакрепленными механическими, электрическими узлами и их элементами со снятыми или открытыми крышками, способствующими доступу к токоведущим частям.

Во время перерывов в работе аппаратура должна быть отключена от источника питания. Запрещается оставлять без присмотра рабочее место при включенном напряжении.

Вышедшую из строя электроаппаратуру разрешается ремонтировать только электромонтерам и электрослесарям. Оператору без соответствующего удостоверения выполнять эту работу запрещается.

Замену плазмотрона разрешается производить только при отключении источника питания автоматическим выключателем.

При перемещении установки от стыка к стыку обслуживающему персоналу необходимо принимать меры против повреждения изоляции токоведущих проводов, а также против соприкосновения проводов с водой, маслом, стальными канатами, шлангами от ацетиленового аппарата, газопламенной аппаратурой и горячими трубопроводами.

Рабочее место должно находиться на расстоянии не менее 2 м от торца разрезаемой трубы. Оператора следует снабдить противошумными наушниками, снижающими уровень звукового давления до допустимого.

При выполнении воздушно-дуговой резки следует в основном

соблюдать правила безопасности, утвержденные для электродуговой сварки.

Перед началом работы нужно проверить герметичность соединения воздушных коммуникаций.

В местах выполнения воздушно-дуговой резки запрещается применение и хранение огнеопасных материалов (бензина, спирта, ацетона и др.).

Корпуса установок для резки и обратные провода должны быть заземлены. Заземление должно быть выполнено до включения источника питания в электросеть, оно не должно нарушаться до отключения установки от электросети.

7.2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СВАРОЧНЫХ АГРЕГАТОВ

При эксплуатации сварочных агрегатов необходимо строго придерживаться безопасных приемов работы с двигателями внутреннего сгорания, генераторами и выпрямителями, которые изложены в технических паспортах на это оборудование. Кроме того, поскольку большинство сварочных агрегатов смонтировано на тракторах, машинист, обслуживающий агрегаты, должен иметь удостоверение на право управления и эксплуатации тракторов. Необходимо следить за тем, чтобы во время работы защитный кожух генератора со стороны коллектора был закрыт. Во избежание попадания топлива на щетки сварочного генератора и его воспламенения необходимо заправлять агрегат топливом только при выключенном двигателе; следить за тем, чтобы топливо не попадало на провода управления; после заправки тщательно обтереть места, на которые попало топливо; следить за тем, чтобы не было течи топлива из бака или топливных трубопроводов. Запрещается подносить к баку открытый огонь для освещения при проверке уровня топлива. Необходимо пользоваться для этого мерной линейкой. В случае воспламенения топлива пламя следует засыпать землей. Запрещается использовать для тушения воду. Необходимо следить за состоянием электропроводки и клемм,

особенно сварочных, нагрев которых может привести к пожару и к изменению режима сварки. Все агрегаты, работающие под напряжением свыше 100 В, должны иметь устройства для непрерывного контроля изоляции и отключения источника повышенного напряжения при нарушении изоляции. Категорически запрещается блокировать механически и электрически эти устройства.

7.3. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Общие положения техники безопасности, рассмотренные в пп. 7.1, 7.2 по разделам сварочных работ, относят также к работам, связанным с контролем сварных соединений.

Из применяемых видов контроля особую опасность представляют рентгеновское и гамма-излучение [1, 25].

Рентгеновские и гамма-лучи опасны для человека при продолжительном облучении и большой дозе. Это связано с воздействием излучения на живую ткань, при котором может быть нарушена нормальная жизнедеятельность клеток, одна часть клеток гибнет непосредственно при облучении, а другая — через некоторое время после облучения. Это может привести к общим нарушениям деятельности всего организма и к заболеваниям различной степени в зависимости от дозы облучения.

Уровень биологического воздействия излучения зависит от интенсивности и количества поглощенной организмом человека энергии излучения.

Экспериментально установлена предельно допустимая доза, которая не вызывает необратимых изменений в организме даже при продолжительном воздействии. Эта доза равна $0{,}44 \cdot 10^{-4}$ кул/кг или 0, 017 рентгена за шестичасовой день.

Меры безопасности при работе с радиоактивными препаратами сводятся к введению промежуточной защитной среды между препаратом и обслуживающим персоналом, сокращению продолжительности работы и к увеличению расстояния между источником излучения и персоналом (дистанционное управление).

Радиоактивные источники устанавливают в специальные кон-

тейнеры, а рентгеновские трубки помещают в защитные кожухи. Материалом для защитной среды служит свинец. Применяются также баритобетон, бетон, свинцовое стекло и др.

Основным мероприятием по защите от вредного действия излучения является максимальное снижения дозы облучения на рабочем месте.

Для контроля степени облучения применяют дозиметры — приборы, измеряющие интенсивность рентгеновских и гамма-лучей. Такие приборы должны быть в каждой лаборатории, использующей рентгеновские и гамма-лучи для контроля сварных соединений. При этом для общего контроля применяют наиболее распространенный тип дозиметра с ионизационной камерой ДКЗ. Для индивидуального контроля дозы облучения на рабочем месте применяют портативные карманные дозиметры.

Кроме контроля облучения, обслуживающий персонал лаборатории периодически проходит медицинское обследование. Лиц с измененным составом крови или с иными отклонениями от нормы отстраняют от работы в лаборатории.

Площадь рентгеновской лаборатории должна быть более 20 $м^2$ при высоте помещения не менее 3 м. Лаборатория по просвечиванию гамма-лучами должна иметь площадь более 24 $м^2$ при минимально допустимой высоте 3,5 м. Стены, потолок и пол лаборатории должны быть покрыты слоем вещества, поглощающего излучение. Толщину этого слоя выбирают в зависимости от вещества: для свинца — более 5 мм, для баритобетона — 345 мм, для кирпича — 435 мм. Приточно-вытяжная вентиляция должна обеспечивать десятикратный обмен воздуха. Лаборатория должна быть оборудована плакатами и иллюстрациями по технике безопасности при работе на каждом рабочем месте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Березин В. Л., Суворов А. Ф.* Сварка трубопроводов и конструкций: Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп.— М.: Недра, 1983.
2. ВСН 006-88. Строительство магистральных и промысловых трубопроводов. Сварка / Миннефтегазстрой.— М: ВНИИСТ, 1989.
3. ГОСТ 5264 — 80*. Ручная дуговая сварка. Соединения сварные.
4. ГОСТ 2601-84. Сварка металлов. Термины и определения основных понятий.
5. ГОСТ 3242 — 79*. Соединения сварные. Методы контроля качества.
6. ГОСТ 8713 — 79*. Сварка под флюсом. Соединения сварные.
7. Иллюстрированное пособие сварщика.— М.: Соуэло, 2000.
8. Инструкция по выполнению сварочных работ при сооружении нефтепровода КТК — КТК - 0687600 - 99. — М.: АО ВНИИСТ, 1999.
9. Электроды для ручной дуговой сварки, наплавки и резки / Каталог,— М.: АО "Спецэлектрод", 2001.
10. *Левадный В. С, Бурлака А. П.* Сварочные работы: Практическое пособие.— М.: Аделант, 2002.
11. *Маслов В. И.* Сварочные работы: Учеб. пособие.— М.: ПрофОбрИздат, 2002.
12. *Николаев А. А., Герасименко А. И.* Электрогазосварщик: Учеб. пособие.— Ростов н/Д: Изд-во "Феникс", 2001.
13. *Походня И. К., Шейнкин М. З., Шлепаков В. Н.* и др. Дуговая сварка неповоротных стыков магистральных трубопроводов.— М.: Недра, 1987.
14. Правила аттестации специалистов неразрушающего контроля. Утв. Госгортехнадзором РФ 18.08.1992.
15. Правила аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства. Утв. постановлением ГГТИ РФ от 30.10.98 г., № 63.
16. РД 153 — 006 — 02. Инструкция по технологии сварки при строительстве и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов.— М.: АО ВНИИСТ, 2002.
17. РД 153 — 34.1 —003 — 01. Сварка, термообработка и контроль трубных систем котлов и трубопроводов при монтаже и ремонте энергетического оборудования.
18. СП 105 — 34 — 96. Производство сварочных работ и контроль качества сварных соединений.— М.: ИРЦ Газпром, 1996.
19. СНиП 2.05.06 — 85*. Магистральные трубопроводы.— М.: Строиздат, 2000.

