

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 114 с., 15 рис., 23 табл., 50 источников, 1 прил.

Ключевые слова: сварка, магистральный трубопровод, ремонт, расчет, сварка методом STT, сварка самозащитной порошковой проволокой, технический контроль, финансовый менеджмент, социальная ответственность.

Объектом исследования является магистральный трубопровод.

Цель работы – сравнительный анализ применения технологий механизированных способов сварки при капитальном ремонте магистральных трубопроводов, определение наиболее перспективного способа с технологической и экономической точки зрения.

В процессе исследования проводились расчеты свариваемости стали и необходимой температуры подогрева, расчеты режимов сварки. Проведено обоснование выбора сварочных материалов и сварочного оборудования. Рассмотрены вопросы разработки технологии изготовления сварной конструкции. Рассмотрены типы переноса электродного металла. Приведены мероприятия по охране труда и безопасности строительства, охране окружающей среды, технико-экономическая часть.

В результате исследования был произведен анализ сварки неповоротного стыка механизированным способом в среде углекислого газа методом STT и самозащитной порошковой проволокой. На основании полученных результатов было выявлено, что применение данного способа имеет ряд преимуществ, одним из которых качественно выполненный корневой шов.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: технология и организация выполнения работ, подготовительные работы, монтаж трубопровода, сварочно-монтажные работы стального трубопровода.

Степень внедрения: механизированная сварка – перспективное направление сварочного производства. Производительность процесса сварки может быть повышена в 1,5 – 2 раза по сравнению с традиционной ручной дуговой сваркой покрытыми электродами.

Область применения: механизированная сварка проволокой сплошного сечения в среде углекислого газа методом STT предназначена для односторонней сварки корневого слоя шва неповоротных стыков труб различных диаметров, а также для сварки всех слоев стыка шва. Способ может быть использован для выполнения специальных сварочных работ – сварка разнотолщинных соединений труб, стыков захлестов, соединений труб с СДТ и ЗРА. Сварка самозащитной порошковой проволокой не требует наличие баллонов с защитным газом, особенно это актуально в труднодоступных и северных районах.

Экономическая эффективность/значимость работы при капитальном ремонте магистрального трубопровода с применением механизированных способов сварки значительно сокращается время выполнения работ. Общие затраты на СМР, при использовании данного способа, почти в 2 раза меньше, чем если бы работы проводились с применением ручной дуговой сварки.

В будущем планируется изучение других современных способов сварки и их возможное применение в нефтегазовой отрасли.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 ОБЩАЯ ЧАСТЬ.....	9
1.1 Описание сварной конструкции.....	9
1.2 Материал сварной конструкции.....	13
1.3 Технологическая свариваемость металла сварной конструкции.....	15
1.4 Виды капитального ремонта магистральных трубопроводов.....	20
2 СВАРКА В ЗАЩИТНОМ ГАЗЕ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ.....	22
2.1 Характеристика сварки в защитном газе плавящимся электродом.....	24
2.2 Обоснование выбора сварочных материалов.....	25
2.3 Типы переноса металла при сварке в защитных газах.....	26
2.4 Импульсный перенос электродного металла.....	30
2.5 Влияние полярности тока на процесс сварки в защитных газах.....	32
2.6 Достоинства и недостатки.....	33
3 СВАРКА ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ.....	34
3.1 Функции флюса сердечника порошковой проволоки.....	35
3.2 Обоснование выбора сварочных материалов.....	36
3.3 Достоинства и недостатки.....	39
4 РАСЧЕТ РЕЖИМОВ СВАРКИ.....	41
4.1 Расчёт режимов сварки в углекислом газе.....	42
4.2 Режимы сварки самозащитной порошковой проволокой Innershield.....	47
4.3 Выбора источников питания.....	47
5 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНОЙ КОНСТРУКЦИИ.....	56
5.1 Заготовительные операции.....	56
5.2 Разработка технологии сборки и сварки.....	56
5.3 Оборудование и техника механизированной сварки.....	61
5.4 Сварочные напряжения и деформации, меры борьбы с ними.....	65
5.5 Технический контроль качества и исправление брака.....	67

6 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	71
6.1 Расход сварочных материалов.....	71
6.2 Расчет затрат на материалы.....	73
6.3 Расчет времени на проведение мероприятия.....	73
6.4 Расчет затрат на оплату труда.....	75
6.5 Затраты на страховые взносы.....	76
6.6 Затраты на амортизационные отчисления и прочие расходы.....	77
7 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ ТРУБОПРОВОДОВ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ.....	79
7.1 Профессиональная социальная безопасность.....	80
7.1.1 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению.....	81
7.1.2 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению.....	84
7.2 Экологическая безопасность.....	89
7.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	92
7.4 Законодательное регулирование проектных решений.....	94
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	97
Список публикаций студента.....	98
Список использованных источников.....	99
Приложение А.....	102

## **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время в нашей стране разрабатывается и реализуется много крупных проектов по строительству и ремонту магистральных и промышленных трубопроводов.

При капитальном ремонте магистральных трубопроводов используются различные способы сварки.

Актуальными задачами при сварке являются:

- снижение объема наплавляемого металла;
- грамотная разработка технологической оснастки и подготовка под сварку;
- внедрение эффективной структуры способа сварки и парка сварочного оборудования.

Основной задачей всех видов сварки является качественное выполнение сварки неповоротных стыков труб. Главная проблема сварки неповоротных стыков труб заключается в том, что при сварке постоянно изменяется пространственное положение сварочной ванны. На сварочную ванну в каждом пространственном положении действует различный комплекс сил. Это осложняет задачу формирования корневого и последующих слоев шва в связи с возникновением прожогов, наплывов и других дефектов сварного соединения.

Для ускорения процесса сварки неповоротных стыков труб и получения качественно выполненного сварного соединения широкое применение получили механизированные способы сварки.

Цель работы: определение наиболее перспективного способа механизированной сварки с технологической и экономической точки зрения.

Задачи:

- рассмотреть возможность применения механизированных способов сварки в труднодоступных районах;
  - рассмотреть типы переноса электродного металла при механизированных способах сварки;
  - оценить влияние типа переноса на качество сварного шва;
- провести сравнение механизированных способов сварки с традиционной ручной дуговой сваркой

# 1 ОБЩАЯ ЧАСТЬ

## 1.1 Описание сварной конструкции

Трубопроводы подразделяются на промышленные, магистральные и технологические. По магистральным трубопроводам транспортируются весь добываемый природный газ и почти вся нефть, а также большая часть продуктов нефтепереработки от мест переработки к местам потребления. По промышленным трубопроводам транспортируется продукт от места добычи к месту переработки.

По назначению нефтепроводы можно разделить на следующие три группы:

- промышленные — трубопроводы, которые соединяют скважины с различными технологическими объектами и установками подготовки нефти на местах добычи;

- магистральные — трубопроводы, служащие для транспорта товарной нефти из районов добычи, производства или хранения к потребителям. Магистральный нефтепровод обладает высокой пропускной способностью, большой протяженностью, большим диаметром от 219 до 1400 мм и высоким давлением от 1,2 до 10 МПа;

- технологические — трубопроводы, которые предназначены для транспорта разных технологических жидкостей, обеспечивающих работу технологического оборудования, в пределах предприятия.

Магистральным нефтепроводом принято называть инженерно-техническое сооружение, состоящее из подземных, подводных, наземных и надземных трубопроводов и связанных с ними НПС, хранилищ нефти и других технологических объектов, обеспечивающих транспортировку, приемку, сдачу нефти потребителям или перевалку нефти на другой вид транспорта.

В состав магистральных нефтепроводов входят линейные сооружения, головные и промежуточные нефтеперекачивающие станции, пункты налива нефти и резервуарные парки [28]. Линейные сооружения согласно СНиП 2.05.06 – 85 включают в себя, собственно, сам магистральный нефтепровод, который имеет ответвления и лупинги, запорную арматуру, переходы через естественные и искусственные препятствия, узлы подключения НПС, узлы пуска и приема очистных устройств, установки ЭХЗ, линии и объекты для технологической связи, средства телемеханики, ЛЭП для обеспечения электроснабжения объектов трубопровода, средства для защиты от пожаров, противозерозионные сооружения для защиты трубопровода от размывов и оползней, земляные амбары для аварийного сброса нефти, здания и сооружения линейной аварийно-эксплуатационной службы, вдольтрассовые дороги, вертолетные площадки, подъездные пути, опознавательные и предупреждающие знаки, пункты подогрева нефти.

Подземная схема прокладки является наиболее распространенной (около 98% общего объема сооружаемой линейной части). При этой схеме отметка верхней образующей трубы располагается ниже отметки дневной поверхности грунта. Глубина заложения трубопроводов (от верха трубы) зависит от диаметра, от особых геологических условий, например, для поддержания определенной температуры нефти, рельефа и характеристики грунтов местности и должна быть не менее (в м): 0,8 при  $D_y < 1000$  мм; 1,0 при  $D_y \geq 1000$  мм.

Магистральные нефтепроводы в зависимости от диаметра делят на четыре класса: I класс – с Ду 1000-1220 мм, II класс – с Ду 500-1000 мм, III класс – Ду 300-500мм, IV класс Ду < 300 мм. Толщина стенок труб определяется проектным давлением в трубопроводе. Трубопровод, прокладываемый по районам с вечномерзлыми грунтами или через болота, можно укладывать на опоры или в искусственные насыпи [28].

При пересечении нефтепроводом крупных рек, закрепление его на дне реки осуществляется с помощью специальных железобетонных грузов – утяжелителей или специальным анкерами, либо прокладка осуществляется

ниже уровня дна реки. Для обеспечения безопасности, помимо основной нитки, сооружается резервная нитка через переход аналогичного диаметра. На пересечениях железных и крупных шоссейных дорог трубопровод проходит в патроне из труб, диаметр которых на 100 - 200 мм больше диаметра трубопровода.

Запорная арматура на линейной части устанавливается с интервалом 10 - 30 км в зависимости от рельефа трассы для обеспечения перекрытия участков в случае возникновения аварии или проведения ремонта.

Вдоль трассы проходят линии связи, имеющие диспетчерское назначение. Они могут использоваться для передачи сигналов телеметрии, для контроля за процессом перекачки. Станции катодной и дренажной защиты, протекторы, расположенные по длине трассы, являются дополнением к изоляционному покрытию для обеспечения защиты от коррозии.

Промежуточные НПС сооружают с целью обеспечения дальнейшего процесса перекачки, так как часть энергии потока нефти тратится на преодоление сил трения. Их размещают по трассе через каждые 50 – 200 км, в соответствии с гидравлическим расчетом. Перекачивающие станции оборудуются, в основном, центробежными насосами с приводами от электродвигателей. Подача современных магистральных насосов может достигать до 12500 м<sup>3</sup>/ч. В начале нефтепровода располагается головная нефтеперекачивающая станция (ГНПС), она находится недалеко от нефтяного промысла. Основным отличием ГНПС от промежуточных НПС является то, что она имеет резервуарный парк, объем которого равен трехсуточной пропускной способности нефтепровода. Помимо основных сооружений, на насосных станциях имеются комплексы вспомогательных объектов, к ним относятся трансформаторы, котельные, системы водоснабжения, канализации и другие.

Нефтепроводы большой протяженности разбивают на эксплуатационные участки для обеспечения независимой работы насосного оборудования на этих участках. Протяженность участков может составлять от 100 км до 300 км.



Конечным пунктом нефтепровода может быть нефтеперерабатывающий завод, перевалочная база для перевалки на другой вид транспорта, морской нефтеналивной терминал для отгрузки нефти в танкеры и экспорта ее за границу.

Для сооружения и капитального ремонта линейной части магистральных нефтепроводов могут быть использованы сварные прямошовные и спирально-шовные трубы, изготовленные из низкоуглеродистых или низколегированных сталей [25].

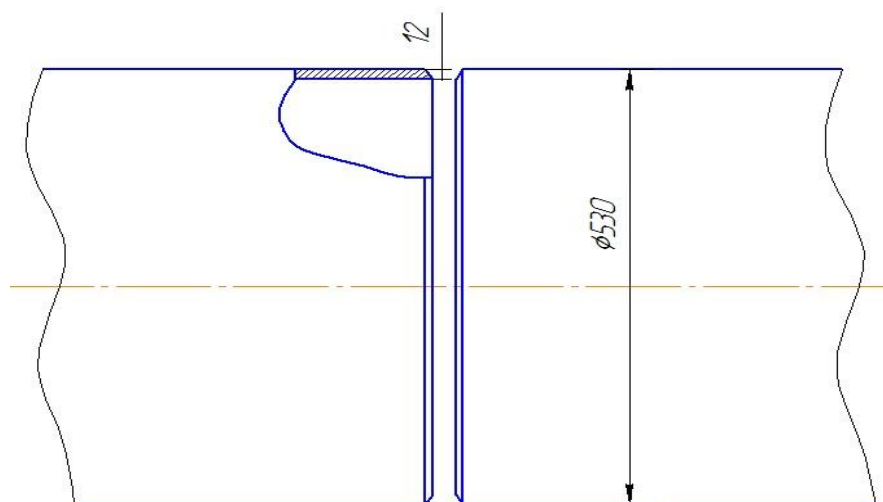
Трубы поставляются в соответствии с государственными стандартами или по техническим условиям, которые утверждают в установленном порядке. Данный порядок определен в инструкции по применению стальных труб в газовой и нефтяной промышленности (Р 51-31323949-58-2000). Современные трубы в России в основном производят на Волжском трубном заводе и Челябинском трубопрокатном заводе. Каждая труба или партия труб должна иметь сертификат завода. В этом сертификате указываются регламентирующие стандарты или технические условия приемо-сдаточных характеристик.

Овальность концов труб (отношение разности между наибольшим и наименьшим диаметром к номинальному диаметру) не должна превышать 1 % от номинального диаметра для труб с толщиной стенки менее 20 мм [25].

Допускается кривизна труб до 1,5 мм на любом ее участке длиной до одного метра. Суммарная кривизна трубы должна быть не выше 0,2 % от длины всей трубы. Концы труб обрезаются под прямым углом. Отклонение от перпендикулярности среза должно быть в пределах 1,6 мм.

В металле труб не допускаются трещины, плены, рванины и закаты, а также расслоения, превышающие пределы, которые установлены нормативными документами на их поставку. Не допускается расслоения, выходящие на торцы труб.

Трубы, сваренные в непрерывную нитку, являются основным элементом магистрального нефтепровода. Сварная конструкция представляет собой две трубы, сваренных между собой как представлено на рисунке 1.



*Рисунок 1 – Схема стыка магистрального трубопровода*

## **1.2 Материал сварной конструкции**

Для изготовления труб работающих при различных температурах используется низколегированная конструкционная сталь 14ХГС. Сталь 14ХГС обладает гарантированными механическими характеристиками и химическим составом, высокой сопротивляемостью хрупкому разрушению при низких температурах и повышенной коррозионной стойкости. Применение: электросварные трубы магистральных трубопроводов высокого давления; сварные конструкции, листовые, клапанные конструктивные детали.

Легированными называются стали, содержащие специально введенные элементы. Марганец – легирующий компонент при его содержании в стали более 0,7 % по нижнему пределу, а кремний более 0,4 %. Углеродистые стали с повышенным содержанием марганца относят низколегированным конструкционным сталям. Легирующие элементы, которые вводят в сталь, изменяют ее свойства, вступая во взаимодействие с железом и углеродом., что приводит к повышению механических свойств стали.

Сталь 14ХГС низколегированная конструкционная хромкремнемарганцового типа. Микроструктура феррито-перлитная. Наличие марганца в стали 14ХГС повышает ударную вязкость, способствует уменьшению содержания кислорода в стали, обеспечивая удовлетворительную свариваемость. Кремний вводится как раскислитель и упрочняющий элемент.

Хром вводится для повышенной коррозионной стойкости. По сравнению с другими низколегированными сталями из данной стали получают сварные соединения с более высокой прочностью при переменных и ударных нагрузках.

При производстве сварных конструкций широко используют конструкционные стали, с низким содержанием углерода и легирующих элементов. Общее содержание легирующих элементов в таких сталях обычно не превышает 4,0 %, а углерода 0,25 %. Химический состав стали 14ХГС, приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав стали 14ХГС, % по ГОСТ 19281-89 [18]

C, %	Si, %	Mn, %	Ni, %	Cr, %	Cu, %	S, %	P, %
0,11-0,16	0,4-0,7	0,9-1,3	до 0,3	0,5-0,8	до 0,3	до 0,04	до 0,035

Качество и свойства материалов должны удовлетворять требованиям соответствующих стандартов и технических условий и подтверждаться сертификатами поставщиков. При отсутствии или неполноте сертификата или маркировки изготовитель труб должен провести все необходимые испытания с оформлением их результатов протоколом, дополняющим или заменяющим сертификат поставщика материала. В сертификате должен быть указан режим термообработки полуфабриката на предприятии-изготовителе.

Механические характеристики стали, приведены в таблице 2, где:

- $\sigma_T$  – предел текучести;
- $\sigma_B$  – временное сопротивление разрыву;
- $\delta_5$  – относительное удлинение при разрыве;
- КСУ – ударная вязкость.

Таблица 2 – Механические свойства стали 14ХГС при температуре 20 °С [18]

$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа для толщин до 20 мм	$\delta_5$ , % для толщин до 20 мм	КСУ, кДж/м <sup>2</sup>
490	345	22	340-390

Данная сталь содержит пониженное количество серы и фосфора, применяется при изготовлении сварных конструкций в большом объеме в состоянии поставки, после термической обработки (нормализации). Ведутся работы по термическому упрочнению этих сталей (закалка с отпуском).

### **1.3 Технологическая свариваемость металла сварной конструкции**

Свариваемость - свойство металла или сочетания металлов образовывать при установленной технологии сварки соединения, отвечающие требованиям, обусловленным конструкцией или эксплуатацией изделия.

Свариваемость металла зависит от его химических и физических свойств, кристаллической решетки, степени легирования, наличия примесей и других факторов.

Свариваемость стали 14ХГС:

- без ограничений - сварка производится без подогрева и без последующей термообработки;
- ограниченно свариваемая - сварка возможна при подогреве до 100-120 °С и последующей термообработке;
- трудносвариваемая - для получения качественных сварных соединений требуются дополнительные операции: подогрев до 200-300 °С при сварке, термообработка после сварки – отжиг.

Большое влияние на свариваемость металлов и сплавов оказывает их химический состав. Свариваемость углеродистой стали изменяется в зависимости от содержания основных примесей. Углерод является, наиболее важным элементом в составе стали, определяющим почти все основные свойства стали в процессе обработки, в том числе и свариваемость. С увеличением содержания углерода в стали свариваемость ухудшается. В околошовных зонах появляются закалочные структуры и трещины, а шов получается пористым. Поэтому для получения качественного сварного соединения возникает необходимость применять различные технологические

приемы. На рисунке 2 представлен термический цикл сварного соединения низкоуглеродистой стали при сварке.

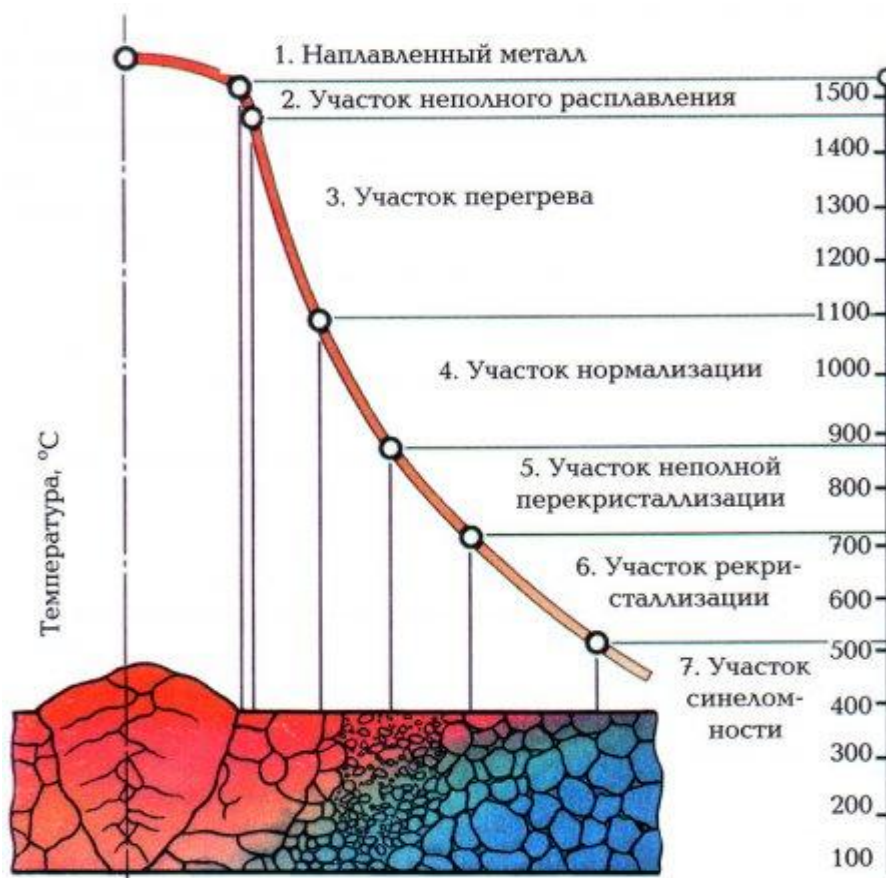


Рисунок 2 – Термический цикл сварного соединения низкоуглеродистой стали при сварке

Каждый металл состоит из мельчайших зерен. Эти зерна можно видеть на изломе. Структурой металла называют совокупность всех зерен в нем. В металле различают макро- и микроструктуру. Макроструктуру можно рассмотреть невооруженным глазом и при увеличении. Микроструктура – структура металла, которая изучается при увеличении в 60 – 100 раз.

На участке 1 металл находился в расплавленном состоянии, затвердев, образовал сварной шов, который имеет литую структуру из столбчатых кристаллов. Данная структура металла шва является грубой, что неблагоприятно сказывается на шве, так как происходит снижение прочности и пластичности металла. Зона термического влияния состоит нескольких структурных участков, которые различаются формой и строением зерна, эти

различия вызваны разной температурой нагрева в пределах около 1530 °С. Ширина участка 1 составляет примерно половину ширины шва.

Участок неполного расплавления 2 — участок, на котором происходит переход от наплавляемого металла к основному. Здесь образуется соединение и в этом месте проходит граница сплавления, которая представляет собой очень узкую область (0,1—0,4 мм) основного металла, где происходит нагревание до частичного оплавления зерен. В этом месте происходит значительный рост зерен, скапливаются примеси, поэтому из-за этого данный участок является наиболее слабым местом сварного соединения. Прочность и пластичность здесь понижены, по сравнению с основным металлом. Температура участка составляет 1530- 1470 °С.

Участок перегрева 3 — область основного металла, который нагревается до температуры 1470 — 1100 °С, из-за этого металл имеет крупнозернистую структуру и пониженные механические свойства. (пластичность и ударную вязкость). Чем шире зона перегрева и чем крупнее зерно, тем ниже эти свойства. Ширина участка 3 составляет 3 — 4 мм.

Участок нормализации 4 — область, в которой металл нагревается от 880 до 1100 °С. Процесс перекристаллизации металла на этом участке происходит без перегрева в результате чего из-за нагрева и охлаждения образуется мелкозернистая структура, по причине этого металл данного участка обладает высокими механическими свойствами. Ширина участка 4 составляет 0,2 — 0,4 мм.

Участок неполной перекристаллизации 5 — металла в этой зоне при сварке нагревается до температур 720 — 880 °С. Неполная перекристаллизация по причине, вызванной недостаточным временем и температурой нагрева. Структуру этого участка можно охарактеризовать как смесь мелких зерен, которые успели перекристаллизироваться, и крупных зерен, которые не успели пройти процесс перекристаллизации. По сравнению с предыдущим участком, металл данного участка имеет более низкие механические свойства. Ширина его составляет 0,1—3 мм.

Участок рекристаллизации 6 — металл в этой области нагревается до температур в диапазоне от 510 до 720 °С. Если перед процессом сварки сталь была подвержена прокатке, ковке, штамповке, т.е. испытала холодную деформацию, то в этой зоне происходит рекристаллизация, в результате чего происходит рост зерна металла, структура становится более грубой, как следствие, все это ведет к разупрочнению. Ширина участка 6 составляет 0,1 — 1,5 мм.

Участок 7, в этой области нагрев идет до температур 200 — 510 °С. Этот участок является переходным от зоны термического влияния к основному металлу. В этой зоне возможно выпадение карбидов железа и нитридов из-за процессов старения, которые могут протекать в этой зоне. По этой причине механические свойства металла для данной зоны понижаются.

Сварное соединение должно быть достаточно прочным для обеспечения надежности конструкции, поэтому технология сварки должна обеспечивать максимальную производительность и экономичность процесса сварки.

Для получения нормальной работоспособности сварных соединений свариваемость необходимо оценивать исходя из следующих положений:

- получение сварного бездефектного соединения, а особенно без холодных и горячих трещин;
- получение микроструктуры, прочности и вязкости сварного соединения, обеспечивающих надежность в эксплуатации в заданных температурных условиях;
- необходимость принятия специальных технологических мер при сварке (подогрев, регулирование погонной энергии и др.);
- необходимость проведения термообработки.

Примерным показателем свариваемости стали для известного химического состава является эквивалентное содержание углерода. В зависимости от эквивалентного содержания углерода стали по свариваемости делят на четыре группы: хорошо, удовлетворительно, ограниченно и плохо сваривающиеся стали.

Воспользуемся методикой определения полного эквивалента углерода для нахождения необходимого подогрева [5]:

$$\Sigma C_3 = C_3 + C_p, \quad (1)$$

где  $C_3$ - химический эквивалент углерода,

$C_p$ - размерный эквивалент углерода.

Эквивалентное содержание углерода, определяется по формуле (2):

$$C_3 = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2}, \quad (2)$$

где  $C, Mn, Cr, Ni, Cu, P$  – процентное содержание легирующих элементов в металле шва.

$$C_3 = 0,16 + \frac{1,3}{6} + \frac{0,8}{5} + \frac{0,3}{15} + \frac{0,3}{13} + \frac{0,035}{2} = 0,6.$$

Определим размерный эквивалент углерода:

$$C_p = 0,005 \cdot \delta \cdot C_3, \quad (3)$$

где  $\delta$  – толщина свариваемой стали, мм.

$$C_p = 0,005 \cdot 12 \cdot 0,6 = 0,036.$$

Находим полный эквивалент углерода:

$$\Sigma C_3 = 0,6 + 0,036 = 0,636.$$

Полный эквивалент углерода  $C_3 > 0,45$ , следовательно, данная сталь относится к IV группе свариваемости, значит, сварка должна проводиться с предварительным или сопутствующим подогревом и термообработкой по окончании сварки.

Необходимая для подогрева температура определяется следующим образом:

$$T_n = 350 \cdot \sqrt{\Sigma C_3 - 0,25} = 350 \cdot \sqrt{0,636 - 0,25} = 217^\circ\text{C}. \quad (4)$$



Стали с содержанием до 0,2% С имеют высокую критическую скорость охлаждения при закалке, поэтому после сварки в наплавленном металле и зоне термического влияния не образуются структуры подкалки. Низкоуглеродистые низколегированные стали свариваются практически любыми способами сварки.

#### **1.4 Виды капитального ремонта магистральных трубопроводов**

Капитальный ремонт магистрального трубопровода - это комплекс технических мероприятий, направленных на полное или частичное восстановление линейной части эксплуатируемого нефтепровода до проектных характеристик с учётом требований действующих нормативных документов.

Капитальный ремонт линейной части магистральных трубопроводов подразделяется на следующие виды:

- с заменой труб;
- с заменой изоляционного покрытия;
- выборочный ремонт.

Капитальный ремонт магистральных трубопроводов с заменой труб проводится следующими способами:

- укладкой вновь прокладываемого участка трубопровода в общую с заменяемым участком траншею, с последующим демонтажом последнего;
- укладкой вновь прокладываемого участка трубопровода в отдельную траншею в пределах существующего технического коридора коммуникаций, с последующим демонтажом заменяемого участка;
- демонтажом заменяемого участка трубопровода и укладкой вновь прокладываемого участка по проектным отметкам демонтированного участка.

Капитальный ремонт с заменой изоляционного покрытия проводится следующими способами:

- с подъемом трубопровода в траншею;
- с подъемом и укладкой трубопровода на лежки в траншею;
- без подъема трубопровода с сохранением его положения.

Выборочный ремонт включает:

- ремонт участка трубопровода с устранением дефектов стенки трубы или с установкой муфты;
- ремонт участка трубопровода с заменой «катушки», трубы, узла линейной арматуры.

## 2 СВАРКА В ЗАЩИТНОМ ГАЗЕ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

Механизированная сварка проволокой сплошного сечения в защитном газе – вид электрической дуговой сварки, при котором подача электродной проволоки осуществляется с постоянной скоростью и автоматически, а горелка перемещается вдоль шва рукой сварщика. От воздействия окружающей среды электрическая дуга, сварочная ванна и ее кристаллизующая часть защищены газом, который подается в зону сварки.

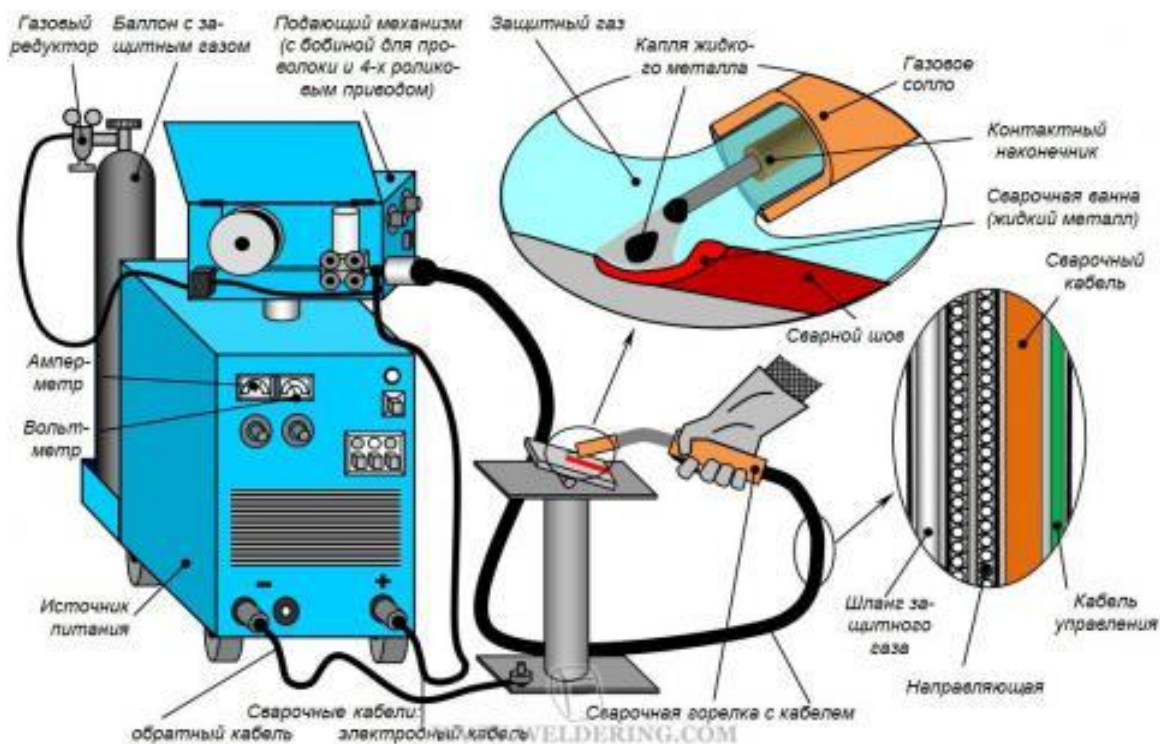


Рисунок 3 – Оборудование для сварки в защитном газе

Главные компоненты механизированного процесса сварки:

- сварочный аппарат (источник питания);
- механизм подачи проволоки;
- баллон с защитным газом.

Электрическая дуга расплавляет электродную проволоку и кромки изделия, образуется сварочная ванна, в которой происходит перемешивание основного металла и металла электродной проволоки. По мере перемещения электрической дуги жидкий металл сварочной ванны кристаллизуется и происходит образование сварного шва, который соединяет кромки изделия. Механизированная сварка в защитных газах производится на постоянном токе обратной полярности.

В качестве источника питания используют сварочные аппараты, имеющие жесткую или пологопадающую вольт-амперную характеристику. Жесткая характеристика способствует автоматическому восстановлению заданной длины дуги в случае ее нарушения, например, из-за колебаний руки сварщика.

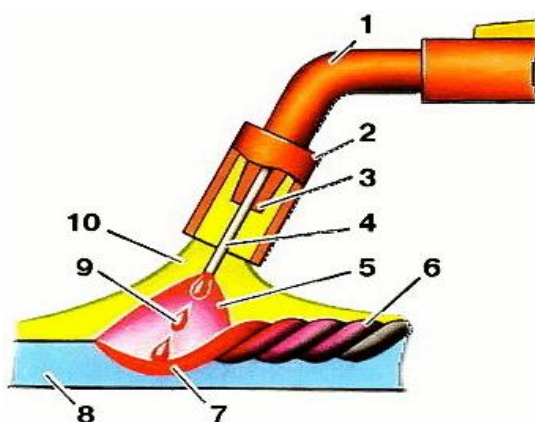
Для сварки в защитных газах имеется широкий диапазон выбора электродной проволоки, которая отличается по диаметру и химическому составу. Химический состав электродной проволоки зависит от химического состава свариваемой стали и частично от типа защитного газа. Химический состав проволоки должен быть близок к химическому составу основного металла. Диаметр проволоки зависит от толщины свариваемого металла, положения, в котором производится сварка, и типа сварного соединения.

Защитный газ предотвращается прямой контакт окружающей среды с расплавленным металлом сварочной ванны и электрической дугой. Защитный газ оказывает влияние на стабильное горение электрической дуги, геометрическую форму сварного шва, глубину проплавления основного металла, прочность сварного шва.