20. Справочник по сварочным работам.— М.: НПО ОБТ, 1998.
21. *Стеклов О. И.* Основы сварочного производства: Учеб. пособие.— М.: Высшая школа, 1981.
22. *Суворов А. Ф.* Сварка магистральных трубопроводов: Конспект лекций. Ч 1.—М.: ГАНГ, 1997.
23. *Троицкий В. А, Валевич М. И.* Неразрушающий контроль сварных соединений.— М.: Машиностроение, 1988.
24. *Шмелева И.* А, *Тарлинский М. З., Шейнкин М. З.* и др. Сварочно-монтажные работы при строительстве трубопроводов: Справочник.— М.: Недра, 1990.
25. ВСН 012 — 88. Строительство магистральных и промысловых трубопроводов. Контроль качества и приемки работ / Миннефтегазстрой.— М.: ВНИИСТ, 1989.
26. *Браткова О. Н.* Источники питания сварочной дуги.— М.: Высшая школа, 1982.
27. *Тарлинский В. Д., Рогова Е. М.* Сварочно-монтажные работы при сооружении компрессорных и насосных станций.— М.: Недра, 1985.
28. Строительство магистральных трубопроводов. Справочник / В. Г. Чирсков, В. Л. Березин, Л. Г. Телегин и др.— М.: Недра, 1991.— 475 с.
29. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / Под ред. В. В. Клюева.— М.: Машиностроение, 1995.

Приложение 1

Таблица П 1.1

Сварочные материалы для сварки под флюсом

Группа прочности *трубной,* стали (нормативный предел прочности, МПа)	Комбинация «флюс + проволока»	Завод (фирма)-изготовитель
	Односторонняя автоматическая сварка	
1 (до 490 включительно)	АН-348А + Св-08А АН-348А + Св-08АА (АН-384А + Св-08ГА)	Запорожский завод сварочных флюсов и стеклоизделий (флюс)
1 (до 490 включительно)	АН-47 + Св-08А АН-47 + Св-08АА (АН-47 + Св-ОВГА)	Запорожский завод сварочных флюсов и стеклоизделий (флюс)
(510-530 включительно)	АН-348А + Св-08ГА АН-47 + Св-08ГА	Запорожский завод сварочных флюсов и стеклоизделий (флюс)
(539-588 включительно)	Lincolnweld 860 + L-70 ОК Них 10.71 + ОК Autrod 12.24 АН-47 + Св-08ХМ АН-47 •+• Св-08МХ АН-47 + Св-08ГНМ АН-47 + S2Mo	Lincoln Electric (США) ESAB AB (Швеция) Запорожский завод сварочных флюсов и стеклоизделий (флюс)
	Двусторонняя автоматическая сварка	
1; 2; 3 (**до** 588 включительно)	АН-348А + Св-08ГА АН-47 + Св-08ГА	Запорожский завод сварочных флюсов и стеклоизделий (флюс)
(539-588 включительно]	ОКНих 10.71 4- ОК Autrod 12.24 Lincolnweld 860 + L-70 АН-47 + Св-08ХМ АН-47 + Св-08МХ АН-47 + Св-08ГНМ АН-47 + СВ-08ХГ2СНМТ АН-47 + S2Mo	ESAB AB (Швеция) Lincoln Electric (США) Запорожский завод сварочных флюсов и стеклоизделий (флюс)

Примечания: 1. Флюсы марок АН-348А и АН-47 производства Запорожского завода могут быть использованы только после переаттестации в установленном порядке. 2. При использовании комбинаций № 9 и № 18 для сварки труб из сталей прочностного класса К60 (с нормативным пределом прочности 588 Н/мм^2) должны соблюдаться требования к химическому составу проволоки L-70: по содержанию марганца — не менее 0,95 %, по содержанию молибдена — не менее 0,45 %.

Таблица П1.2

Электроды с покрытием целлюлозного вида для сварки неповоротных и поворотных стыков труб при строительстве, реконструкции и ремонте трубопроводов

Назначение	Марка	Диаметр, мм	Фирма-поставщик
Для сварки корневого слоя шва стыков труб из стали с нормативным пределом прочности до 588 МПа включительно (1-я, 2-я и 3-я группы) и «горячего» прохода стыков труб с нормативным пределом прочности до 530 МПа включительно (1-я и 2-я группы)	Флитвелд 5П + (Fleetwefd 5Р +)	3,2; 4,0	Lincoln Electric (США)
	Фокс Цель (Fox Cel)	3,2; 4,0	Bohler-Thyssen Welding (Австрия)
Для сварки «горячего» прохода стыков труб из сталей с нормативным пределом прочности до 588 МПа включительно (3-я группа), заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из сталей с нормативным пределом прочности от 490 до 530 МПа включительно (1-я и 2-я группы)	Флитвелд 5П + (Fleetweld 5Р +)	4,0	Lincoln Electric (США)
	Фокс Цель Мо (Fox Cel Mo)	4,0	Bohler-Thyssen Welding (Австрия)
Для сварки заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из сталей с нормативным пределом прочности до 490 МПа (1-я группа)	Фокс Цель (Fox Cel)	3,2; 4,0	Bohler-Thyssen Welding (Австрия)
Для сварки заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из сталей с нормативным пределом прочности до 530 МПа включительно (1-я и 2-я группы)	Флитвелд 5П + (Fleetweld 5Р +)	3,2; 4,0	Lincoln Electric (США)
Для сварки «горячего» прохода, заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из стали с нормативным пределом прочности 530 - 550 МПа (К54 - К56)	ШилдАрк80 (Shield Arc 80)	4,0	Lincoln Electric (США)
Для сварки «горячего» прохода, заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из стали с нормативным пределом прочности 539 — 588 МПа включительно (3-я группа)	Фокс Цель 90 (Fox Cel 90)	4,0; 5,0	Bohler-Thyssen Welding (Австрия)

Таблица П1.3

Электроды с покрытием основного вида для сварки и ремонта неповоротных и поворотных стыков труб при строительстве, реконструкции и ремонте трубопроводов