## 2.1 Характеристика сварки в защитном газе плавящимся электродом

Широкое распространение в промышленности получила сварка в защитных газах. Этот способ позволяет вручную, полуавтоматически или автоматически в различных пространственных положениях соединять разнообразные металлы и сплавы самой различной толщины.

В зону дуги в процессе сварки, через сопло, непрерывно подается защитный газ и сварочная проволока. Теплотой дуги расплавляется электродная проволока и основной металл. Расплавленный металл в сварочной ванне при охлаждении кристаллизуется и образует шов.



*Рисунок 4 – Схема механизированной сварки в защитном газе плавящимся электродом*

*1 – горелка; 2 – сопло; 3 – токопроводящий наконечник; 4 – электродная проволока; 5 – сварочная дуга; 6 – сварочный шов; 7 – сварочная ванна; 8 – основной металл; 9 – капли электродного металла; 10 – газовая защита.*

В качестве защитных газов применяют инертные газы (аргон и гелий) и активные газы (углекислый газ, водород, кислород, и азот) газы, а также смеси газов в различных пропорциях.

Благодаря широкому диапазону применяемых защитных газов, которые имеют различные теплофизические свойства, технологические возможности этого способа, как в отношении свариваемых металлов, так и их толщин больше, чем при использовании других способов. Причиной этого является то, что теплофизические свойства защитных газов оказывают большое влияние на технологические свойства дуги и форму швов.

Преимущества сварки в защитных газах по сравнению с другими видами сварки следующие:

- высокая производительность;
- высокая проплавливающая способность;
- значительный спектр свариваемых материалов;
- сварка во всех пространственных положениях;
- отсутствие на поверхности ванны шлака;
- легкая техника сварки.

К недостаткам способа относятся:

- более сложное сварочное оборудование;
- невозможность использования данного метода в условиях монтажа из-за сквозняка, ветра, дождя;
- при определенных режимах сварки возникают сложности с удалением брызг расплавленного металла.

## **2.2 Обоснование выбора сварочных материалов**

При сварке сталей с низким содержанием углерода и легирующих элементов для защиты зоны горения дуги и металла сварочной ванны широко используется углекислый газ из-за его дешевизны. Также допускается использование смеси углекислого газа с кислородом ( до 30% ) и аргоном ( до 50% ). Кислород увеличивает окисляющее действие на сварочную ванну, это позволяет уменьшить содержание легирующих элементов в металле шва. Использование кислорода позволяет снизить разбрызгивание металла при сварке, повысить текучесть металла, связывая водород, уменьшить вероятность образования пор.

Добавки в углекислый газ аргона изменяют технологические свойства дуги (глубину проплавления и форму шва, стабильность дуги и др.) и позволяют регулировать концентрацию легирующих элементов в металле шва.

В основном используется полуавтоматическая сварка в углекислом газе. Технология сварки в CO<sub>2</sub> аналогична технологии сварки низкоуглеродистых сталей. Применяются такие же сварочные материалы, что и для сварки сталей с низким содержанием углерода. Стали 15ХСНД, 14ХГС и 10ХСНД сваривают сварочной проволокой Св-08Г2С. Химический состав проволоки представлен в таблице 4.

Следует отметить, что сварку низколегированных сталей рекомендуется проводить в среде углекислого газа, плотностью тока более 200-250 А/мм<sup>2</sup> на постоянном токе обратной полярности. Углекислый газ по ГОСТ 8050-85 и чистотой не менее 99,5%. В качестве защитного газа принимаем – углекислоту.

Таблица 3 – Химический состав наплавленного металла и предел прочности металла шва [3]

Марка проволоки, мм	Хим. состав наплавленного металла						σ <sub>в</sub> , Н/мм <sup>2</sup>
	С, %	Мn, %	Si, %	S, %	P, %	Cu, %	
Св-08Г2С	0,06	1,8	0,88	0,012	0,01	<0,25	550
Св-12ГС	<0,14	0,8-1,1	0,6-0,9	<0,025	<0,03	<0,25	550
Св-08	<0,1	0,3-0,6	<0,03	0,04	0,04	<0,25	540

Таблица 4 – Химический состав проволоки Св-08Г2С [3, с 46]

Массовая доля химических элементов, в пределах или не более %										
С	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	S	P	Mo	As	N
0,05-0,11	1,8-2,1	0,7-0,95	0,2	0,25	0,2	0,01	0,015	0,15	0,08	0,008

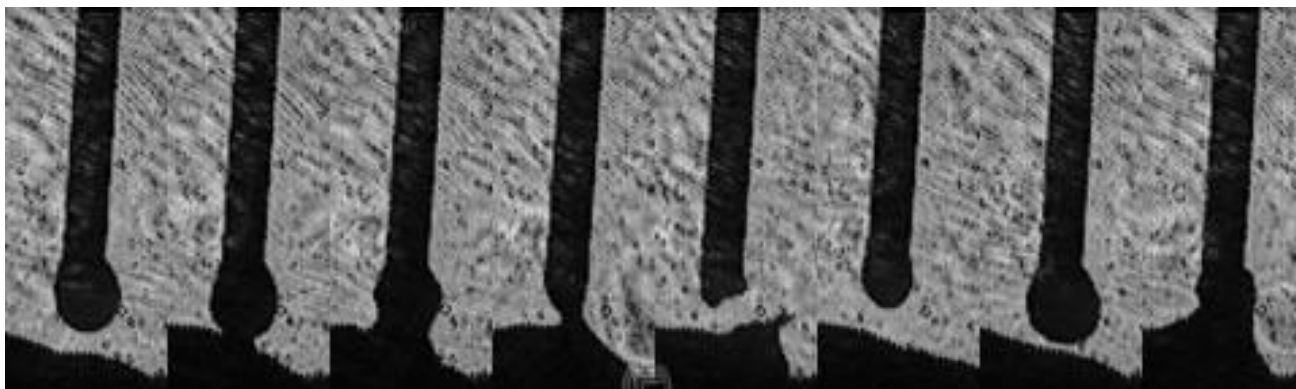
### 2.3 Типы переноса металла при сварке в защитных газах

Процесс сварки в среде защитных газов, будучи процессом, при котором используется плавящийся электрод, характеризуется переносом электродного металла через дугу в сварочную ванну. Перенос металла осуществляется посредством капель расплавленного электродного металла формирующихся на торце электродной проволоки. Их размер и частота перехода в сварочную ванну зависят от материала и диаметра электродной проволоки, типа защитного газа, полярности и значения тока сварки, напряжения дуги и других факторов.

Характер переноса электродного металла определяет, в частности, стабильность процесса сварки, уровень разбрызгивания, геометрические параметры, внешний вид и качество сварного шва.

При сварке в защитных газах процесс переноса электродного металла осуществляется двумя формами.

Первая форма – перенос с короткими замыканиями. При этом типе переноса капля электродного металла касается сварочной ванны, еще не оторвавшись от конца электрода. Дуга гаснет, происходит короткое замыкание, капля электродного металла втягивается в сварочную ванну. Перенос с электродного металла с короткими замыканиями происходит при низком напряжении дуги, это гарантирует, что касание капли сварочной ванны произойдет еще до её отделения от электрода.



*Рисунок 5 – Перенос металла с короткими замыканиями[48]*

Благодаря низким режимам сварки, а также тому факту, что в течение части времени дуга не горит, тепловложение в основной металл при сварке с короткими замыканиями ограничено. Эта особенность процесса сварки с короткими замыканиями делает его наиболее подходящим для сварки ступ с небольшой толщиной стенки. Сварочная ванна малых размеров и короткая дуга, ограничивающая чрезмерный рост капель, обеспечивают лёгкое управление процессом и позволяют осуществлять сварку во всех пространственных положениях, включая потолочное и вертикальное, как показано на рисунке 6.



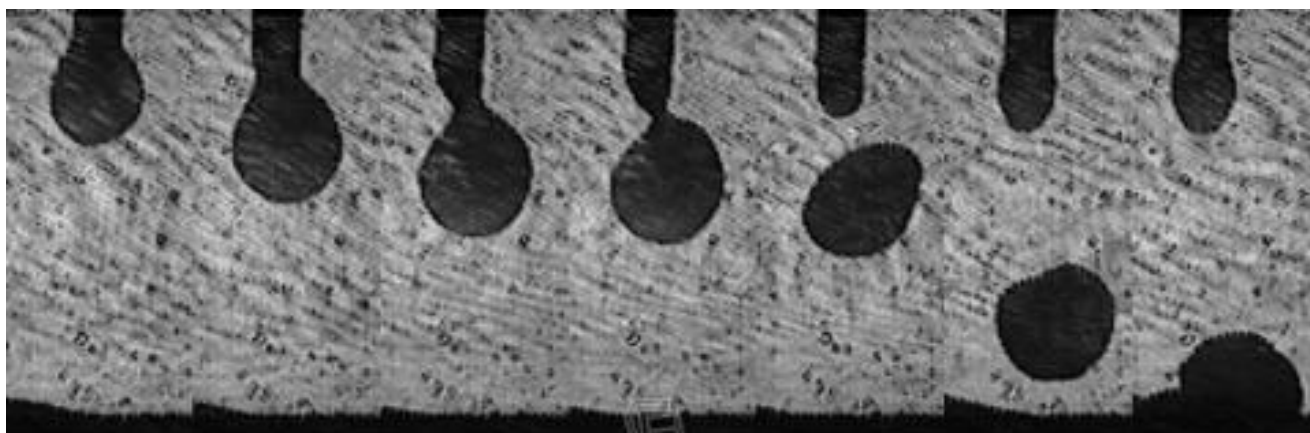


*Рисунок 6 – Сварка в вертикальном положении[48]*

При использовании сварки с короткими замыканиями применительно к соединениям с большими толщинами могут наблюдаться подрезы и отсутствие проплавления.

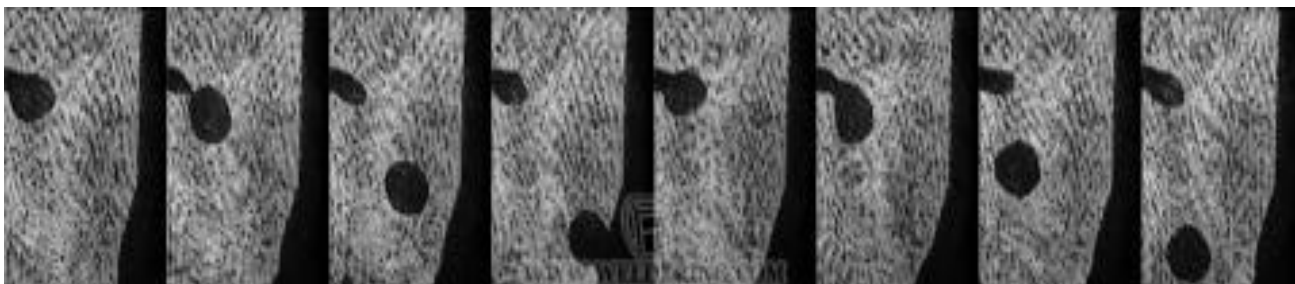
Вторая форма – перенос без коротких замыканий. При этом типе переноса капля электродного металла отрывается от конца электрода, не касаясь поверхности сварочной ванны. Данная форма переноса электродного металла подразделяется на перенос крупными каплями и перенос мелкими каплями.

Крупнокапельный перенос металла имеет место, когда сварка ведётся на высоких напряжениях дуги (исключающих короткие замыкания) и средних значениях тока сварки. Он, как правило, характеризуется нерегулярным переходом крупных капель расплавленного электродного металла (превышающих диаметр электрода) и низкой частотой переноса (от 1 до 10 капель в секунду). Из-за того, что сила тяжести играет решающую роль в этом типе переноса металла, сварка ограничена только нижнем положением.



*Рисунок 7 – Крупнокапельный перенос электродного металла [48]*

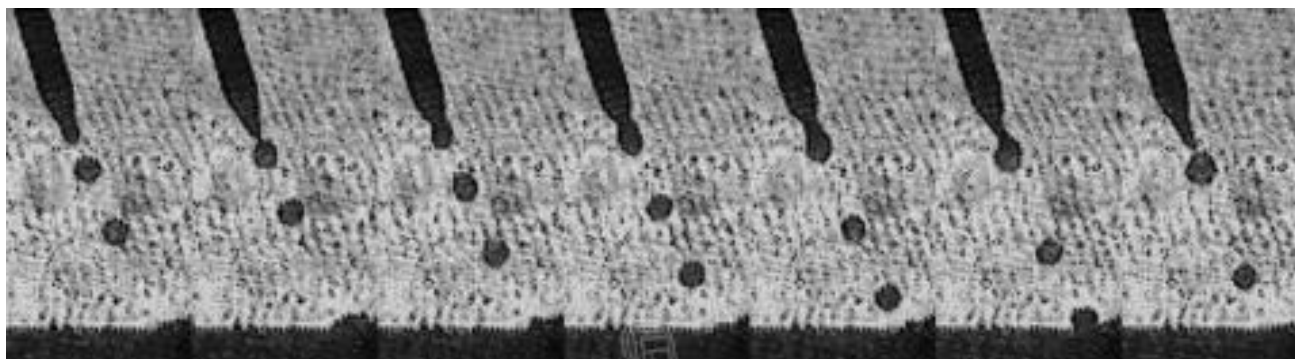
При сварке в вертикальном положении некоторые капли могут падать вниз, минуя сварочную ванну (как это видно на рисунке на последнем кадре).



*Рисунок 8 – Потери металла при сварке в вертикальном положении [48]*

Сварочная ванна имеет большие размеры и, поэтому, трудноуправляема с тенденцией стекания вниз при сварке в вертикальном положении или выпадения при сварке в потолочном положении, что также исключает возможность сварки в этих пространственных положениях. Эти недостатки, а также неравномерное формирование сварного шва приводят к нежелательности использования этого типа переноса металла при сварке в защитных газах.

Мелкокапельный перенос металла характеризуется одинаковыми каплями малых размеров (близкими к диаметру электрода), отделяющихся от торца электрода с высокой частотой.



*Рисунок 9 – Мелкокапельный перенос электродного металла [48]*

Такой тип переноса обычно наблюдается при сварке на обратной полярности в защитной смеси на базе аргона и при высоких напряжениях дуги и токах сварки. В связи с тем, что этот тип переноса требует использования высокого тока сварки, приводящего к высокому тепловложению и большой сварочной ванне, он может быть применён только в нижнем положении и не

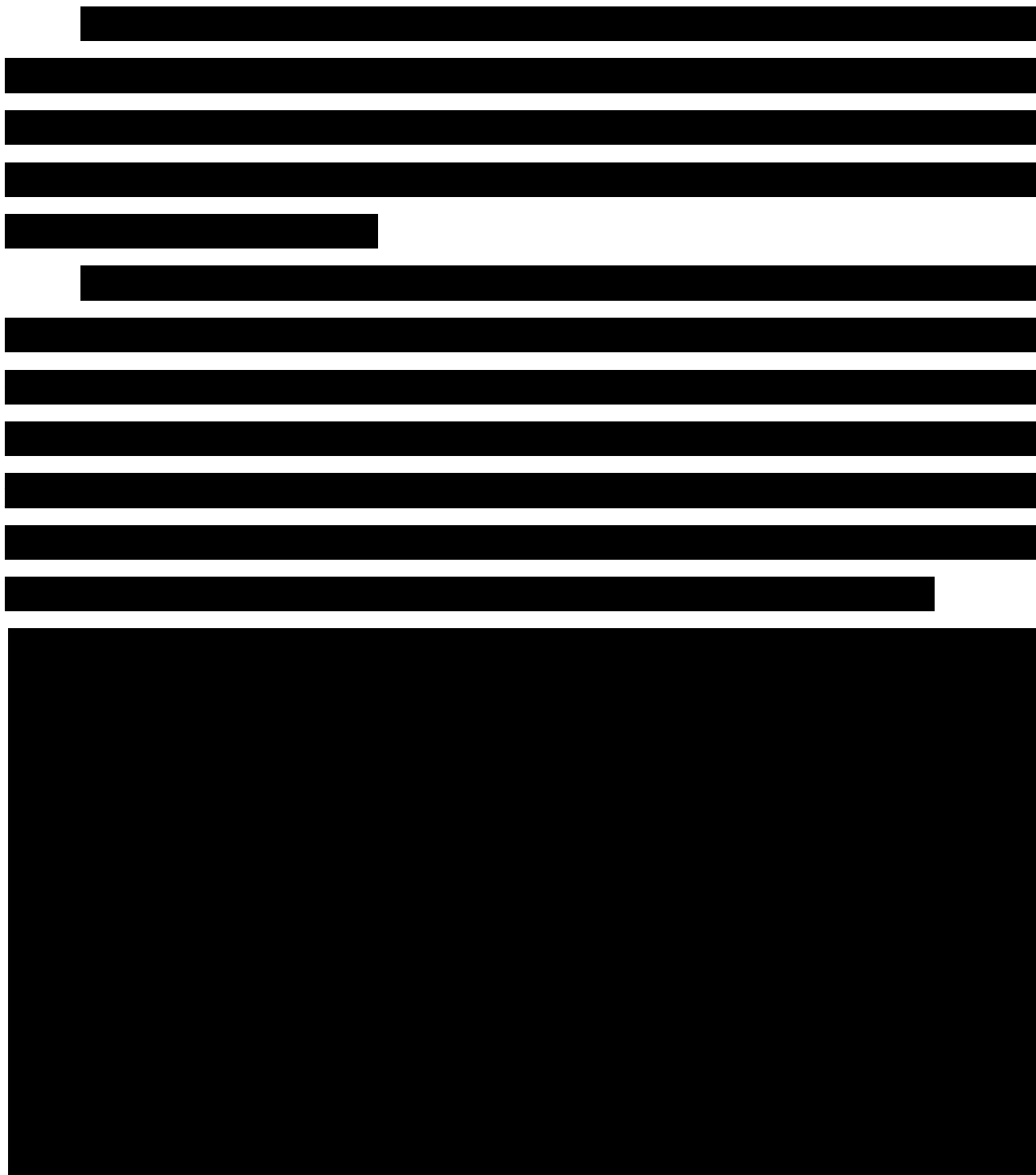
приемлем для сварки тонколистового металла. Его используют для сварки и заполнения разделок металла больших толщин (обычно более 3 мм толщиной), в первую очередь при сварке тяжёлых металлоконструкций. Главными характеристиками процесса сварки с мелкокапельным переносом являются: высокая стабильность дуги, практическое отсутствие разбрызгивания, умеренное образование сварочных дымов, хорошая смачиваемость кромок шва и высокое проплавление, гладкая и равномерная поверхность сварного шва, возможность ведения сварки на повышенных режимах и высокая скорость наплавки. Благодаря этим достоинствам мелкокапельный перенос металла является всегда желательным там, где его применение возможно, однако, он требует строгого выбора и поддержания параметров процесса сварки.