Назначение	Марка электрода	Диаметр, мм	Фирма-поставщик
Для сварки и ремонта корнового слоя шва и выполнения подварочного слоя (*) стыков труб из стали с нормативным пределом прочности до 588 МПа включительно (1-я, 2-я, 3-я и 4-я группы)	ЛБ-52У (LB-52U)	2,6; 3,2	Kobe Steel (Япония)
	Феиикс К50Р Мод (PhenixK50R Mod)	2,5; 3,2	Bohler-Thyssen Schweisstechnik (Германия)
	ОК 53.05	2,5; 3,2	ESAB AB (Швеция)
	ОК 53.70	2,5; 3,0	«ЕСАБ-СВЭЛ» (Россия, г. Санкт-Петербург)
	Ок 53.70"	2,5; 3,0	«СИБЭС» (Россия, г. Тюмень)
	Фокс ЕВ Пайп (Fox EV Pipe)	2,5; 3,2	Bohler-Thyssen Welding (Австрия)
	Линкольн 16П (Lincoln 16P)	2,5; 3,2	Lincoln Electric (США)
	МТГ-01К	3,2; 3,0	Сычевский электродный завод (Россия, г. Сычевка)
Для сварки и ремонта заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из стали с нормативным пределом прочности 530 МПа включительно (1-я и 2-я группы)	ЛБ-52У (LB-52U)	3,2; 4,0	Kobe Steel (Япония)
	Феникс К50Р Мод (Phoenix K50R Mod)	3,2; 4,0	Bohler-Thyssen Schweisstechnik (Германия)
	ОК 53.05	3,2; 4,0	ESAB AB (Швеция)
	ОК 53.70	3,0; 4,0	«ЕСАБ-СВЭЛ» (Россия, г. Санкт-Петербург)
	Ок 53.70"	3,0; 4,0	«СИБЭС» (Россия, г. Тюмень)
	Фокс ЕВ Пайп (Fox EV Pipe)	3,2; 4,0	Bohler-Thyssen Welding (Австрия)
	Линкольн 16П (Lincoln 16P)	3,2; 4,0	Lincoln Electric (США)
	МТГ-01К	3,0	Сычевский электродный завод (Россия, г. Сычевка)
	МТГ-02	4,0	Сычевский электродный завод (Россия, г. Сычевка)

Окончание табл. П1.3

Назначение	Марка электрода	Диаметр, мм	Фирма-поставщик
	ОК 48.04	3,0; 4,0	«СИБЭС» (Россия, г. Тюмень)
	ОК 48.00"	3,2; 4,0	ESAB AB (Швеция)
Для сварки и ремонта заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из стали с нормативным пределом прочности от 539 до 588 МПа включительно (3-я группа)	ОК 74.70	3,2; 4,0	ESABAB (Швеция)
	Линкольн 18П (Lincoln 18P)	3,2; 4,0	Lincoln Electric (США)
	Кессель 5520 Mo (Kessel 5520 Mo)	3,2; *4,0*	Bonier Schweisstechnik Deutschland (Германия)
	ОК 74.70"	4,0	«СИБЭС» (Россия, г. Тюмень)
	МТГ-03	0;4,0	Сычевский электродный завод (Россия, г. Сычевка)
	Шварц-3КМод (Schwarz-3K Mod)	3 2; 4,0	Bohler-Thyssen Schweisstechnik (Германия)
Для сварки и ремонта заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из стали с нормативным пределом прочности от 637 МПа включительно (4-я группа)	ОК 74.78"	4,0	ESABAB (Швеция)

Примечания: * — сварку подварочного слоя рекомендуется выполнять электродами № 1 — 8 диаметром 3,0; 3,2 или 4,0 мм; " — электроды ОК 53.70 (СИБЭС), ОК 74.70 (СИБЭС), ОК 48.08 и ОК 74.78 могут быть допущены к применению только после их периодической аттестации в установленном порядке.

Таблица ***П1.4***

Сварочные электроды для сварки стыков труб

Область применения	Вид покрытия, тип по ГОСТ 9467-77; обозначение по AWS A5.1 и A5.5	Группа прочности свариваемой стали, нормативный предел прочности, МПа (кгс/мм^2)
Сварка корневого слоя шва	Основной, Э50А; Е7016	1,2,3,4 до 637 (65) включительно
	Целлюлозный, Э42А, Э46А; Е6010	
Сварка «горячего» прохода	Целлюлозный, Э42А, Э46А; Е6010	1,2 до 530 (54) включительно
	Целлюлозный, Э50А Е7010	3 от 539 (55) до 588 (60) включительно
Сварка заполняющих и облицовочного слоев шва	Основной, Э50А Е7016, Е7018	1,2 до 530 (54) включительно
	Основной, Э60; Е8018;Е8016;Е8015	3 от 539 (55) до 588 (60) включительно
	Основной, Э70; Е9018	4 637 (65)
	Целлюлозный Э42А; Э46А Е6010	1 до 490 (50) включительно
	Целлюлозный Э50А; Е7010	2 до 490 (50) до 530 (54) включительно
	Целлюлозный Э55 Е8010	2 от 530 (54) до 550 (56) включительно
	Целлюлозный Э60 Е9010	3 от 539 (55) до 588 (60) включительно

Приложение 2

Сварочно-термическое оборудование, материалы, инструмент

Таблица П2.1

Общие принципиальные данные о сварочных трансформаторах

Тип трансформатора	Вид внешней вольт-амперной характеристики трансформатора	Марка сварочного трансформатора	Назначение
Трансформатор с механическим регулированием с подвижными обмотками переносной	Крутопадающая	ТД-102У2, ТД-306У2	Ручная дуговая сварка штучными электродами
Трансформатор с механическим регулированием с подвижными обмотками передвижной	Крутопадающая	ТД-500-4У2, ТДМ-317-У2, ТДМ-317-1У2, ТДМ-401-У2, ТДМ-503-У2, ТДМ-401-1У2, ТДМ-503-1У2, ТДМ-503-2У2, ТДМ-503-3У2,	Ручная дуговая сварка штучными электродами
Тиристорный трансформатор с прерывистым питанием дуги	Крутопадающая	ТДЭ-402УЗ	Ручная дуговая сварка штучными электродами
Тиристорный трансформатор с прерывистым питанием дуги и импульсной стабилизацией	Пологопадающая	ТДФЖ-1002УЗ, ТДФЖ-2002УЗ	Автоматическая дуговая сварка под флюсом

Примечание. Обозначения, принятые в таблице: U\ — напряжение питающей цепи; U_2 — сварочное напряжение; W_1 — первичная катушка трансформатора; W_2 — вторичная катушка трансформатора; Г, — силовой трансформатор; $Г_2$ — вспомогательный трансформатор.

Таблица П2.2

Общие принципиальные данные о сварочных преобразователях

Тип генератора	Внешняя вольт-амперная характе-ристика генератора	Марка сварочного преобразователя	Назначение
Генератор коллекторного типа	Крутопадающая	ПСО-315МУ2, ПСО-300-2У2, ПД-502У2, П Д-101 УЗ	Ручная дуговая сварка штучными электродами, полуавтоматическая и автоматическая сварка под флюсом, ручная аргоноду-говая сварка
Генератор коллекторного типа	Жесткая	ПСГ-500-1УЗ	Полуавтоматическая и автоматическая сварка плавящимся электродом в за-щитных газах
Генератор вентильного типа	Крутопадающая	ПД-305У2	Ручная дуговая сварка штучными электродами, ручная аргоно-дуговая сварка

Таблица П2.3

Общие принципиальные данные о сварочных выпрямителях

Наименование схемы выпрямления	Внешняя вольт-амперная характе-ристика источника!	Марка сварочных выпрямителей	Назначение
Трехфазная мостовая схема выпрямления	Крутопадающая	ВД-201УЗ, ВД-306УЗ, ВД-502-2УЗ, ВД-401УЗ	Ручная дуговая сварка штучными электродами, ручная аргоно-дуговая сварка, автоматическая дуговая сварка под флюсом
	Жесткая	ВДГ-ЗОЗУЗ, ВСЖ-ЗОЗУЗ, ВС-ЗООА, ВС-600М	Полуавтоматическая и автоматическая дуговая сварка плавящимся электродом в защитных газах
Двойная трехфазная схема с уравнительным реактором	Крутопадающая	ВДУ-305УЗ, ВДУ-504-1УЗ, ВДУ-505УЗ, ВДУ-506УЗ, ВДУ-601УЗ,	Ручная дуговая сварка штучными электродами, автоматическая дуговая сварка под флюсом
	Жесткая	ВДУ-305УЗ, ВДУ-504-1УЗ, ВДУ-505УЗ, ВДУ-506УЗ, ВДУ-5000УЗ,	Полуавтоматическая и автоматическая дуговая сварка плавящимся электродом в за-щитном газе, в том числе многопостовая (ВМГ-5000УЗ)
Шестифазная кольцевая схема выпрямления	Крутопадающая	ВДУ-1201УЗ, ВДУ-1201УЗ,	Автоматическая дуговая сварка под слоем флюса
	Жесткая	ВДГ-601УЗ, ВДМ-1001УЗ, ВДМ-1601УЗ	Автоматическая дуговая сварка плавящимся электродом в за-щитных газах Многопостовая ручная дуговая сварка штучными электродами, ручная аргоно-дуговая сварка

Таблица П2.4

Техническая характеристика сварочных трансформаторов

Наименование	Марка трансформатора												
	ТД-102У2	ТД-306У2	ТД-500-4У2	ТДМ-317-1У2	ТДМ-501У2	ТДМ-503У2	ТДМ-401-1У2	ТДМ-503-1У2	ТДМ-503-2У2	ТДМ-503-3У2	ТДЭ-402У2	ТДСК-1002У3	ТДФК-2002У2
Номинальный сварочный ток, А	160	205	500	315	400	500	400	500	500	500	400	1000	2000
Номинальное рабочее напряжение, В	26	30	40	32,6	36	40	36	40	40	40	44	56	76
Минимальный сварочный ток, А	60	100	100	60	80	90	80	90	90	90	80	300	600
Минимальное рабочее напряжение, В	22,4	24	24	22,4	23,2	23,6	23,2	23,6	23,6	23,6	24,8	30	32
Максимальный сварочный ток, А	175	300	560	360	460	560	460	560	560	560	430	1200	2200
Максимальное рабочее напряжение, В	27	32	42,4	34,4	38,4	42,4	38,4	42,4	42,4	42,4	45,8	56	76
Продолжительность нагрузки, ПН, %	20	25	60	60	60	60	60	60	60	60	60	100	100
КПД, не более, %	72	78	88,5	86	86	88	86	88	88	88	86	86	88
Коэффициент мощности	0,48	0,5	0,67	0,56	0,6	0,65	0,6	0,65	0,85	0,85	0,61	0,8	0,8
Напряжение холостого хода, не более, В	80	80	12	80	80	80	12	12	80	12	12	100	100
Габаритные размеры, мм:													
длина	570	630	780	555	555	555	760	760	660	820	590	1370	1370
ширина	325	370	670	585	585	585	585	585	585	585	595	760	760
высота	530	585	835	818	848	888	848	888	888	888	820	1220	1220
Масса, кг	38	67	200	130	145	170	160	185	195	210	180	550	850

Таблица П2.5

Техническая характеристика сварочных преобразователей постоянного тока

Наименование	Марка преобразователя					
	ПД-101УЗ	ПСО-315МУ2	ПСО-300-2У2	ПД-305У2	ПД-502У2	ПСГ-500-1УЗ
Номинальный сварочный ток, А	125	315	315	315	500	500
Пределы регулирования сварочного тока, А	15-135	100-315	100-315	45-350	75-500	60-500
Рабочее напряжение при номинальном сварочном токе, В	25	32	32	32	40	60
Напряжение холостого хода, не более, В	90	90	90	90	90	—
Относительная продолжительность нагрузки, ПН, %	60	60	60	60	60	60
Продолжительность цикла сварки, мин	5	5	5	5	10	10
Мощность генератора, кВт	3,12	10,2	10,2	10,2	20	20
Марка генератора	ГД-101	ГСО-200М	ГСО-300	ГД-317	ГД-502	ГСГ-500-1
Марка электродвигателя	АВ2-42-2У2	АВ2-62-2СХУ1	4АВ16А4У2	АВ2-51-2В	АВ2-71-2СУ2	АВ2-71-2У2
Линейное напряжение трехфазной питающей сети, В	220, 380	38	380	220, 380	380	220, 380
Частота питающей сети, Гц	50	50	50	50	50,60	50,60
Ток электродвигателя, А	25,4/14,7	32,5	50,6/29,3	29,8/17,2	97/56	97/56,2
Частота вращения, об/мин	2910	2915	1460, 1750	2900	2900, 3480	2900, 3480
Мощность электродвигателя, кВт	7,5	17	15	10	30	30

co
to

Окончание табл. П2.5

Наименование	Марка преобразователя					
	ПД-101УЗ	ПСО-315МУ2	ПСО-300-2У2	ПД-305У2	ПД-502У2	ПСГ-500-1УЗ
Габаритные размеры, мм						
длина	1140	1225	1030	1200	1065	1050
ширина	490	485	590	537	650	620
высота	645	780	830	845	935	890
Масса, кг	230	393	435	280	500	500
Исполнение	Однокор-пусное	Раздель-ное	Однокор-пусное	Однокор-пусное	Однокор-пусное	Однокор-пусное

Таблица П2.6

Техническая характеристика сварочных передвижных агрегатов постоянного тока

Наименование	Марка бензинового агрегата					Марка дизельного агрегата						
	АДБ-Е502У1	АДБ-3122У1	АДБ-3123У1	АДБ-3125У1	ПАС-400-У1	АДД-3112У1	АДД-3114У1	АДД-4001У1	АДА-4003У1	АДА-502У1	АСДП 500ГУ1	АДД-4-2501У1
Номинальный сварочный ток, А	250	315	315	315	400	315	315	400	400	2х315/500	500	4х250
Пределы регулирования сварочного тока, А	45—300	15—350	15—350	45—350	120-600	30-350	15-350	60-450	60-450	2(60-330)/250-550	120-500	(70-250)х4
Рабочее напряжение при номинальном сварочном токе, В	30	32	32	32	40	32	32	40	40	2/32/40	40	4х30
Напряжение холостого хода, не более, В	100	100	100	100	100	100	100	**100**	100	100	100	100
Продолжительность цикла сварки, мин	5	5	5	5	5	5	5	10	10	5/10	10	5
Относительная продолжительность нагрузки, ПН, %	60	60	60	60	45	60	60	60	60	(2х315) 60/(500) 80	60	60
Частота вращения агрегата, об/мин	3000	2000	2000	2000	1600	1800	1800	1800	1800	1800	1500	1500
Марка двигателя	АБ8М	ЗМЗ-320-01	ЗМЗ-320-1	ЗМЗ-320-01	ЗИЛ-164	Д144	Д144	Д144-81	Д144-81	Д144	ЯАЗ-М204Г	ЯАЗ-М204Г
Марка сварочного генератора	ГСО-300М	ГД-314	ГД-314	ГД-314	СГП-3-У1	ГД-3120	ГД-3120	СГП-3-УЗ	СГП-3-УЗ	ГСМ-500	ГСМ-500	ГД-4х 2502У2

Продолжение приложения 2

Окончание табл. П2.6

Наименование	Марка бензинового агрегата						Марка дизельного агрегата					
	АДБ-Ь502У1	АДБ-3122У1	АДБ-3123У1	АДБ-3125У1	ПАС-400-У1	ДДД-3112У1	АДД-3114У1	ДДД-4001У1	АДД-4003У1	АДД,-502У1	АСДП-500ГУ1	АДД4-2501У1
Вместимость топливного бака, л	35	66	66	66	50	54	54	54	54	**100**	150	154
Расход топлива при номинальном режиме, кг/ч	5,5	4,4	4,4	4 4	ПО	4,35	4,35	4,4	4,4	5,7/ 6,4	9,5	11,8
Масса незаправленного агрегата, кг	550	670	1280	690	**1990**	895	750	**855**	1480	1600; 3500-	4550	5250
Габаритные размеры, **мм:**												
М ™ 3	1680	1900	3300	1900	2700	1900	1900	2050	3400	2550; 6240-	6350	7150
ширина	870	900	2010	950	900	900	950	950	2010	1200; 2350-	2350	2360
высота	1080	1200	2320	1420	1550	1200	**1600**	1300	2200	1270; 2040*	2785	2740

"Масса и габаритные размеры относятся к агрегату с прицепом.