При сварке в среде  $\text{CO}_2$  возможен только один тип переноса – с короткими замыканиями.

#### **2.4 Импульсный перенос электродного металла**

При одной из разновидностей сварки в защитных газах используются импульсы тока, которые управляют переходом капель электродного металла таким способом, чтобы мелкокапельный перенос металла осуществлялся на средних токах сварки ( $I_{\text{ср}}$ ) ниже критического значения. При этом типе переноса электродного металла происходит принудительное изменение тока между током базы ( $I_{\text{б}}$ ) и током импульса ( $I_{\text{и}}$ ). Базовый уровень тока выбирается так, чтобы обеспечить поддержание горения дуги при малом влиянии на расплавление электродной проволоки. Ток импульса превышает уровень тока, при котором крупнокапельный перенос металла переходит в мелкокапельный. Ток импульса отвечает за расплавление конца электродной проволоки, образование капли электродного металла определённого размера, отделение этой капли электродного металла с конца электродной проволоки под действием электромагнитной силы (Пинч-эффект). Период пульсации тока импульса определяется суммой длительностей импульса ( $t_{\text{и}}$ ) и базы ( $t_{\text{б}}$ ). Величина, обратная периоду пульсации, называется частотой пульсации.

Скорость расплавления электродной проволоки зависит от энергии, которую выделяет электрическая дуга, а энергию электрической дуги определяет частота импульсов тока, амплитуда импульсов и их продолжительность.



*Рисунок 10 – Импульсный перенос электродного металла [48]*

## 2.5 Влияние полярности тока на процесс сварки в защитных газах

Полярность тока сварки существенным образом сказывается на характере протекания процесса сварки в защитных газах. Так, при использовании обратной полярности процесс сварки характеризуется следующими особенностями:

- повышенный ввод тепла в изделие;
- более глубокое проплавление;
- меньшая эффективность плавления электрода;
- большой выбор реализуемых типов переноса - металла, позволяющий выбрать оптимальный (с короткими замыканиями, крупнокапельный, мелкокапельный, струйный, ИДС ...).

В то время как при сварке на прямой полярности наблюдается:

- сниженный ввод тепла в изделие;
- менее глубокое проплавление;
- большая эффективность плавления электрода;
- характер переноса электродного металла крайне неблагоприятен (крупнокапельный с низкой регулярностью).



*Рисунок 11 – Сравнительный анализ особенностей сварки в защитных газах на обратной и на прямой полярности*

Разница в выделении тепла в анодной и катодной областях определяет более глубокое проплавление основного металла на обратной полярности, более высокую скорость расплавления электрода на прямой полярности, а также наблюдаемый на прямой полярности неблагоприятный перенос металла,

когда капля имеет тенденцию быть оттолкнутой в противоположную сторону от сварочной ванны. Последнее является результатом действия повышенной силы реакции. Сила реакции возникает в результате реактивного воздействия на каплю струи паров металла исходящего из активного пятна, т.е. участка поверхности капли с наивысшей температурой. Сила реакции препятствует отделению капли от торца электрода, а будучи значительной, она может вызывать перенос металла с характерным отталкиванием капель в сторону от дуги, сопровождаемым большим разбрызгиванием металла. Действие этой силы на порядок ниже на обратной полярности (когда электрод является анодом), чем на прямой (когда электрод является катодом).

## **2.6 Достоинства и недостатки**

Главными достоинствами процесса сварки МИГ/МАГ являются высокая производительность и высокое качество сварного шва. Высокая производительность объясняется отсутствием потерь времени на смену электрода, а также тем, что этот способ позволяет использовать высокий ток сварки.

Еще одним достоинством этого способа сварки является низкое тепловложение, особенно при сварке короткой дугой (при сварке с короткими замыканиями), что делает этот способ наиболее подходящим для сварки во всех пространственных положениях.

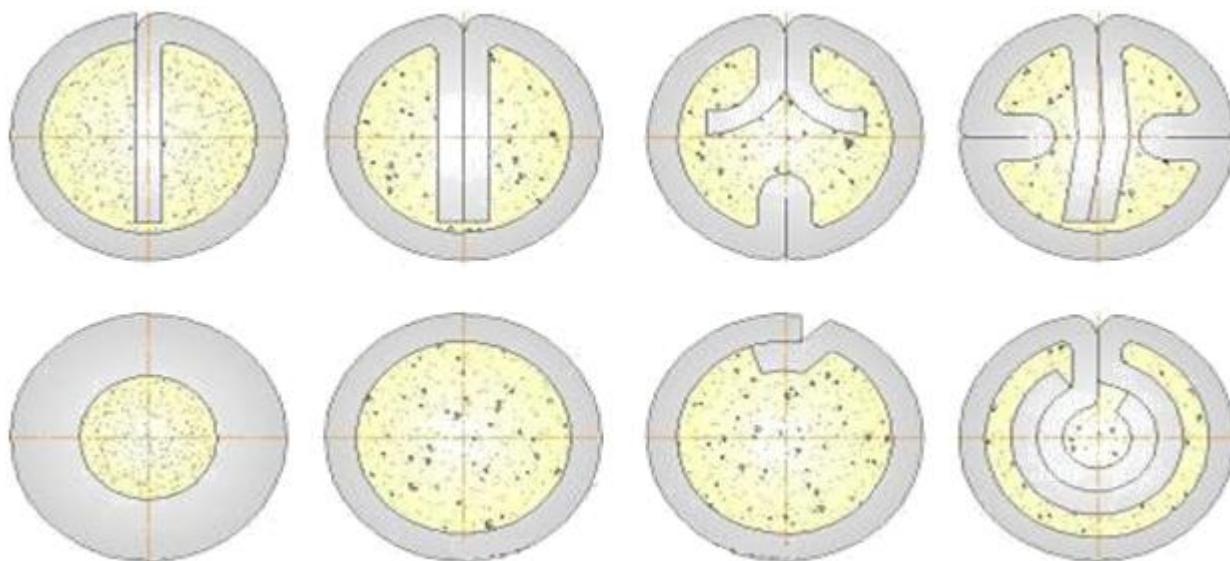
К недостаткам этого процесса по сравнению со сваркой покрытыми электродами можно отнести следующее:

- оборудование более сложное и более дорогое;
- сложнее выполнять сварку в труднодоступных местах, так как горелка, как правило, крупнее электрододержателя и должна находиться близко от зоны сварки, что не всегда возможно;
- более сложная взаимосвязь между параметрами сварки;
- предъявляются более высокие требования к подготовке и очистке кромок;
- более сильное излучение от дуги.

### 3 СВАРКА ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ

Для сварки порошковой проволокой может использоваться тоже оборудование, что и для сварки проволокой сплошного сечения в среде защитных газов.

Порошковая проволока представляет из себя электрод, вывернутый наизнанку. Это полая трубка из нелегированной стали, которая заполнена флюсом. Конструкция порошковых проволок бывает различна.



*Рисунок 12 – Конструкция порошковых проволок*

Каждый вид порошковой проволоки может иметь разный состав флюса. Флюс оказывает влияние на характеристику дуги, на перенос электродного металла. С его помощью можно влиять на формирование сварного шва и на металлургические особенности шва. Процесс сварки порошковой проволокой позволяет при помощи флюса вводить в металл шва легирующие элементы, что невозможно сделать при сварке проволокой сплошного сечения, так как не будет должного контроля за сварочной ванной.

Для сварки порошковой проволокой допустимо использование защитных газов. Однако, в настоящее время все большее применение находит сварка самозащитной порошковой проволокой (Иннершилд), в которой необходимый объем защитного газа образуется при сгорании флюса.

По сути, сварка самозащитной порошковой проволокой является разновидностью процесса сварки в защитных газах. Отличие состоит в том, что нет необходимости наличия баллонов с защитным газом и не требуется дополнительных укрытий в процессе сварки.

### **3.1 Функции флюса сердечника порошковой проволоки**

Состав флюса для порошковой проволоки подбирается с учетом того, в какой области будет производиться сварка и какой материал сваривается. Главной задачей флюса является очистка металла шва от кислорода и азота, оказывающих негативное воздействие на механические характеристики шва. Снижение содержания кислорода и азота достигается путем введения в состав флюса кремния и марганца. Кремний и марганец играют роль раскислителей и улучшают механические свойства металла шва. В состав флюса также добавляют кальций, натрий, калий для того, чтобы обеспечить надежную защиту расплавленного металла от воздействия окружающей среды при кристаллизации металла сварочной ванны, уменьшить разбрызгивание металла.

Функции шлака:

- формирование поверхности сварного шва заданной формы;
- контроль сварочной ванны в различных положениях;
- увеличение времени остывания сварочной ванны.

С технической и экономической точек зрения добавлять во флюс легирующие элементы проще и дешевле, чем изготавливать сплошную проволоку из легированного металла, то добавки легирующих элементов через



флюс оказывается более приоритетным по сравнению легированием шва через сплошную проволоку. В качестве легирующих элементов используют хром, никель, марганец, молибден, углерод. Добавление этих элементов улучшает свариваемость металла, увеличивает прочность, пластичность и предел текучести металла.

Применение находят порошковые проволоки содержащие больший объем металлического порошка, по сравнению с обычной порошковой проволокой. Флюс таких проволок содержит количество кремния и марганца эквивалентное их содержанию в проволоке сплошного сечения. Возможно добавление до 2% никеля с целью увеличения ударной вязкости при низких температурах.

Данный тип проволок применяется для сварки стыковых швов в различных пространственных положениях, обеспечивается высокую производительность, способствует получению качественного сварного шва.

### **3.2 Обоснование выбора сварочных материалов**

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 [25].

В состав наполнителя порошковой проволоки входят следующие компоненты [25]:

- *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 (рутиловый концентрат, флюоритовый 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).

Марку самозащитной порошковой проволоки выбирают в зависимости от прочностного класса свариваемых труб [25]:

- 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.

В процессе работы с использованием самозащитной порошковой проволоки следует учитывать следующие технологические особенности [25]:

- *корневой слой шва выполняется электродами с основным или целлюлозным видами покрытия.;*
- *перед выполнением первого слоя порошковой проволокой необходимо тщательно зачистить сваренный электродами корневой слой шва или "горячий" проход;*
- *процесс сварки порошковой проволокой во всех случаях выполняется на постоянном токе прямой полярности;*
- *направление сварки — "на спуск";*
- *начинать сварку следует всегда при вылете проволоки 12 — 15 мм.*

Изменяя угол наклона сварочной горелки, частично можно контролировать степень проплавления. Угол уменьшается – степень

проплавления увеличивается, угол увеличивается – степень проплавления 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.

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 стенки 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 стенки трубы и особенностей заполнения разделки каждым сварщиком.

### **3.3 Достоинства и недостатки**

Способ сварки самозащитной порошковой проволокой имеет следующие особенности, обуславливающие его преимущества:

- *высокая скорость сварки ( до 14 — 20 м/ч);*
- *возможность форсирования режима сварки;*
- *нет необходимости смены электродов, следовательно, повышается эффективность работы сварщика;*
- *большая глубина проплавления;*
- *возможность ведения процесса сварки без дополнительных укрытий;*
- *возможность устранения поверхностных дефектов;*
- *сварочная проволока сразу готова к работе;*

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 необходимо использование специальной одежды (кожаные костюмы) и масок (фиброметалл).*

- *проволока имеет гигиенический сертификат, однако процесс сопровождается повышенным аэрозольвыделением.*

## 4 РАСЧЕТ РЕЖИМОВ СВАРКИ

Таблица 5 – Конструктивные элементы сварного соединения по ГОСТ 16037-80

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры		b, мм	с, мм	е, мм	g, мм
	Подготовленных кромок свариваемых деталей	Сварного шва				
С17			2,4	2	16	2

Режим сварки – совокупность основных характеристик сварочного процесса, которые обеспечивают получение сварных швов заданных размеров, геометрической формы и качества.

Рассчитаем общую площадь поперечного сечения наплавленного металла для того, чтобы определить необходимое число проходов при сватке стыкового соединения с разделкой кромок.

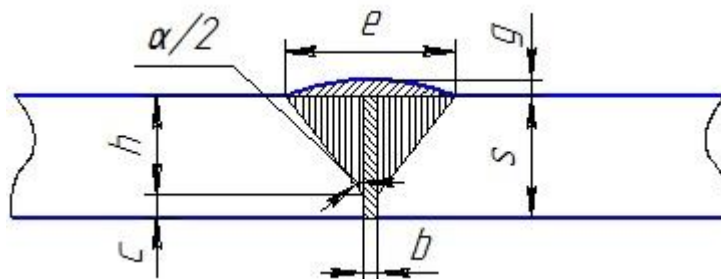


Рисунок 13 – Геометрические элементы площади сечения стыкового шва

Площадь наплавки обычно находят как сумму площадей элементарных геометрических фигур:

$$F_{\text{н}} = h^2 \cdot \text{tg} \alpha + b \cdot S + 0,75 \cdot q \cdot e. \quad (5)$$

Определим площадь наплавки:

$$F_n = 10^2 \cdot \operatorname{tg}30 + 2,5 \cdot 12 + 0,75 \cdot 2 \cdot 16 = 111 \text{ мм}^2.$$

При сварке в среде защитных газов электродной проволокой диаметром 1 – 1,4 мм в нижнем положении площадь поперечного сечения наплавленного металла первого прохода 20 – 30 мм<sup>2</sup>, второго 30 – 60 мм<sup>2</sup>, последующих заполняющих и облицовочных проходов 40 – 70 мм<sup>2</sup>; для вертикального положения сварки площадь первого прохода 20 – 40 мм<sup>2</sup>, второго 40 – 60 мм<sup>2</sup>, последующих 40 – 70 мм<sup>2</sup>.

Сварку стыка производим в три прохода. Для первого площадь составит 21 мм<sup>2</sup>, для последующего и облицовочного – 45 мм<sup>2</sup>.

#### 4.1 Расчёт режимов сварки в углекислом газе

К основным параметрам режима механизированной дуговой сварки в защитных газах плавящимся электродом, определяемых расчётом, относятся: сварочный ток, напряжение на дуге, скорость сварки, диаметр и скорость подачи электродной проволоки. Основные параметры: защитная среда, род тока, полярность устанавливают, исходя из условий сварки конкретного изделия. Для сварки данного соединения, выбран тип соединения С17 с разделкой кромок.

Силу сварочного тока  $I_{св}$  рассчитаем по формуле (6) [7]:

$$I_{св} = \pi \cdot d_э \cdot j / 4, \quad (6)$$

где  $d_э$  – диаметр электродной проволоки 1 мм (для корневого шва) 1,2 мм (для заполняющих проходов);

$j$  – допустимая плотность тока, согласно [5, С.180, табл.40] для сварки в углекислом газе 200÷250 А/мм<sup>2</sup>.

- для корневого шва:

$$I_{св} = \frac{3,14 \cdot 1^2}{4} \cdot 200 = 157 \text{ А},$$

принимаем  $I_{св} = 160 \text{ А}$ .

- для последующих проходов:

$$I_{св} = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} \cdot 250 = 283 \text{ A},$$

принимаем  $I_{св} = 285 \text{ A}$ .

Определяем оптимальное напряжение дуги [13]:

$$U_{\partial} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_3}} \cdot I_{св} \pm 1 \quad (7)$$

- для корневого шва:

$$U_{\partial} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1}} \cdot 160 \pm 1 = 28 \pm 1 \text{ B};$$

- для последующих проходов:

$$U_{\partial} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1,2}} \cdot 285 \pm 1 = 33 \pm 1 \text{ B}.$$

Определим коэффициент формы провара [13]:

$$\psi_{np} = K' \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{св}) \cdot \frac{d_3 \cdot U_{\partial}}{I_{св}}, \quad (8)$$

где  $K'$  – коэффициент для тока обратной полярности 0,92.