Продолжение приложения 2

Таблица П2.7

Техническая характеристика сварочных выпрямителей однопостовых

Наименование	С крутопадающей внешней характеристикой				С жесткой внешней характеристикой					С универсальной внешней характеристикой					
	ВД-20 1У:	ВД-306УЗ,	ВД-401УЗ	ВД-502-2УЗ	ВДГ-303У2	ВСЖ-303Y:	ВС-300А	ВС-600М	ВДГ-60 ГУ:	ВДУ-350Ус	ВДУ-**1УЗ**	ВДУ-505У2	ВДУ-506УЗ	ВДУ-601У:	ВДУ-1201УЗ
Номинальный сварочный ток, А	200	315	400	500	315	**315**	315	630	630	**315**	**500**	500	500	630	**1250**
Продолжительность нагрузки, ПН, %	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	**100**
Напряжение холостого хода, не более, В	70	70	80	80	40	34	34	50	90	70	80	80	80	90	85
Пределы регулирования сварочного тока, А	30-200	45-315	50-450	50-500	50-**315**	50-315	50-315	100-630	100 — 700	50-315 20-315	100 — 500 60-500	**60-**500 50-500	**60-**500 50-500	65-630 50-630	300-1250 200-1250
Пределы регулирования рабочего напряжения	—	—	—	—	16-40	16-34	16-34	20-50	18-66	**16-**38 21-**33**	**18-**50 22-46	18-**50** 22-46	**18-**50 22-46	18-**56** 22-**52**	24-56 25-56
Первичная мощность не более, кВА	15	21	28	42	21	20	16	35	69	23	40	40	40	60	**118**
КПД, не менее, %	60	72	69	78	76	76	76	83	82	70	82	82	79	75	83,5
Габаритные размеры, MNc															
длина	716	785	772	**810**	723	600	650	1000	900	975	1085	790	820	860	1350
ширина	622	780	770	560	593	650	600	700	1140	634	808	670	620	690	850
высота	775	795	785	1062	938	900	900	1400	920	760	1026	880	1100	1100	1250
Масса, не более, кг	120	164	**200**	330	220	200	180	550	550	230	370	300	300	320	730

Примечание. Для свг РОЧН!IХ выггрямичгелей с:унив эрсальной г нешнейха эактер истикой: вчислителе — сведения для варианта с ж есткой вне!инейх аракт зристт1кой, в зна> енателе — сведе!шядлу[вариштас круто падающей внешней характеристикой.

Таблица П2.8

Техническая характеристика многопостовых сварочных выпрямителей

Наименование	Марка выпрямителя			
	ВДМ-1001УЗ	ВДМ-1601УЗ	ВМГ-5000УЗ	ВДУМ-501У1
Номинальный сварочный ток, А	1000	1600	5000	7500
Продолжительность нагрузки, ПН, %	**100**	100	100	100
Номинальное рабочее *напряжение,* В	60	60	30-60	75
Напряжение холостого хода, В	70	70	80	**100**
Первичная мощность, кВА	74	120	317	660
КПД, не более, %	90	90	92	92
Масса, не более, кг	420	770	2490	8500
Габаритные размеры, мм:				
длина	1100	1050	1500	5150
ширина	700	850	1150	2200
высота	900	1650	1685	2450
Число постов сварки	7	9	30	150/200
Номинальный сварочный ток одного поста при ПН = 60 %, А	315	315	315	160/90

Таблица П2.9

Техническая характеристика источников питания для ручной и автоматической аргонодуговои сварки неплавящимся электродом

Наименование	Марка источника питания						
	УДГ-301-1УЗ	УДГ-501-1УЗ	УДГУ-301УЗ	УПС-301УЗЛ4	УДГ-201УХЛ4	УДГ-350УХЛ4	ТИР-300ДМ1
Род сварочного тока	Переменный	Переменный	Постоянный Переменны?[	Постоянныи	Постоянный	Постоянный	Постоянный
Номинальный сварочный ток, А	315	500	315	315	200	315	315
Продолжительность нагрузки, ПН, %	60	60	60	60	40	60	60
Напряжение холостого хода, В	72	72	65/72	68	60-75	80	70
Рабочее напряжение, В	16	16	12/16	40	12	12	12
Род и величина напряжения питающей сети, В	Переменный трехфазный 380	Переменный трехфазный 380	Переменный трехфазный 380	Переменный трехфазный 380	Постоянный 60-76	Переменный трехфазный 380	Переменный трехфазный 380
Пределы регулирования тока, А	15-25 20-100	40-150 120-500	20-100 90-315	4-25 25-315	10-315	10-315	25-315
Время действия тока импульса, с	0,02	0,02	0,02	0,1-10	ОД-10	0,1-10	0,3-3,0

w

Окончание табл. П2.9

Наименование	Маркс источника питания						
	УДГ-301-1УЗ	УДГ-501-1УЗ	УДГУ-301УЗ	УПС-301УЗЛ4	УДГ-201УХЛ4	УДГ-350УХЛ4	ТИР-300ДМ1
Время действия тока паузы, с	0,02	0,02	0,02	0,1-10	0,1-10	0,1-10	0,3-3,0
Габаритные размеры, мм:							
длина	700	900	900	900	300	600	1230
ширина	1100	1100	1100	1100	500	350	620
высота	900	900	900	1100	400	400	1000
Масса, не более, кг	380	460	420	340	40	45	410
Способ возбуждения дуги	Высокочастотный разряд	Высокочастотный разряд	Высокочастотный разряд	Касанием электрода изделия	Касанием электрода изделия	Касанием электрода изделия	Высокочастотный разряд
Способ гашения дуги	Плавное автоматическое снижение сварочного тока в течение заданного регулируемого времени						

Таблица П2.10

Требования по видам и периодичности планового ремонта источников питания сварочной дуги

Оборудование и его ремонт	Число ремонтов в год			Межремонтный период, мес
	Текущий	Средний	Капитальный	
Сварочные трансформаторы	2	2	1 раз в 4 года	3
Сварочные преобразователи	4	2	1 раз в 2 года	2
Сварочные выпрямители	2	2	1 раз в 4 года	3
Характеристика ремонта сварочного оборудования	Тщательный осмотр без разборки. Замена или восстановление отдельных изношенных деталей	Тщательный осмотр оборудования с частичной разборкой, Замена, восстановление, чистка изношенных и неисправных деталей, механиизмов и электрических устройств	Полная разборка оборудования. Проверка размеров. Замена или восстановление всех изношенных и неисправных деталей, механизмов и электрических устройств. Восстановление первоначальных технических данных оборудования	

Таблица П2.11

Техническая характеристика автоматов для дуговой сварки под флюсом плавящимся электродом