- для корневого шва:

$$\psi_{np} = 0,92 \times (19 - 0,01 \cdot 160) \cdot \frac{1 \cdot 28}{160} = 2,8;$$

- для последующих проходов:

$$\psi_{np} = 0,92 \cdot (19 - 0,01 \cdot 285) \cdot \frac{1,2 \cdot 33}{285} = 2,06.$$

Для механизированной сварки значения  $\Psi_{np}$  должны составлять 0,8...4,0, в нашем случае, значение коэффициента находится в данном интервале, следовательно, режимы подобраны верно.



Определим скорость сварки по формуле (9) [13]:

$$V_{св} = \frac{\alpha_n \cdot I_{св}}{3600 \cdot \gamma \cdot F_n}, \quad (9)$$

где  $\alpha_n$  – коэффициент наплавки;

$\gamma$  – плотность электродного металла, г/см<sup>3</sup>.

Для определения коэффициента наплавки  $\alpha_n$  при механизированных способах сварки в среде CO<sub>2</sub> воспользуемся следующей формулой (10) [13]:

$$\alpha_n = \alpha_p \cdot (1 - \psi_n), \quad (10)$$

где  $\psi_n$  – коэффициент потерь, который определяется по формуле (11):

$$\psi_n = -4,72 + 17,6 \cdot 10^{-2} \cdot j - 4,48 \cdot 10^{-4} \cdot j^2. \quad (11)$$

Подставим известные значения плотности тока  $j$  в формулу (11), получим:

- для корневого шва:

$$\psi_n = -4,72 + 17,6 \cdot 10^{-2} \cdot 200 - 4,48 \cdot 10^{-4} \cdot 200^2 = 12,6\%;$$

- для последующих проходов:

$$\psi_n = -4,72 + 17,6 \cdot 10^{-2} \cdot 250 - 4,48 \cdot 10^{-4} \cdot 250^2 = 11,3\%.$$

Для того чтобы определить коэффициент наплавки нам необходимо рассчитать коэффициент расплавления  $\alpha_p$  по формуле (12) (величину вылета электрода  $l_e$  принимаем 15 мм) [13]:

$$\alpha_p = A + 3,1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{I_{св}} \cdot \frac{l_e}{d^2}. \quad (12)$$

- для корневого шва:

$$\alpha_p = 16,7 + 3,1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{160} \cdot \frac{15}{1^2} = 17,3 \frac{г}{Ач};$$

- для последующих проходов:

$$\alpha_p = 24,8 + 3,1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{285} \cdot \frac{15}{1,2^2} = 25,3 \frac{г}{Ач}.$$

Тогда коэффициента наплавки  $\alpha_n$  согласно формуле (10):

- для корневого шва:

$$\alpha_n = 17,3 \cdot (1 - 0,126) = 15,1 \frac{г}{Ач};$$

- для последующих проходов:

$$\alpha_n = 25,3 \cdot (1 - 0,113) = 22,1 \frac{г}{Ач};$$

Скорость сварки:

- для первого прохода:

$$V_{св} = \frac{15,1 \cdot 160}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,21} = 0,41 \frac{см}{с} = 14,76 \frac{м}{ч};$$

- для последующих проходов:

$$V_{св} = \frac{22,1 \cdot 285}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,45} = 0,5 \frac{см}{с} = 18 \frac{м}{ч};$$

Определяем скорость подачи электродной проволоки по формуле (13)

[13]:

$$V_{нэн} = \frac{\alpha_p \cdot I_{св}}{3600 \cdot \gamma \cdot F_{эл}}, \quad (13)$$

где  $F_{эл}$  – площадь поперечного сечения электрода,  $см^2$ .

- для первого прохода:

$$V_{нэн} = \frac{17,3 \cdot 160}{3600 \cdot 7,8 \cdot 1 \cdot 10^{-2}} = 9,86 \frac{см}{с} = 355 \frac{м}{ч};$$

- для последующих проходов:

$$V_{нэн} = \frac{25,3 \cdot 285}{3600 \cdot 7,8 \cdot 1,13 \cdot 10^{-2}} = 22,7 \frac{см}{с} = 817 \frac{м}{ч};$$

Погонная энергия рассчитывается по формуле (14) [13]:

$$q_n = \frac{\eta_n \cdot I_{св} \cdot U_d}{V_{св}}, \quad (14)$$

где  $\eta_n$  – эффективный коэффициент полезного действия нагрева изделия дугой, который при сварке в защитном газе составляет 0,8...0,84, принимаем  $\eta_n = 0,8$ ;

- для первого прохода:

$$q_n = \frac{0,8 \cdot 160 \cdot 28}{0,41} = 8741,5 \frac{\text{Дж}}{\text{см}};$$

- для последующих проходов:

$$q_n = \frac{0,8 \cdot 285 \cdot 33}{0,5} = 15048 \frac{\text{Дж}}{\text{см}}.$$

Полученные расчеты сведем в таблицу 6.

Таблица 6 – Результаты расчетов режимов сварки

Параметр	Для корневого шва	Для последующих проходов
Сварочный ток, $I_{св}$	160 А	285 А
Оптимальное напряжение дуги, $U_d$	$28 \pm 1$ В	$33 \pm 1$ В
Коэффициент формы провара, $\psi_{np}$	2,8	2,06
Коэффициент потерь, $\psi_n$	12,6 %	11,3 %
Коэффициент расплавления, $\alpha_p$	17,3 г/Ач	25,3 г/Ач
Коэффициент наплавки, $\alpha_n$	15,1 г/Ач	22,1 г/Ач
Скорость сварки, $V_{св}$	0,41 см/с = 14,76 м/ч	0,5 см/с = 18 м/ч
Скорость подачи электродной проволоки, $V_{пзн}$	9,86 см/с = 355 м/ч	22,7 см/с = 817 м/ч
Погонная энергия, $q_n$	8741,5 Дж/см	15048 Дж/см

## 4.2 Режимы сварки самозащитной порошковой проволокой Innershield

Рекомендуемые режимы сварки горячего, заполняющего и облицовочного проходов проволокой NR-207.

Таблица 7 – Режимы сварки самозащитной порошковой проволокой Innershield

Параметр	Горячий проход	Заполняющий слой	Облицовочный слой
Скорость подачи проволоки, м/ч	160	183	160
Напряжение, В	18-19	19-20	18-19
Сварочный ток, А	200	225	200
Вылет электрода, мм	12-19	12-19	12-19
Угол наклона электрода, град	0-30	0-30	0-30
Коэффициент наплавки, кг/ч	1,75	2,0	1,75
Температура подогрева	20-135	20-135	20-135

## 4.3 Выбор источников питания

Источник питания сварочной дуги должен отвечать следующим требованиям:

- обеспечивать необходимую для данного технологического процесса силу тока дуги и напряжение дуги;
- иметь необходимый вид внешней характеристики, чтобы выполнять условия стабильного горения дуги;
- иметь такие динамические параметры, чтобы можно было обеспечить нормальное возбуждение дуги и минимальный коэффициент разбрызгивания.

*Сварочный аппарат Lincoln Electric Invertec STT II* с революционной технологией STT® II, представляет собой инверторный сварочный источник с высокой частотой преобразования, в котором применена улучшенная технология управления формой сварочного тока (Waveform Control Technology®), обеспечивающей значительные преимущества по сравнению с традиционной MIG-сваркой короткими замыканиями.

*Особенности:*

- Управляемое проплавление и тепловложение – идеально для сварки соединений с открытым зазором между деталями или тонколистовых материалов, где крайне недопустимы прожоги свариваемых деталей;

- Низкий уровень разбрызгивания металла и минимальный выброс сварочных газов, благодаря автоматическому контролю сварочного тока и оптимизации процесса переноса металла;

- Возможность использования различных газов и смесей - технология STT® II позволяет использовать различные типы защитных газов и их смесей: аргон или 100% CO<sub>2</sub> для проволоки большого диаметра;

- Хороший вид шва и более высокая скорость сварки без ущерба качеству и внешнему виду шва, процесс STT способен заменить традиционный способ аргоно-дуговой сварки;

- Регулируемые параметры: базовый ток, время спада заднего фронта импульса и пиковый ток - позволяют точно установить величину тепловложения, уменьшить вероятность прожигания и установить нужное проплавление;

- Контроль над скоростью подачи и напряжением;

- Режим триггера горелки 2х и 4х тактный;

- Яркий, цифровой дисплей вольтметра и амперметра;

*Специализированный комплект оборудования для сварки самозащитной порошковой проволокой, разработанный и выпускаемый фирмой Lincoln Electric, включает следующее [23]:*

- 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.

Применение: многофункциональная полуавтоматическая сварка Invertec V350-Pro с использованием импульсных и программируемых режимов, электродуговая сварка покрытым электродом, электро-дуговая строжка.

Оснащение: Источник сварочного тока инверторного типа. Универсальная модель, с жесткой и подающей внешней характеристикой. Встроенный цифровой амперметр и вольтметр. Регулируемые функции "Hot Start" - временное увеличение сварочного тока в момент зажигания дуги, "Arc Force" - регулировка тока короткого замыкания, позволяет управлять сварочной дугой делая ее "мягкой" или "жесткой", "Touch-Start"- зажигание дуги точечным касанием. Специализированные импульсные режимы "Power Mode" и "Pulse-on-pulse". Разъем ПДУ. Подключение ПК через SRS.

Регулировки: выходная мощность, выбор сварочного процесса, настройка динамических свойств дуги, форсаж дуги, уровень горячего страта.

Таблица 8 – Технические характеристики сварочных полуавтоматов Invertec V350-Pro и Lincoln Electric Invertec STT II.

Наименование	Lincoln Electric Invertec STT II	Invertec V350-Pro
Напряжение питающей сети, В	380	380
Частота питающей сети, Гц	50/60	50/60
ПВ 60%, А	225	225
ПВ 100%, А	200	200
Номинальная мощность при макс. токе, кВт	6,8	6,8
Диапазон сварочных токов, А	5–450	до 350
Напряжение холостого хода, В	85	85
Потребляемая мощность холостого хода, Вт	40	40
КПД при ПВ 100 %	0,85	0,85
Диаметр сварочной проволоки, мм	1,0-1,6	1,0-1,6
Диапазон регулирования скорости подачи проволоки, м/мин	0,9-19,1	0,9-19,1
Диапазон регулировки напряжения, В	15-36	15-36
Габаритные размеры Д x Ш x В, мм	589x336x620	376x338x709
Масса (без сварочной горелки и кабелей), кг	53	36,7

*Механизированная сварка методом STT* служит для односторонней полуавтоматической сварки проволокой сплошного сечения в среде углекислого газа корневого шва неповоротных стыков труб диаметром 325-1220 мм с толщинами стенок до 20 мм включительно, а также для сварки всех слоев шва стыков аналогичных диаметров с толщиной стенки до 12 мм [23].

Аббревиатура STT расшифровывается как "Surface Tension Transfer" — процесс переноса капли в сварочную ванну происходит с помощью сил поверхностного натяжения. Этот процесс похож на процесс переноса короткими замыканиями, который реализован при дуговой сварке в среде защитных газов, но с одним отличием — сварочная ванна втягивает в себя расплавленный металл с конца электродной проволоки за счет сил поверхностного натяжения. Электромагнитное сжимающее действие, которое возникает при Пинч-эффекте, способствует отделению капли, но не является основой механизма переноса, как это наблюдается при обычной сварке короткими замыканиями. Данный вид переноса обеспечивает сокращение разбрызгивания и дымообразования в отличие от традиционных методов сварки. Простота использования этого метода позволяет значительно снизить вероятность образования несплавлений, т.к. в процессе сварки над сварочной ванной обеспечивается хороший контроль. При использовании этого метода от сварщика не требуется высокой квалификации, чтобы выполнить сварное соединение высокого качества. Еще достоинством данного способа является то, что простота процесса STT способствует сокращению времени обучения сварщиков.

Компания «Lincoln Electric» целенаправленно для процесса STT разработала 225-амперный инверторный источник питания Invertec STT II, который реализует технологию управления формой сварочного тока. В процессе сварки форма выходного тока регулируется определенным образом, в результате этого добиваются вышеуказанных преимуществ. Invertec STT II имеет отличие от обычных сварочных аппаратов. Он не является ни источником с жесткой характеристикой, ни источником с крутопадающей

характеристикой. Invertec имеет обратную связь, с помощью которой отслеживаются основные этапы переноса капли и процессы, происходящие между электродом и сварочной ванной. При необходимости аппарат автоматически изменяет величину и форму сварочного тока.

Источник не регулирует напряжение на дуге. Напряжение, которое необходимо дуге, автоматически устанавливается источником. Из-за этого количество тепла, которое вводится в сварочную ванну, не зависит от скорости подачи проволоки. Помимо этого, условия контроля над формированием сварочной ванны улучшаются. Пинч-эффект автоматически контролируется источником.

Процесс STT особо рекомендован при сварке труб с зазором для выполнения корневых швов.

Циклограмма метода STT представлена на рисунке.

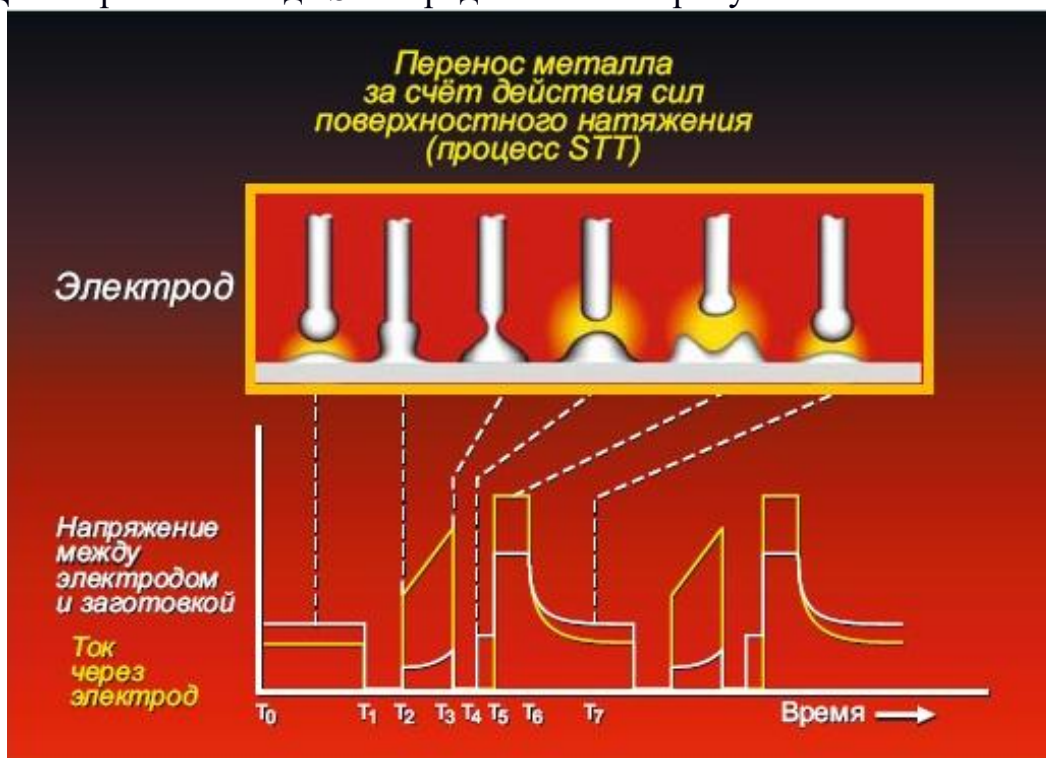


Рисунок 14 – Циклограмма метода STT



Описание циклограммы:

1.  $T_0-T_1$  — базовый ток — это значение тока дуги до короткого замыкания со сварочной ванной. Это постоянное значение может быть установлено между 50 и 100А.

2.  $T_1-T_2$  — формирование капли — при первом же замыкании электрода на сварочную ванну при базовом токе детектор разности потенциалов на дуге обнаруживает это замыкание. Базовый ток снижается до значения 10А и удерживается в этом значении примерно 0,75 мсек.

3.  $T_2-T_3$  — в этом интервале времени происходят:

- обжатие капли: вслед за формированием капли ток на закороченном электроде возрастает. Перенос расплавленного металла в сварочную ванну ускоряется за счёт эффекта обжатия. Электрическое сопротивление между электродом и каплей в этой фазе не равно нулю ввиду высокого сопротивления металла, нагретого до температуры плавления.

- вычисление скорости изменения напряжения — сечение шейки, соединяющей электрод с каплей, на этой фазе уменьшается ввиду обжатия, и сопротивление шейки растёт. Пропорционально росту сопротивления меняется и разность потенциалов. Достижение скоростью изменения напряжения определённого значения указывает на то, что сечение достигло критического значения и капля готова отделиться. Ток уменьшается до 5А в течение микросекунд. Это происходит до того, как электрод выходит из короткого замыкания со сварочной ванной.

4.  $T_4$  — отделение капли — собственно отделение капли происходит в момент  $T_4$  при низком токе. После того, как шейка между каплей и электродом сильно сужается, уменьшается сила поверхностного натяжения, которая действует на каплю со стороны электрода. За счет сил поверхностного натяжения, которые действуют со стороны сварочной ванны на каплю, капля мягко отделяется и плавно соединяется со сварочной ванной.