Наименование	Марка автомата						
	АДФ-1001УЗ	АДФ-1002УЗ	АДФ-1202УЗ	М-2001УХЛ4	А-1415УХЛ4	А-1412УЗЛ4	ГДФ-1001УЗ
Исполнение	Трактор	Трактор	Трактор	Трактор	Самоходная головка	Самоходная головка	Подвесная головка
Номинальный сварочный ток, А	1000	1000	1250	2000	1250	2000	1250
Диаметр электродной проволоки, мм	3-5	2-5	2-6	2-5	2-5	2-5	3-5
Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	60-360	60-360	60-360	60-360	17-558	17-558	55-558
Скорость сварки, м/ч	12-20	12-80	12-120	12-120	12-120	24-240	
Продолжительность включения, ПВ, %	100	100	100	100	100	100	100
Марка источника питания сварочного тока	ТДФК-1002УЗ	ТДФК-1002УЗ	ВДУ-1201УЗ	ВДФ-2001УЗ	ВДУ-1201УЗ	ГДФК-2002УЗ	ВДУ-1201УЗ
Пределы регулирования сварочного тока, А	300 - 1200	300-1200	200-1250	500-2000	200-1250	600-2200	20-1250
Пределы регулирования рабочего напряжения, В	30 — 56	30-56	26-56	30-56	25-56	32-76	26-57

Окончание табл. П2.11

Наименование	Марка автомата						
	АДФ-1001УЗ	АДФ-1002УЗ	АДФ-1202УЗ	АД-2001УХЛ4	А-1415УХЛ4	А-1412УЗЛ4	ГДФ-1001УЗ
Первичная мощность, кВА	120	120	118	230	118	240	118
КПД источника сварочного тока, А	86	86	83,5	84	83,5	88	83,5
Габаритные размеры автомата, мм:							
длина	1100	716	1100	1200	1860	1820	1845
ширина	400	346	450	990	860	890	1050
высота	750	526	770	1870	960	1388	1680
Масса автомата, кг	65	45	65	420	325	405	
Род сварочного тока	Переменный	Переменный	Постоянный	Постоянный	Постоянный	Переменный	Постоянный

Таблица П2.12

Техническая характеристика переносных автоматов для сварки неповоротных стыков труб неплавящимся электродом в защитных газах без присадочной проволоки

Наименование	Марка автомата				
	ОДА-1СИ	ОДА-2СИ	ОДА-3М	ГСМ-38-57	ГСМ-76
Номинальный сварочный ток, А	**100**	*160*	200	200	200
Продолжительность включения, ПВ, %	60	60	60	60	60
Диаметр свариваемых труб, мм	8-25	20-42	38-76	38-57	76
Радиус вращающихся частей, мм	40	*55*	85	90	**100**
Установочная длина, мм	63	90	95	90	100
Марка источника питания	ТИР-300 ДМ1	ТИР-300ДМ1	ТИР-300ДМ1	УДГ-201УХЛ4	УДГ-201УХЛ4
Масса сварочной головки, кг	3,7	5,7	6,0	4,0	4,75
Масса системы управления, кг:					
аппаратного шкафа	25	25	25	12	12
ручного пульта	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6
Габариты сварочной головки, мм:					
длина	146	**100**	395	**235**	235
ширина	*81*	*180*	208	170	194
высота	235	**245**	155	**207**	230
Диаметр вольфрамового электрода, мм	2-3	**2-3**	3	3	3

Таблица П2.13

Техническая характеристика полуавтоматов для дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитных газов

Наименование	Марка полуавтомата														
	ПДГ-305УЗ	ПДГ-307УЗ	ПДГ-308УЗ	ПДГ-312УЗ	ПДГ-502УЗ	ПДГ-503УЗ	ПДГ-515УЗ	ПДГ-516УЗ	ПДГ-601УЗ	ПДГ-508УЗ	А 1197А	А 1230Мj	А-547У	А-825М	А-765УЗ
Номинальный сварочный ток, А	315	315	315	315	500	500	500	500	630	500	630	315	315	315	500
Продолжительность включения, ПВ, %	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Пределы регулирования сварочного тока, А	50—315	50-315	50-**315**	50-315	100—500	100-500	60-500	60-500	100—700	100—500	100-700	50-315	50-315	50-**315**	60-500
Пределы регулировочного рабочего напряжения, В	16—40	16-40	16-40	16-40	18-50	18-50	18-50	18-50	18-66	18-50	18-66	16-40	16-34	16-34	16-40
Диаметр электродной сплошной (порошковой) проволоки, мм	0,8—1,4	0,8-1,4	1,2-1,6	1,0-1,4	1,2-2,0	1,2-2,0	1,2-2,0	1,2-2,0 (2,0-3,0)	1,2-2,5	1,2-2,0	1,2-2,0 (2,0-3,0)	0,8-1,4	0,8-1,4	1,0-1,4	1,6-3,5
Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	120—1200	120—1200	120—1200	120—960	120-1200	120-1200	120—960	120—960	120—1200	105-738	120—960	140-670	160-650	140—650	72-720

Продолжение табл. П2.13

Наименование	Марка полуавтомата														
	ПДГ-305УЗ	Г1ДГ-307УЗ	ПДГ-308УЗ	11ДГ-312УЗ	ПДГ-502УЗ	ПДГ-503УЗ	11Д1-515УЗ	11Д1-516УЗ	1ТДГ-601УЗ	ПДГ-508УЗ	А1197	А12301У	А-547У	А-825М	А-765УЗ
Масса подающего устройства (без кассеты с проволс)-кой), кг	12,5	12,5	12,5	12,0	13,0	13,0	12,0	18,0	27,6	24,0	18,0	12,0	6,2	14,0	30,0
Расход охлаждающей воды, л/ч	—	—	—	—	**100**	100	—	—	100	—	100	—	—	—	—
Расход защитного газа, л/ч	1000	1000	1000	1000	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1000	1000	1000	1200
Марка источника сварочного тока	ВДГ-ЗОЗУЗ	ВДГ-ЗОЗУЗ	ВДГ-ЗОЗУЗ	ВДГ-ЗОЗУЗ	ВДУ-504-1УЗ	ВДУ-504-1УЗ	ВДУ-506УЗ	ВДУ-505УЗ	ВДГ-601УЗ	ВДУ-504-1УЗ	ВДГ-601УЗ	ВДГ-ЗОЗУЗ	ЗООА ВС-	ВСЖ-ЗОЗУЗ	ПСГ-500-1УЗ
Первичная мощность, кВ-i\	21	21	21	21	40	40	40	40	60	40	60	21	16	20	31
Масса источника сварочного тока, кг	220	220	220	220	370	370	300	300	550	370	550	220	180	200	500
КПД источника сварочного тока, %	76	76	76	76	82	82	79	82	82	82	82	76	75	76	64

Таблица П2.14

Техническая характеристика установок для ручной **и полуавтоматической плазменно-дуговой резки**

Наименование	Марка установки													
	ПРП	ПВП	ПВП	Орби ПЛ-1	А-168 Киев	2	А-161 Киев	КДП-	КДП-	ОПР-6-3	ОПР 7-2	ОПР	УПО 201У	УПРП-2С
Номинальный ток резки, А	500	250	200	200	200	300	300	250	250	700	150	300	200	200
Продолжительность включения ПВ, %	60	60	60	60	60	60	60	60	60	G0	60	60	60	60
Напряжение холостого хода, В	180-225	180 — 220	180-220	180	300	300	300	*U*	180	300	**160**	180	280	220
Пределы регулирования тока резки, А	75-500	100 — 250	100-250	100-200	50-200	50-300	50-300	50-250	50-250	100 — 700	20-150	100-300	50-200	100 — 200
Толщина разрезаемого металла, мм	80-120	25-50	20-25	16-40	5-60	5-60	5-60	20-60	20-60	5—**100**	5-20	5-50	5-40	5-50
Плазмообразующий **газ**	Аргон, воздух, азот, водород	Воздух	Воздух	Воздух	Воздух	Воздух	Воздух,	Азот, аргон, азот + воздух	Азот, аргон, водород	Воздух, азот	Аргон, азот	Аргон, азот	Воздух	Воздух
Первичная мощность, кВА	90	105	105	44,5	50	50	60	105	105	220	25	45	60	45
Марка источника питания	ПД-502У2	УПР-201УЗ	УПР-201УЗ	ПЛ1-НУ2	А-1686-У4	А-1686-02У4	А-1612-У4	УПР-201УЗ	УПР-201УЗ	ППР-6-ЗМ	ОПР-7-2	ОПР-7М	УПО-201УХЛ4	УПРП-201 УЗ