5.  $T_5-T_6$  — рост плазменного столба — после отделения капли и прерывания короткого замыкания между электродом и сварочной ванной, на

электрод подаётся высокий ток, который вновь вызывает плавление электрода и поддержание длины дуги. Форма плавящегося участка электрода в этот момент весьма прихотлива. Реактивные силы, действующие на электрод со стороны катода — сварочной ванны, — поджимают вверх начавшую формироваться каплю, удлиняя дугу и исключая возможность преждевременного возникновения короткого замыкания. Одновременно высокое значение тока, действующее на этой фазе, выполняет задачу улучшения сплавления и смачивания, на короткое время расширяя дугу и вызывая сильный эффект катодного прогрева. При традиционном же процессе увеличение тока для улучшения сплавления порождает серию неуправляемых коротких замыканий, образуя огромное количество сварочных брызг.

6.  $T_6$ – $T_7$  — стабилизация — в этот период происходит плавное снижение тока до величины базового, предотвращая ведущий к перемешиванию сварочной ванны бросок из-за внезапного резкого изменения величины электродинамических сил, действующих на сварочную ванну. При необходимости — для улучшения прогрева заготовки — на этой фазе можно задать повышенное значение базового тока.

*Механизированная сварка методом STT может быть использована в составе следующих технологических вариантов сварки [23]:*

- корневой слой шва выполняется механизированной сваркой методом STT, заполняющие и облицовочный слои шва — механизированной сваркой самозащитной порошковой проволокой типа Иннершилд;

- корневой слой шва выполняется механизированной сваркой методом STT, заполняющие и облицовочный слои шва — ручной дуговой сваркой электродами с основным видом покрытия методом "на подъем";

- корневой слой шва выполняется механизированной сваркой методом STT, заполняющие и облицовочный слои шва — ручной дуговой сваркой электродами с основным видом покрытия методом "на спуск";

*Специализированный комплект оборудования для сварки самозащитной порошковой проволокой, разработанный и выпускаемый фирмой Lincoln Electric, включает следующее [23]:*

- 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.

Применение: многофункциональная полуавтоматическая сварка Invertec V350-Pro с использованием импульсных и программируемых режимов, электродуговая сварка покрытым электродом, электро-дуговая строжка.

Оснащение: Источник сварочного тока инверторного типа. Универсальная модель, с жесткой и подающей внешней характеристикой. Встроенный цифровой амперметр и вольтметр. Регулируемые функции "Hot Start" - временное увеличение сварочного тока в момент зажигания дуги, "Arc Force" - регулировка тока короткого замыкания, позволяет управлять сварочной дугой делая ее "мягкой" или "жесткой", "Touch-Start"- зажигание дуги точечным касанием. Специализированные импульсные режимы "Power Mode" и "Pulse-on-pulse". Разъем ПДУ. Подключение ПК через SRS.

Регулировки: выходная мощность, выбор сварочного процесса, настройка динамических свойств дуги, форсаж дуги, уровень горячего страта.

*Самозащитная порошковая проволока может быть использована в составе следующих комбинированных технологических вариантов сварки [23]:*

- 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 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 диаметром 3,2 — 4,0 мм марок Флитвелд 5П+ , Пайпвелд 6010, Фоке Цель и др.

При сварке согласно четвертому технологическому варианту корневой слой шва выполняется проволокой сплошного сечения марки L-56 диаметром 1-1,2 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).

## **5 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНОЙ КОНСТРУКЦИИ**

### **5.1 Заготовительные операции**

Заготовительными операциями являются: очистка труб, подготовка и зачистка кромок, сборка стыка, предварительный подогрев.

Монтаж различных узлов трубопровода, независимо от того, производится он в цеховых или в полевых условиях, должен выполняться так, чтобы полностью смонтированный трубопровод соответствовал нормам и конкретным требованиям строительного проекта.

Трубы раскладывают на краю траншеи на специальных лежках так, чтобы был обеспечен беспрепятственный доступ к торцам труб, для этого трубы располагают под к оси траншеи. Расстояние от нижней образующей трубы до грунта должно быть не менее 450 мм. В процессе раскладки труб необходимо проводить их осмотр на соответствие требованиям.

Перемещение труб непосредственно к месту сборки стыка осуществляется трубоукладчиком.

### **5.2 Разработка технологии сборки и сварки**

Перед сборкой стыка зачищается внутренняя полость труб от загрязнений и ржавчины. С помощью шлифовальной машинки очищаются до металлического блеска кромки и прилегающие к ним поверхности на ширину не менее 15 мм.

Перед сборкой проводится осмотр поверхности кромок свариваемых труб. Если на неизолированных концах труб имеются дефекты глубиной до 5% от толщины стенки, то эти дефекты устраняются шлифованием.

Усиление заводских продольных и спиральных швов снаружи трубы следует удалить до величины 0 - 0,5 мм на участке шириной 10 - 15 мм от торца трубы [25].

Забоины и задиры фасок глубиной до 5 мм труб 1-й группы прочности (таблица 8) следует отремонтировать электродами с основным видом покрытия типа Э50А диаметром 2,5-3,2 мм; 2-й группы прочности (таблица 9) – электродами с основным видом покрытием типа Э60 диаметром 3,0-3,2 мм. При этом перед началом сварки осуществляется предварительный подогрев до 100<sup>+30</sup> °С [25].

Таблица 9 – Группы по классам прочности труб и деталей трубопроводов

Номер группы	Класс прочности	Нормативное значение временного сопротивления разрыву основного металла, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )
1	до К54 включительно	до 530 (54) включительно
2	К55...К60	539...588 (55...60)
3	К65	637 (65)

После ремонта кромки труб необходимо зачистить шлифовальной машинкой, восстановить заводскую разделку кромок, толщина стенки должна соответствовать нормативному значению.


Если имеются плавные вмятины на концах труб с глубиной не более 3,5% от диаметра, то возможна их правка без применения ударов с помощью разжимных устройств гидравлического типа с проведением местного подогрева трубы до 150°С, независимо от температуры окружающего воздуха.

В случае если концы труб имеют забоины и задиры фасок глубиной более 5 мм или вмятины глубиной более 3,5% от диаметра трубы, а также любые вмятины с надрывами или резкими перегибами, имеющие дефекты, которые не подлежат исправлению, они должны быть срезаны. После этого проводится обработка специализированным станком или шлифовальной машинкой. Металл кромок, который образовался после резки, удаляется на глубину не менее 1 мм.

После вырезки дефектного участка проводится ультразвуковой контроль прилегающего участка шириной не менее 40 мм по всей окружности, для определения возможных расслоений. Если при ультразвуковом контроле выявлено наличие расслоений в металле, производится обрезка трубы на величину не менее 300 мм от торца и проводится повторный ультразвуковой контроль.

Сборка стыка производится на специальном внутреннем гидравлическом центраторе. Центратор устанавливают таким образом, чтобы медная технологическая подкладка, предназначенная для формирования обратного валика, находилась в плоскости стыка. Внешний вид внутреннего гидравлического центратора представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Центратор внутренний гидравлический

Внутренний центратор гидравлический	Технические характеристики центратора ЦВ 54
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- диаметр труб 530 мм;</li> <li>- толщина стенки 6-14 мм;</li> <li>- число жимков в одном ряду – 8;</li> <li>- число центрирующих рядов – 2;</li> <li>- суммарное усилие, развиваемое одним центрирующим рядом 900-1000 кН;</li> <li>- длина 2280 мм;</li> <li>- диаметр 530 мм;</li> <li>- масса 500 кг.</li> </ul>

При сборке заводские швы следует смещать относительно друг друга не менее, чем на 100 мм - при диаметре труб свыше 530 мм [25].

При установке зазора в стыках следует руководствоваться таблицей 11.

Таблица 11 – Величина зазоров в стыках

Способ сварки	Диаметр сварочной проволоки, мм	Величина зазора, мм
Механизированная сварка методом STT	1-1,2	2,5 – 4,0
Механизированная сварка самозащитной порошковой проволокой Innershield	1,7	2,5 – 4,0

При механизированной сварке допускается выполнение сборки стыка без прихваток. Если при центровке труб и установлении технологического зазора возникла необходимость прихватки, разрешается ее выполнение на режимах сварки, аналогичных сварке корневого слоя, с последующим ее удалением в процессе выполнения корневого слоя. Прихватки выполняются на расстоянии 100 мм от заводских швов.

Перед началом процесса сварки проводится предварительный подогрев до температуры, рассчитанной для данной стали.

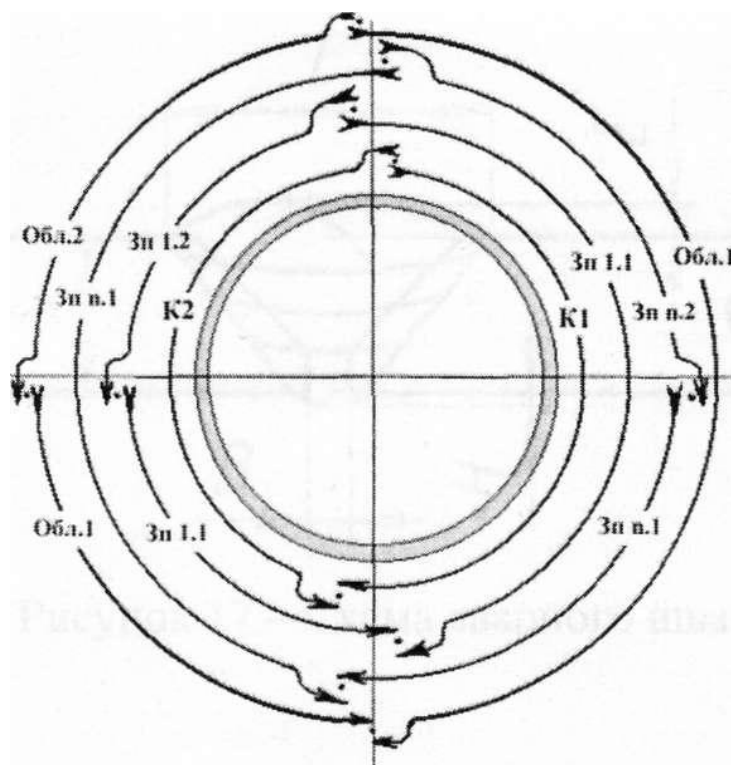
Предварительный подогрев стыков труб с толщиной стенки менее 22 мм должен осуществляться с помощью установок индукционного нагрева или кольцевых пропановых горелок [25].

Средства нагрева должны равномерно подогреть торцы труб по всему периметру стыка и прилегающие к стыку участки поверхности трубы в полосе шириной 150 мм.

При подогреве не должна быть нарушена целостность изоляции, для ее защиты следует использовать термостойкие материалы и специальные пламегасители для горелок.



Типовая схема сварки и последовательность сварки отдельных участков приведена на рисунке 15.



*Рисунок 15 – Схема сварки и последовательность сварки отдельных участков шва*

Принятые обозначения: К1, К2 - участки корневого слоя на левом и правом полупериметрах трубы; Зп 1.1 - заполняющие слои. Первая цифра - номер слоя, вторая - последовательность сварки в пределах слоя; Обл.1 - облицовочный слой [25]. Цифра обозначает - последовательность сварки в пределах слоя

Интервал времени между окончанием сварки корневого шва и началом сварки 1-го заполняющего шва не должен превышать 10 мин.

### 5.3 Оборудование и техника механизированной сварки

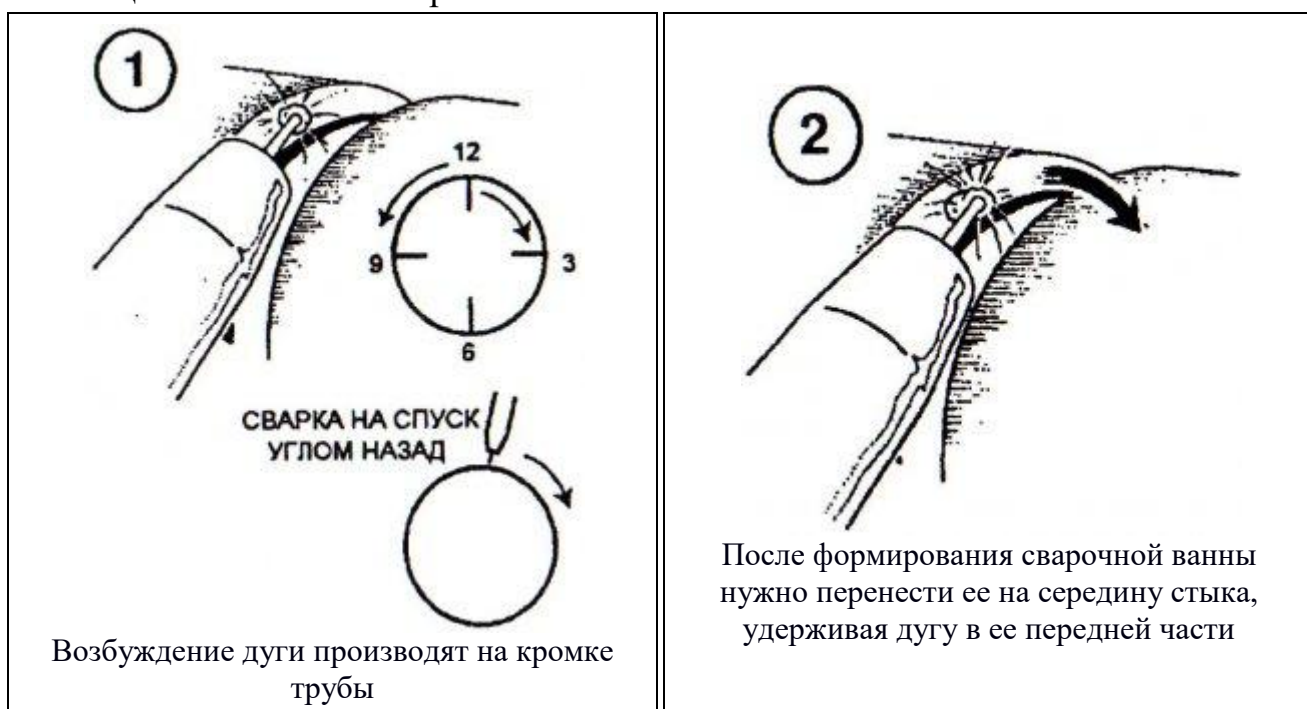
Специализированный комплект оборудования для механизированной сварки, выпускаемый фирмой Lincoln Electric представлен в таблице 12.

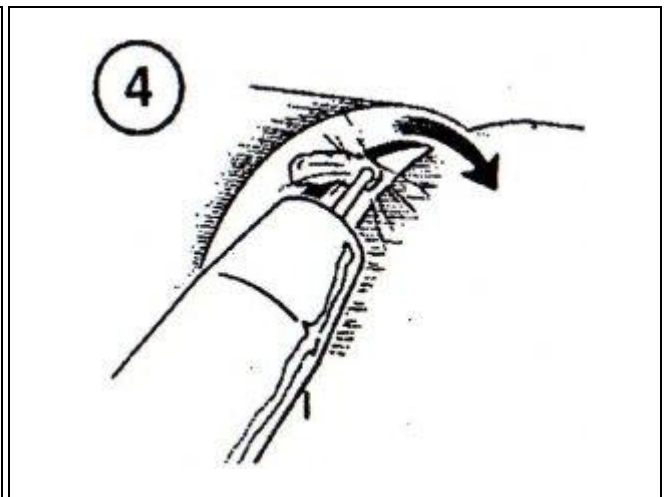
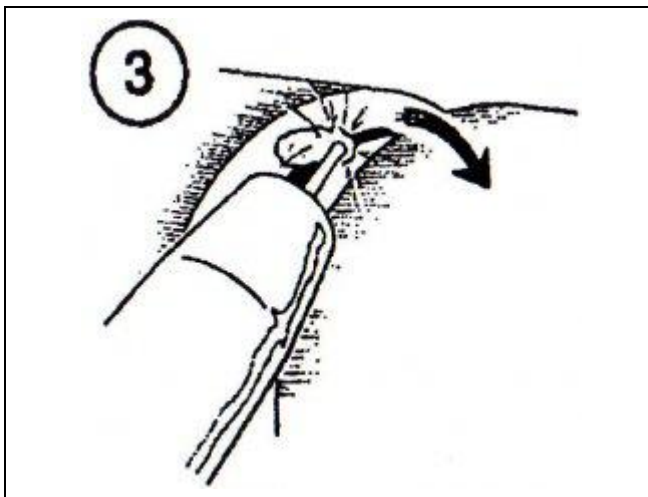
Таблица 12 – Комплект оборудования для сварки

<p>специальный источник питания Invertec STT-II, Invertec V350-PRO</p>	
<p>механизм подачи проволоки LN-27 или LF-37</p>	
<p>сварочная горелка Magnum 200 со шлангом, сварочная горелка К 345</p>	
<p>коаксиальный кабель</p>	
<p>газовый баллон с редуктором, расходомером и подогревателем газа</p>	
<p>защитная палатка</p>	

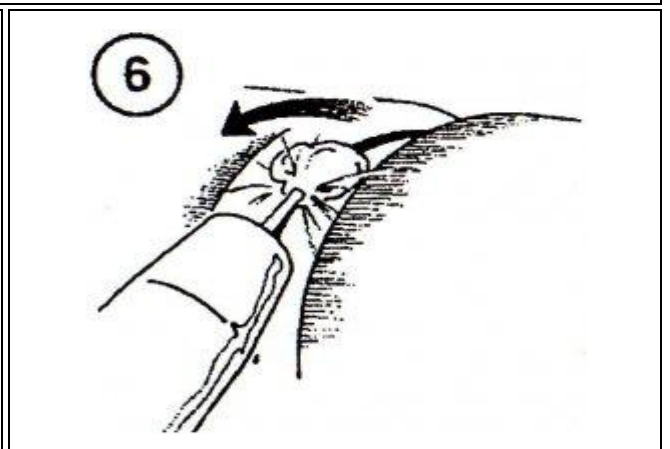
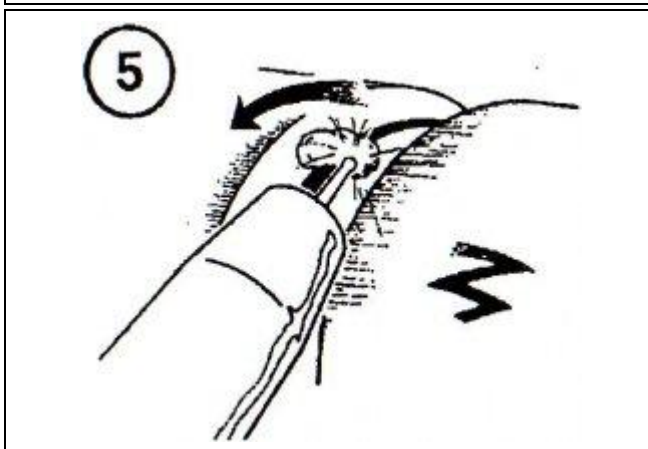
Полуавтоматическую сварку корневого шва неповоротных стыков труб ведут на спуск. Процесс начинают в верхней части трубы в положении 12-ти часов. Возбуждение дуги производят на одной из кромок. Затем дугу переносят на противоположную кромку, формируя при этом сварочную ванну. На этом участке трубы сварку 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  $45^\circ$ . Совершая дугообразные колебания, не следует задерживаться на кромках трубы. Прямолинейные колебания с кромки на кромку приводят к увеличению проплавления. Техника и последовательность сварки стыка представлена в таблице 13.