Продолжение приложения 2

Таблица П2.14

Наименование	Марка установки													
	ПРП-2	ПВП-1	ПВП-В	Орбита ПЛ-1-НУ2	А-1688-У4 Киев-2	А-1686-02У4 Киев-2М	А-1612-У4 Киев-4	КДП-2	КДП-1	ОПР-6-3М	ОПР-7-2	ОПР-7М	УПО-201УХЛ4	УПРП-201
Габаритные размеры переносной машины, мм:														
длина	445	445	445	670				530	530					
ширина	180	180	180	450				130	130					
высота	254	254	254	270				140	140					
Габаритные размеры источника питания, мм:														
длина	1065	735	735	3000	1000	1000	700	735	735	1800	1100	1600	950	930
ширина	650	640	640	1500	800	800	840	640	640	1720	500	850	690	620
высота	935	1200	1200	1800	1200	1200	1510	1200	1200	855	1300	1230	1170	1110
Масса переносной машины, кг	23	23	23	25	—	—	—	7,5	7,5					
Масса источника питания, кг	1500	400	400	1824	582	582	820	400	400	1200	490	1050	535	500

Продолжение приложения 2

Таблица П2.15

Техническая характеристика ручных резаков для кислородной резки

Наименование	Марка резака										
	Р2А-01	Р3П-01	РПК-2-72	РПА-2 72	Р3Р-2	РК-02	БГ-02	В-1А-02	РВ-2А-02	Т-5	УГ11Р
Горючий газ	Ацетилен	Пропан-бутан, метан	Коксовый газ, метан	Ацетилен	Пропан-бутан	Пары керосина	Пары бензина	Ацетилен	Ацетилен	Пары бензина, керосина	Ацетилен
Расход горючего газа, $м^3/ч$:											
ацетилена	0,4 — 1,25	—	—	1,2	-		—	0,7	1,1	—	1,3
пропан-бутана	—	0,83	—	—	2,5-7	—	—	—	—		
метана	—	1,86	4 - 5								
коксового газа	—	—	4 - 5								
керосина	—	—	—	—	—	0,5-1,5	—	—		0,013	
бензина	—	—	—	—	—	—	0,5-1,5	—		0,013	
Расход кислорода, $м^3/ч$	1,78 — 21,75	33,2	72,0	72,0	43,75-114,5	3-25	3-25	8,5	17,0	180,0	40,0
Давление горючего газа на входе в резак, $кгс/см^2$:											
ацетилена	0,01 — 1	—	—	0,1	—	—	—	0,01	0,01	—	0,3
пропан-бутана	—	0,2-0,5	—	—	0,5	—	—				
метана	—	—	0,2								

Окончание табл. П2.15

	Марка резака										
	Р2А-01	РЗП-01	РПК-2-72	РПА-2^72	РЗР-2	РК-02	БГ-02	В-1А-02	РВ-2А-J02	Т-5	УГ11Р
коксового газа	—	—	0,2	—	—	—	—	—	—	—	—
керосина	—	—	—	—	—	1,5-3	—	—	—	4-5,5	—
бензина	—	—	—	—	—	—	3	—	—	4-5	—
Давление кислорода на входе в резак, МПа, кгс/см^2	7,5	10	6-10	6-10	5-7,5	3,5-7,5	2-30	—	—	4-6	—
Габаритные размеры, мм:											
длина	550	550	1350	135	1000	615	430	290	290	465	500
ширина	60	60	170	170	470	70	295	30	30	54	400
высота	240	240	150	150	195	170	255	145	145	250	1150
Масса, не более, кг	1,17	1,17	2,5	2,5	5,5	1,53	4,0	0,52	0,55	5,6	20,0

Приложение 3

Термины и определения

Аттестованная технология сварки — конкретная технология сварки, которая прошла приемку в данной производственной организации в соответствии с требованиями операционно-технологической карты и технологической инструкции по сварке, что подтверждается актом аттестации.

Аттестованный сварщик — квалифицированный рабочий, аттестованный в установленном порядке и имеющий первый уровень профессиональной подготовки в соответствии с действующими правилами аттестации.

Автоматическая сварка — сварочный процесс, при котором подача сварочной проволоки и перемещение сварочной головки осуществляются автоматически, а оператор устанавливает, наблюдает и корректирует параметры сварки.

Воротник — усиливающая накладка, привариваемая в процессе выполнения прямой врезки.

Горячий проход — слой шва, выполняемый по не успевшему остыть ниже регламентированной температуры металлу корневого слоя шва, как правило, способом "на спуск".

Захлест — соединение двух участков трубопроводов, в месте технологического разрыва.

Зона термического влияния — участок сварного соединения, непосредственно примыкающий к шву по границе сплавления и не подвергшийся расплавлению, структура и свойства которого изменились в результате нагрева при сварке.

Катушка трубы — отрезок трубы, подготавливаемый для вварки в нефтепровод и имеющий торцы, обработанные механическим способом или путем газовой резки с последующей зачисткой.

Металл **шва** — сплав, образованный расплавленным основным и наплавленным металлом.

Наплавленный металл — переплавленный без участия основного металла присадочный металл.

Прямая врезка — специальное сварное соединение, выполняемое в процессе строительства или ремонта нефтепровода и непосредственно соединяющее *основную* трубу и ответвление.

Полуавтоматическая сварка — сварочный процесс, при котором подача присадочной проволоки осуществляется автоматически, а перемещение сварочной горелки по периметру стыка осуществляется вручную.

Ремонт сварного шва — процесс устранения в готовом сварном стыке дефектов, обнаруженных неразрушающими методами контроля после завершения сварки и контроля и признанных контролером исправимыми. Исправления, производимые электросварщиком непосредственно в процессе выполнения сварного шва, в понятие "ремонт сварного шва" не входят.

Стык — неразъемное сварное соединение труб, трубы и соединительной детали или трубы и запорной арматуры.

приемочный стык — сварное соединение, выполняемое при аттестации технологии сварки;

допускной стык — стык, выполняемый при допускныгх испытаниях сварщиков;

контрольный стык — стык, вырезанный из сваренной нитки трубопровода, для проведения испытаний в объеме, предусмотренном действующими нормами.

гарантийный стык — стык, соединяющий участки трубопровода, подвергнутые испытательному давлению. Гарантийный стык не подвергается испытательному давлению и требует большего (в сравнении с захлестом) объема неразрушающего контроля, например, дублирования радиографического контроля ультразвуковым контролем.

Сертификат — документ о качестве конкретных партий труб, деталей трубопроводов и сварочных материалов, удостоверяющий соответствие их качества требованиям технических условий на поставку, а также специальным требованиям, сформулированным при заключении контракта на поставку.

Технологическая инструкция по сварке — документ, содержащий комплекс конкретных операций, марок сварочных материалов, оборудования для сборки и сварки стыков, позволяющий изготовить сварное соединение в соответствии с требованиями нормативной документации и настоящей Инструкции.