Таблица 13 – Техника сварки

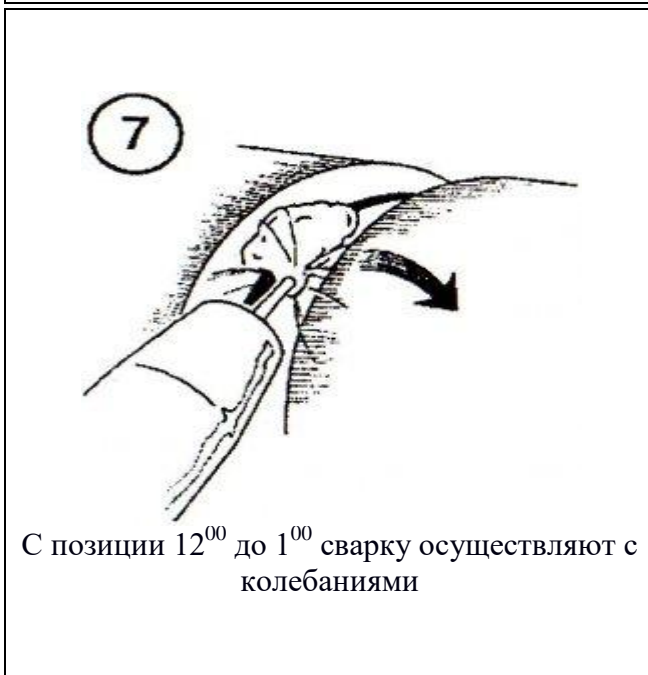




Как только сварочная ванна пересекла зазор стыка, необходимо перенести ее на противоположную кромку



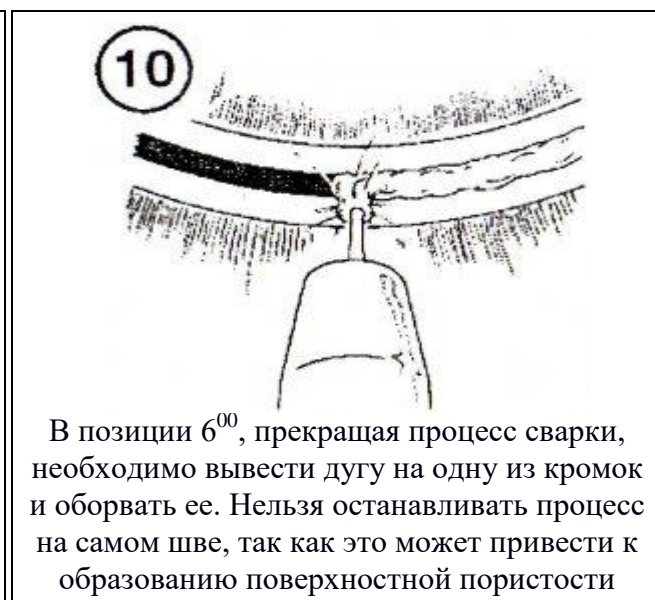
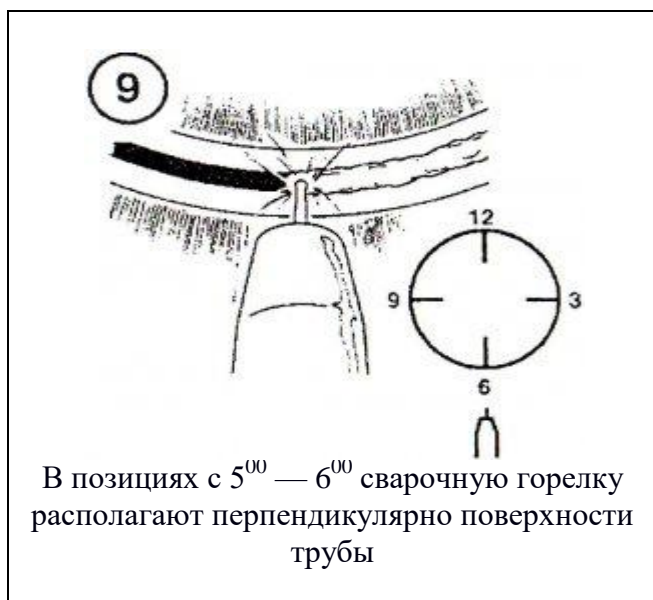
Сварку углом назад на спуск производят с небольшими дугообразными колебаниями с кромки на кромку



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



В позиции  $1^{00}$  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  $6^{00}$  колебания возобновляют



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

После завершения процесса сварки проводится визуальная оценка качества облицовочного слоя. При обнаружении внешних дефектов сварного шва, производится их устранение шлифованием до неразрушающего контроля.

#### **5.4 Сварочные напряжения и деформации, меры борьбы с ними**

При изготовлении сварной конструкции часто в ней возникают различного рода напряжения, которые могут быть значительно выше эксплуатационных, что может привести к недопустимым деформациям и разрушению.

Основными причинами возникновения сварочных деформаций и напряжений является неравномерное нагревание и охлаждение изделия и структурные превращения в металле шва [4].

Неравномерное нагревание и охлаждение вызывают тепловые напряжения и деформации. При сварке происходит местный нагрев небольшого объема металла, который, расширяясь, воздействует на близлежащие менее нагретые слои металла. Чем выше температура нагрева, а также чем больше коэффициент линейного расширения и ниже теплопроводность металла, тем больше тепловые напряжения и деформации развиваются в свариваемом шве.

Возникающие при сварке деформации разделяют на временные, существующие только во время сварки конструкции, и остаточные, остающиеся после завершения сварки и остывания конструкции. Важное значение для практики имеют остаточные сварочные деформации. В зависимости от характера и формы, размеров свариваемых деталей различают деформацию в плоскости и деформацию из плоскости соединяемых элементов. Величина и характер остаточных деформаций в значительной степени определяют толщиной и свойствами основного металла, режимом сварки, последовательностью наложения швов, конструктивными формами свариваемых деталей и формой шва. Изменение размеров и формы сварной конструкции в некоторых случаях снижает ее работоспособность и портит ее внешний вид. Если остаточные деформации достигают заметной величины, то

они могут привести к неисправимому браку. При разработке, технологии сборки и сварки конструкции из данной стали следует учитывать необходимость снижения остаточных деформаций до величины, при которой они не отражаются на работоспособности и внешнем виде конструкции и не затрудняют сварку отдельных элементов [4].

Сварочные напряжения могут быть сняты почти полностью, если в шве и около шовной зоне создать дополнительные пластические деформации. Это достигается проковкой швов. Проковывают каждый слой, за исключением первого, в котором от ударов могут образоваться трещины. Этот прием применяют для снятия напряжений при заварке трещин и замыкающих швов в жестких конструкциях [4].

Для уменьшения возникающих напряжений применяют соответствующий порядок наложения швов.

Порядок заполнения швов имеет большое значение для уменьшения остаточных напряжений и деформаций. Под порядком заполнения швов понимается как порядок заполнения разделки шва по поперечному сечению, так и последовательность сварки по длине шва.

Для уменьшения деформаций и напряжений, которые образуются после сварки, необходимо выполнение следующих условий:

- рациональное конструирование;
- сборка заготовок и назначение их размеров с учётом последующих деформаций и перемещений;
- создание деформаций и перемещений обратных сварочным;
- рациональная последовательность сборочно-сварочных операций;
- снижение погонной энергии сварки;
- уменьшение площади зоны пластических деформаций путём искусственного охлаждения металла в процессе сварки;
- закрепление изделий в приспособлениях.

## 5.5 Технический контроль качества и исправление брака

В процессе изготовления, монтажа и ремонта необходимо осуществлять систематический контроль качества сварочных работ и сварных соединений, предварительный контроль (включая входной контроль), операционный контроль и приемочный контроль сварных соединений.

Для обеспечения требуемого уровня качества необходимо производить [24]:

- проверку квалификации сварщиков;
- контроль исходных материалов, труб;
- систематический операционный (технологический) контроль, осуществляемый в процессе сборки и сварки;
- визуальный контроль (внешний осмотр) и обмер готовых сварных соединений;
- проверку сварных швов неразрушающими методами контроля.

К сварке стыков труб, при использовании дуговых методов сварки, допускаются сварщики, которые окончили окончившие специализированные профессиональные технические училища или курсы. Сварщики должны иметь удостоверения установленной формы, так же должны быть аттестованы для сварки труб, соответствующей группы по диаметру.

Аттестацию и проверку квалификации сварщиков осуществляет постоянно действующая комиссия под председательством главного инженера. В состав комиссии должны быть включены инженерно-технические работники служб сварки, контроля, охраны труда и техники безопасности, а также представители профсоюзной организации [24].

Для проведения сварочных работ на строительстве магистральных и промышленных трубопроводов допускается применение электродов, проволок, защитных газов только тех марок, которые регламентируются требованиями ВСН 012-88 [24].

Все сварочные материалы, поставляемые для проведения работ, должны быть подвергнуты количественному и качественному контролю.



Контроль сварочных материалов, применяемых в процессе сварки, проводят работники службы входного контроля или комиссия. В комиссию входят: представитель отдела снабжения, представитель монтажной организации, сварщик, который выполняет технологические пробы материалов.

При приемке сварочных материалов от поставщиков и установлении качества материалов особое внимание обращают: на наличие сертификатов для каждой партии и марки материала, на целостность упаковки, на состояние электродов и сварочной проволоки.

При сборке соединений под сварку проверяют [24]:

- чистоту полости труб и степень зачистки кромок и прилегающих к ним поверхностей;
- соблюдение допустимой разностенности свариваемых элементов;
- соблюдение допустимой величины смещения наружных кромок свариваемых элементов;
- величину технологических зазоров в стыках;
- длину и количество прихваток.

При необходимости проводят просушку свариваемых кромок и осуществляют предварительный подогрев для сварки.

В процессе сварки осуществляют непрерывный операционный контроль за соблюдением режимов сварки с помощью приборов, установленных на сварочных аппаратах, следят за порядком наложения слоев и их количеством и качеством, следят за временем перерывов между проходами.

Все сварные соединения труб, после завершения сварки, должны быть очищены от шлака, брызг металла, грязи. После этого проводится обмер и визуальный контроль.

При осмотре сварного соединения [24]:

- проверяют наличие на каждом стыке клейма сварщика, выполнявшего сварку. Если сварку одного стыка выполняли несколько сварщиков, то на каждом стыке должно быть проставлено клеймо каждого сварщика в данной бригаде, или одно клеймо, присвоенное всей бригаде;

- проверяют наличие на одном из концов каждой плети ее порядкового номера;

- убеждаются в отсутствии наружных трещин, незаплавленных кратеров и выходящих на поверхность пор.

*Примечание:*

Клеймо сварщика или бригады, а так же порядковый номер плети или секции наносится на трубы электродами с основным видом покрытия при условии, что трубы выполнены из стали с пределом прочности до 55 кгс/мм<sup>2</sup>. Если предел прочности стали превышает 55 кгс/мм<sup>2</sup>, то клеймо наносят только несмываемой краской.

По результатам обмера сварные соединения, выполненные дуговыми методами, должны удовлетворять следующим требованиям [24]:

- величина наружного смещения кромок не должна превышать допустимых значений;

- глубина подрезов не должна превышать допустимых значений;

- усиление внешнего и внутреннего швов должно иметь высоту не менее 1,0 мм и не более 3,0 мм и плавный переход к основному металлу;

- сварной шов облицовочного слоя должен перекрывать основной металл (при сварке проволокой - на 1,5-3,5 мм).

Сварные соединения трубопроводов, выполненные дуговыми методами сварки, которые по результатам визуального контроля и обмера отвечают требованиям предыдущих пунктов, а также требованиям ВСН 012-88 подвергают неразрушающему контролю [24].

Все заключения, результаты работы дефектоскопистов, снимки, отчеты, акты, диаграммы режимов сварки подлежат обязательному хранению до сдачи трубопровода в эксплуатацию.

К проведению технической диагностики методами неразрушающего контроля допускаются только дефектоскописты, которые окончили высшие учебные заведения, специализированные профессиональные технические

училища, техникумы по соответствующему направлению подготовки или курсы для дефектоскопистов. Обязательным является наличие документа об образовании и удостоверения установленной формы.

Дефектоскописты и инженерно-технические работники подразделений контроля должны проходить повторную аттестацию (переаттестацию). Повторная аттестация (переаттестация) проводится [24]:

- периодически, не реже одного раза в 12 мес.;
- при перерыве в работе свыше 6 мес.

В удостоверении должна быть проставлена печать о прохождении аттестации и отмечен допуск к проведению работ.

В зависимости от назначения трубопровода, его диаметра, вида транспортируемой среды и ее давления, категории трубопровода или его участков, определяются проектом и устанавливаются методы и объемы неразрушающего контроля.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате проведенного сравнительного анализа применения технологий механизированной сварки было установлено, что сварка в среде углекислого газа проволокой сплошного сечения является наиболее выгодной с экономической точки зрения. Затраты при данном способе в 2,3 раза меньше, чем при РДС, и в 1,45 меньше в сравнении с СПП. Высокая производительность данного метода позволяет быстро и качественно производить ремонт магистральных трубопроводов при условии:

- ✓ Доступности баллонов с защитным газом (логистика газа);
- ✓ Качества газа (влияние на формирование шва);
- ✓ Наличия дополнительных укрытий.

Если данные условия не могут быть выполнены, то рекомендуется применение самозащитной порошковой проволоки. Процесс сварки самозащитной порошковой проволокой может вестись без использования дополнительных укрытий.

Высокая плотность тока и проплавление, характерные для данного процесса, обеспечивают надежное удаление поверхностных сварочных дефектов, и, следовательно, высокое качество сварного соединения.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Раздел 2

## MIG WELDING SHIELDING GAS BASICS

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ4А	Перфильев Николай Александрович		19.05.16

Консультант – лингвист кафедры ИЯПР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Швагрукова Е.В.	к.ф.н., доцент		19.05.16

## MIG WELDING SHIELDING GAS BASICS

MIG (GMAW) welding with shielding gas and a solid wire electrode produces a clean, slag-free weld without the need to continually stop welding to replace the electrode, as in Stick welding. Increased productivity and reduced clean up are just two of the benefits possible with this process. [47]

To achieve these results in your specific application, however, it helps to understand the role of shielding gas, the different shielding gases available and their unique properties.

The primary purpose of shielding gas is to prevent exposure of the molten weld pool to oxygen, nitrogen and hydrogen contained in the air atmosphere. The reaction of these elements with the weld pool can create a variety of problems, including porosity (holes within the weld bead) and excessive spatter.



*Shielding gas can play a significant role in improving, or impeding welding performance [50]*

Different shielding gases also play an important role in determining weld penetration profiles, arc stability, mechanical properties of the finished weld, the transfer process you use and more.

Choosing MIG gun consumables that provide consistent and smooth shielding gas delivery are also important to making successful MIG welds.

### **Choosing the Right Gas**

Many MIG welding applications lend themselves to a variety of shielding gas choices, and you need to evaluate your welding goals in order to choose the correct one for your specific application. The cost of the gas, finished weld properties, preparation and post-weld clean up, the base material, weld transfer process and your productivity goals all need to be taken into account when selecting a shielding gas.

Argon, Helium, Carbon Dioxide and Oxygen are the four most common shielding gases used in MIG welding, with each providing unique benefits and drawbacks in any given application.



*Porosity, as can be seen on the face and interior of the weld bead, can be caused by inadequate shielding gas and can dramatically weaken the weld. [50]*

For many companies, including those that place an emphasis on weld quality, appearance and reducing post-weld clean up, a mixture of between 75 – 95 percent Argon and 5 – 25 percent CO<sub>2</sub> will provide a more desirable combination of arc

stability, puddle control and reduced spatter than pure CO<sub>2</sub>. This mixture also allows the use of a spray transfer process, which can produce higher productivity rates and more visually appealing welds. Argon also produces a narrower penetration profile, which is useful for fillet and butt welds. If you're welding a non-ferrous metal — aluminum, magnesium or titanium — you'll need to use 100 percent Argon. [50]

Consistent productivity, high quality and low costs are all key components in a successful welding operation. Gaining these advantages depends on everything from the equipment and filler metals to the skill of the welding operators and the techniques being used in the process. The shielding gas also plays a critical role.

Both the gas metal arc welding (GMAW) process (using solid or metal-cored wires) and the gas-shielded flux-cored arc welding (FCAW) process require the use of an external shielding gas, each type of which offers distinct characteristics. Knowing how to select the appropriate one for the application can go far in helping obtain the desired welding performance and minimizing the downtime for rework caused by poor weld quality.

To help, following are some basics of what you should know about shielding gases.

### **Role of shielding gases [48]**

The primary purpose of shielding gas is to protect the molten weld pool against elements in the atmosphere, including oxygen, nitrogen and hydrogen. The reaction of these elements with the weld pool can create a host of problems, including (but not limited to) porosity and excessive spatter.

Shielding gas also plays an important role in determining weld penetration profiles, helping maintain arc stability and achieving the desired mechanical properties in the finished weld. Shielding gas can also affect the transfer of the filler metal from the arc to the weld joint, which in turns contributes to the efficiency of the welding process and the quality of the weld. Other important factors that shielding gas help determine include the weld bead appearance, and weld toughness and strength.



## Selecting the right shielding gas

The four most common shielding gases used in the welding process are carbon dioxide, argon, helium and oxygen. Each has specific characteristics and factors such as cost, available labor (i.e., for weld preparation) and the weld properties desired — all considerations when selecting which shielding gas is best for a given welding application.



Welding gas [50]

*Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>):* This gas is the most common of the reactive gases used in the welding process and also the least expensive of the shielding gases. It is also the only one able to be used without the addition of an inert gas. One of the biggest advantages of pure CO<sub>2</sub> is that it provides deep weld penetration, which is useful when welding thick material. It does, however, tend to create a less stable arc and more spatter than when it is mixed with other gases, including argon. This additional spatter can lead to downtime for post-weld cleaning. Pure CO<sub>2</sub> is also limited to use in short circuit welding processes.

*Argon:* When welding aluminum, magnesium or titanium, it is common to use 100 percent argon as a shielding gas due to its stable arc features. Adding argon to a CO<sub>2</sub> shielding gas is also an option for materials like carbon steel. It provides consistent weld quality and appearance and good weld pool control, and can help

minimize post-weld cleanup. Argon also produces a narrow penetration profile, making it useful for fillet and butt welds.

Typical mixtures include a balance of 75 to 95 percent argon with 25 to 5 percent CO<sub>2</sub>. An argon/CO<sub>2</sub> shielding gas mixture allows the use of a spray transfer process, which lends itself to high productivity rates and visually appealing welds.

*Helium:* Helium is generally used when welding non-ferrous metals. It is also used in a tri-mix formula of argon and CO<sub>2</sub> for welding stainless steels. The gas produces a wide, deep penetration profile, making it suitable for welding thick materials, and also creates a hot arc, which helps increase travel speeds and productivity rates. Helium is typically used in ratios of 25 to 75 percent helium with an appropriate balance of argon. Adjusting these ratios changes the weld penetration, bead profile and travel speeds.

It's important to note that helium is more expensive than other gases and requires a higher flow rate than argon (because it is so light). For this reason, it's imperative that companies calculate the value of the productivity increase against the increased cost of this gas.

*Oxygen:* Oxygen is a reactive gas typically used in ratios of 9 percent or less. The addition of the gas to a mixture with argon helps to improve weld pool fluidity, weld penetration and arc stability, particularly when welding carbon, low alloy and stainless steels. Because the gas causes oxidation of the weld metal, it is not recommended for use with aluminum, magnesium, copper or other exotic metals.

### **Tips for getting the most out of shielding gas**

To achieve the best results out of a chosen shielding gas, it's important to select the proper front-end consumables. These consumables — the gas diffuser, contact tip and nozzle — play a critical role in delivering the shielding gas to the weld pool and also protecting it from the atmosphere. Consider these tips to help with the selection. [50]

1. Choose consumables that have a smooth surface to help resist spatter build-up that could block shielding gas flow and lead to issues, such as porosity.

2. Choose an appropriate size nozzle for the application. A nozzle that is too narrow for the application can easily become clogged with spatter, again, hindering its ability to deliver enough shielding gas to the weld pool to protect it.

3. Consider using nozzles with a built-in spatter guard. These designs add a second phase of shielding gas diffusion, resulting in even smoother, more consistent shielding gas flow.

4. Be certain to select quality gas diffusers to ensure smooth and balanced gas flow. Consult with a trusted welding distributor for recommendations.

### **Getting the Gas to the Weld Pool**

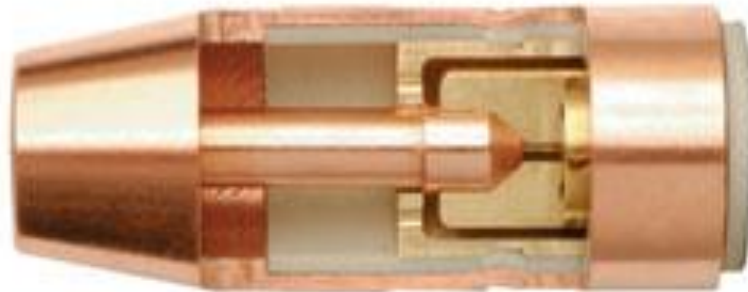
All of your efforts selecting the right shielding gas will be wasted, however, if your equipment isn't getting the gas to the weld. The MIG gun consumables, consisting of a diffuser, contact tip and nozzle, play a crucial role in ensuring that the weld pool is properly protected from the air atmosphere.



*This graphic shows the difference that consumables can make in shielding gas coverage. The photo on the left shows good coverage, while the coverage in the photo on the right allows the air environment contaminate the shielding gas. [50]*

If you choose a nozzle that is too narrow for the application or if the diffuser becomes clogged with spatter, for example, there might be too little shielding gas getting to the weld pool. Likewise, a poorly designed diffuser might not channel the shielding gas properly, resulting in turbulent, unbalanced gas flow. Both scenarios

can allow pockets of air into the shielding gas and lead to excessive spatter, porosity and weld contamination.



*This cutaway shows a consumable system in which the contact tip is seated in the diffuser and held in place by the spatter guard inside the nozzle[50]*

When selecting MIG gun consumables, choose ones that resist spatter build up and provide a wide enough nozzle bore to ensure adequate shielding gas coverage. Some companies offer nozzles with a built in spatter guard that also adds a second phase of shielding gas diffusion, resulting in even smoother, more consistent shielding gas flow.

Choosing the right shielding gas for your specific application will require a careful analysis of the type of welding you are doing as well as your operational priorities. Using the guidelines above should provide a good start to the learning process, but be sure to consult your local welding supply distributor prior to making a final decision.

### **Equipment for GMAW**

It might at times seem like alchemy, but in fact there is nothing mysterious or magical about making a good GMAW weld. A good weld is the result of properly functioning equipment, good technique and the correct equipment settings for the

application at hand. Like a tripod, if any of these three elements are not in place, the result will almost certainly be a poor weld.

On the equipment side, the MIG gun and consumables are often overlooked as a critical element in the process of producing a high quality weld. However, being the most handled pieces of equipment and the closest to the point of the arc, the gun and consumables are exposed to continual mechanical and heat stress.

Two critical elements to ensure the gun and consumables do not interfere with your ability to produce high quality GMAW welds are proper gun maintenance and correctly troubleshooting problems when they arise.



*Successful GMAW welds rely on a combination of good technique, properly functioning equipment and the correct electrical parameters[50]*

### **Maintaining Equipment**

Thankfully, GMAW guns and consumables don't require a lot of time consuming maintenance and upkeep. Nevertheless, failing to spend a small amount of time maintaining your equipment could result in spending a significant amount of time reworking bad welds. [50]

The majority of gun and consumables maintenance simply involves checking the visible components of the equipment for problems. This includes for looking loose fittings, damaged cables, clogged diffuser ports and the like.

Below is a component-by-component guide to minimize downtime for reworking bad welds.

*Feeder Connection* — The feeder connection, which carries the electrical current and gas from the wire feeder to the gun, should be tight fitting and free of excessive dirt and debris. The O-rings that ensure the shielding gas flows into the gun cable and nowhere else, should be in good working order, ie: not dry, cracked or otherwise damaged.

If the feeder connection is loose and cannot be properly tightened, it will likely need to be replaced. The same goes for damaged O-rings. A dirty direct plug usually can be cleaned with an electrical contact cleaner.

*Cable* — Cable maintenance involves little more than inspecting it on a daily basis to ensure there are no cuts, kinks or other damage that could interfere with weld quality and also cause a safety hazard.

Avoid problems such as porosity, an erratic arc and damage to the copper cable stranding by keeping the cable from bending at too severe of an angle.

*Liner* — Accessing the liner can be very time consuming, so you should limit routine maintenance activity to periods when the liner is easily reached, such as during wire changeovers or when the gun is disconnected from the feeder. You can clear out any built up debris, including metal filings from the welding wire, by using compressed air during these changeover times.

*Handle and Trigger* — Daily visual inspection should be conducted to ensure there are no missing screws or other damage to the handle and that the trigger is not malfunctioning. These items should be replaced as necessary if they are found to be damaged.

*Neck* — The neck connections, and the insulators that separate electrically live components from neutral components, should be checked on a regular basis as both a safety and weld quality measure.

Loose neck connections should be tightened or, if damaged, replaced. You should also check that the insulators are in place at either end of the neck and that they are undamaged.



*Proper GMAW gun maintenance and troubleshooting are essential to maintaining productivity and avoiding unnecessary downtime[50]*

*Consumables* — Consisting of the diffuser, nozzle and contact tip, the consumables require regular replacement simply by virtue of their role in the welding process and proximity to the arc. Extending the life of the consumables is relatively easy, however, and you can save a significant amount of downtime and equipment costs through some simple maintenance steps.

Multiple times daily, use a welding pliers or reamer to clear out any spatter or other debris that could clog the nozzle and diffuser, being careful not to damage these parts in the process.

Also, you should check the O-rings on the diffuser, the connections between the diffuser, neck and contact tip, the nozzle insulator and the contact tip on a daily basis. Loose connections can usually be tightened, but you should replace these components if any other types of damage appear.

### **Troubleshooting**

Of course, no amount of preventive maintenance will be able to stop every problem from occurring. So, when a problem does arise, it's important to be able to identify and correct its cause.

Often, the same problem, such as erratic wire feeding, can have more than one cause. In these cases, it's usually a good idea to conduct the troubleshooting effort by working from the easiest component to check to the most difficult.

For example, both the liner and the contact tip can be the source of erratic wire feeding. The liner takes approximately 20 times longer than the contact tip to check, so it makes sense to begin with the contact tip and only check the liner if necessary.

Below are a few of the most common problems that occur as a result of gun and consumables malfunction.

*Wire does not feed* — If your wire is not feeding at all, it is most likely being caused by a faulty feeder relay, control lead, adapter connection, liner or trigger switch.

If the drive rolls are not turning when the gun trigger is pulled, it is either because an electrical continuity failure is occurring at the gun connection or the trigger is not functioning properly. Repair or replace any of these items discovered to be the cause of the problem.

If the drive rolls turn, but the wire is not feeding, there may be inadequate drive roll pressure or a blockage in the contact tip or liner. As mentioned earlier, check the contact tip and drive rolls before proceeding to the liner.

Consult the manufacturer of your wire feeder if the feeder relay turns out to be the cause of the problem.



*Contact tip burn back* — Contact tip burnback, when the wire fuses with the contact tip, occurs occasionally as a normal part of welding. If you are noticing an increase in burnback frequency, it could be a result of using the wrong contact tip recess, holding the gun too close to the workpiece or a faulty work lead.

If you have not changed your welding parameters, shielding gas and base metal, then it's unlikely the contact tip recess is the cause of the problem. Additionally, if those variables are the same and you are confident you are not welding any closer to the material than normal, it may be time to consider the work lead as the cause of the burnback. Repair or replace a faulty work lead as necessary.

A final cause of increased burnback, erratic wire feeding, is discussed below.

*Erratic wire feeding* — If the wire is not feeding from the gun at a consistent rate, it is most likely being caused by the liner, drive rolls or contact tip.

Begin troubleshooting an erratically feeding wire by ensuring the contact tip is the correct size for the wire being used, and that it is not damaged from excessive wear by the wire or from heat exposure from the arc.

If the contact tip is worn out from excessive wear, it could be a result of the drive rolls causing small deformities in the wire. After replacing the contact tip, be sure to check for burrs or other abnormalities along the length of the wire and adjust or replace the drive rolls as necessary. Drive rolls that are improperly tensioned, either too tight or too loose, can also lead to erratic wire feeding.



*As seen, GMAW gun consumables are exposed to a lot of abuse during the normal course of welding. Regularly maintaining these products can extend their life and increase a company's productivity[50]*

*Erratic arc* — Interruptions in electrical conductivity are often the primary cause of an erratic arc. These are commonly caused by the wire maintaining only intermittent contact with a worn out contact tip instead of the constant contact required for a consistent arc. Simply replace the worn out contact tip with a correctly sized new one if this proves to be the case.

Other possible causes of an erratic arc, all of which relate to inconsistent electrical conductivity, are a neck that is too straight, a worn or kinked liner, debris built up inside the liner, an improperly trimmed liner and a faulty work lead connection.

*Porosity* — Holes in the weld bead, called porosity, are almost always caused by problems with the shielding gas coverage. This can be caused by excessive wind blowing the shielding gas away, worn out or damaged diffusers, insulators, o-rings and fittings, a ruptured gas hose, too much or too little gas flow or a faulty solenoid.

If porosity occurs without any changes to your work environment and equipment set-up, troubleshoot the problem by checking all of the above mentioned components and replacing as necessary.

Good GMAW welds are not a product of luck, and poor welds can usually be attributed to operator technique, equipment malfunction or incorrect electrical parameters. Following these maintenance and troubleshooting tips won't ensure excellent GMAW welds, but it will guarantee that your gun and consumables are not the cause of any problems that arise.

## **Conclusion**

### MIG advantages

1. High productivity, because you don't have to stop to change rods or chip and brush the weld frequently.
2. Easy to learn and makes great-looking welds.
3. Almost no cleanup.
4. Can weld on stainless, mild steel, and aluminum.
5. Can weld in all positions.

### MIG disadvantages

1. Requires a cumbersome bottle of shielding gas.
2. Costs money for consumables, such as tips and nozzles.
3. Isn't worth a dang on paint, rust, or dirty surfaces.
4. Not good for thick steel, because it doesn't get the proper penetration.

The applications of shielding gases are limited primarily by the cost of the gas, the cost of the equipment, and by the location of the welding. Some shielding gases, like argon, are expensive, limiting its use. The equipment used for the delivery of the gas is also an added cost, and as a result, processes like shielded metal arc welding, which require less expensive equipment, might be preferred in certain situations. Finally, because atmospheric movements can cause the dispersion of the shielding gas around the weld, welding processes that require shielding gases are often only

done indoors, where the environment is stable and atmospheric gases can be effectively prevented from entering the weld area.[49]

The desirable rate of gas flow depends primarily on weld geometry, speed, current, the type of gas, and the metal transfer mode being utilized. Welding flat surfaces requires higher flow than welding grooved materials, since the gas is dispersed more quickly. Faster welding speeds, in general, mean that more gas needs to be supplied to provide adequate coverage. Additionally, higher current requires greater flow, and generally, more helium is required to provide adequate coverage than argon. Perhaps most importantly, the four primary variations of GMAW have differing shielding gas flow requirements—for the small weld pools of the short circuiting and pulsed spray modes, about 10 L/min (20 ft<sup>3</sup>/h) is generally suitable, while for globular transfer, around 15 L/min (30 ft<sup>3</sup>/h) is preferred. The spray transfer variation normally requires more because of its higher heat input and thus larger weld pool; along the lines of 20–25 L/min (40–50 ft<sup>3</sup>/h). [49]