Технологическая карта — документ, составленный в лаконичной, простой для пользователя табулированной форме на основе конкретной технологической инструкции по сварке для данного объекта.

Технические условия — основной документ на поставку труб, деталей трубопроводов, арматуры, сварочных материалов, разработанный и согласованный в установленном порядке.

Учебное **пособие**

Мустафин Фаниль Мухаметович
Блехерова Наталия Григорьевна
Квятковский Олег Петрович
Суворов Анатолий Федорович
Васильев Геннадий Германович
Гамбург Илья Шлёмович
Спектор Юрий Иосифович
Коновалов Николай Иванович
Котельников Сергей Анатольевич
Мустафин Фарит Мухаметович
Харисов Рустам Ахматнурович

СВАРКА ТРУБОПРОВОДОВ

Зав. редакцией *И. Н. Гольянова.*
Редактор *Р. М. Манаева.*
Компьютерная верстка *М. В. Чепурпова.*

Техническое редактирование, корректура, верстка,
подготовка оригинал-макета выполнены
в ООО «Издательство научно-технической литературы "Mono
Свид. № 0131 от 25 марта 2002 г.
450075, г. Уфа, пр. Октября, 129/3. Тел.: (3472) 35-77-59

Издательская лицензия № 071678 от 03.06.98 г.
Подписано в печать 17.10.2002.
Формат 60 x 84 '/$_{16}$. Бумага офсетная. Гарнитура «BalticaC».
Усл. печ. л. 20.23. Уч.-изд. л. 20.01. Тираж 3000. Заказ Б-687

ООО «Недра-Бизпесцентр»
125047, Москва, пл. Тверская застава, 3

Издательство ООО «ДизайнПолиграфСервис» —
верстка иллюстраций, подготовка диапозитивов и изготовление тиража.
Лицензия на полиграфическую деятельность Б № 848403 от 29.09.2000 г.
Уфа-центр, а/я 1535, тел.: (3472) 52-70-88.

Лицензия на полиграфическую деятельность
ПД № 01207 от 30.08.2001 г.

Отпечатано с диапозитивов, предоставленных
издательством ООО «ДизайнПолиграфСервис»,
в типографии ГУП ПИК «Идел-Пресс».
420066, г. Казань, ул. Декабристов, 2.

УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ССП ХНИЛ "ТРУБОПРОВОДСЕРВИС"
450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1, тел./факс: (3472) 42-08-14, e-mail: pi pe(5) rusoil.net

ССП ХНИЛ "Трубопроводсервис" УГНТУ согласно федеральному закону "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" является независимой экспертной организацией, имеющей свидетельство об аккредитации лаборатории Госгортехнадзора России № ЭО-00283 от 25.08.2000 г., лицензию Госгортехнадзора России на проведение экспертизы промышленной безопасности объектов нефтяной, газовой и нефтехимической промышленности № 013879 от 06.12.2000 г., аттестованных экспертов второго и третьего уровня и оборудование для проведения всех видов неразрушающего контроля (АЭ,УЗК,МП,ПВК,РК).

В течение 1996 — 2001 г. специалистами ХНИЛ "Трубопроводсервис" выполнялись работы по диагностированию и экспертизе промышленной безопасности газонефтепроводов, резервуаров, сосудов и емкостей, арматуры, насосно-компрессорного оборудования, зданий и сооружений, проектной документации и деклараций для ведущих предприятий: "Урало-сибирские МН", "Газ-сервис", "Баштрансгаз", УНПЗ, "КазТрансОйл", "РИТЭК", НУНПЗ, УНХ, "Башкирнефтепродукт", ООО СП "ВАТОЙЛ", "Уралтранснефтепродукт", "Приволжские МН", "Северные МН", "Верхневолжские МН" и др.

Просим рассмотреть вопрос о привлечении ХНИЛ "Трубопроводсервис" для проведения работ по экспертизе промышленной безопасности и техническому диагностированию оборудования на Вашем предприятии в полном и точном соответствии с требованиями Госгортехнадзора России и правил проведения экспертизы промышленной безопасности ПБ 03-246 — 98. Также мы разрабатываем Декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов и производим экспертизу Деклараций. Наши специалисты имеют большой опыт работ по экспертизе проектов объектов нефтяной и газовой промышленности и газоснабжения.

ХНИЛ "Трубопроводсервис" УГНТУ является структурным подразделением УГНТУ, не облагается налогом на добавленную стоимость, имеет минимальные расходы по аренде, что позволяет поддерживать цены на выполняемые работы на конкурентоспособном уровне.

СМУ-4

ГАРАНТИРОВАННОЕ КАЧЕСТВО, СОБЛЮДЕНИЕ СРОКОВ

Общество с Ограниченной Ответственностью

«СМУ-4»

г. Когалым, ул. Прибалтийская, 27/1, тел./факс: 8 (34667) 2-30-68
г. Уфа, ул. Комсомольская, 18, тел./факс: 8 (3472) 53-89-78
г. Лангепас, ул. Солнечная, 8-32, тел./факс: 8 (34669) 2-34-13

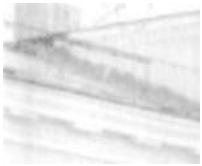
Основная деятельность ООО «СМУ-4» — строительство и реконструкция нефтегазовых объектов в России и за рубежом

ОСНОВНЫЕ ПРОЕКТЫ:

— обустройство месторождений и капитальный ремонт промысловых трубопроводов (Когалым, Лангепас, Белоярск);
— строительство нефтепровода Восточное — Перевальное — Северо-Кочевское месторождение (Когалым);
— строительство нефтепровода Каспийского Трубопроводного Консорциума Тенгиз — Новороссийск (Краснодарский край);
— строительство нефтепровода ДНС Выинтоиского месторождения (Когалым);
— строительство нефтепровода Пермь—Альметьевск —Запад (Республика Башкортостан).

Полное обеспечение работ квалифицированными кадрами, техникой, оборудованием и материалами

МЫ РАБОТАЕМ ПО СЕРТИФИКАТУ СИСТЕМЫ КАЧЕСТВА ISO-9001



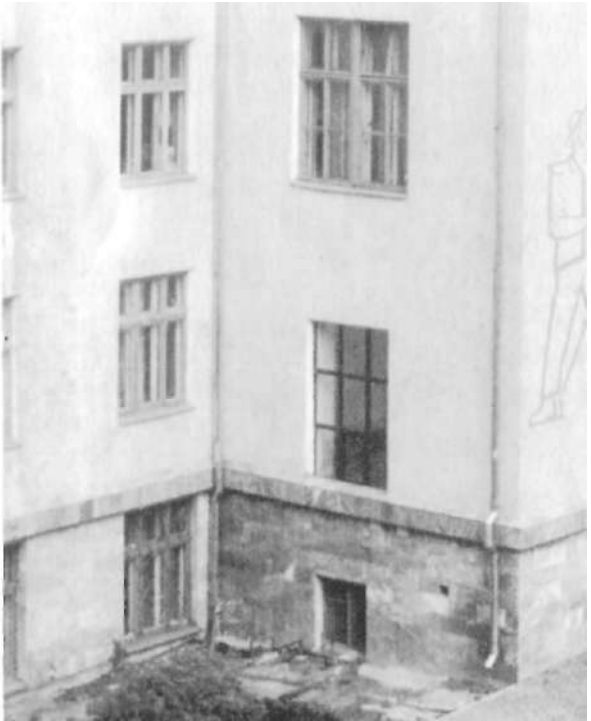
¥*ш

1Щг

Т*?**"

ПТ

rrr



ffW