

Аннотация

При строительстве паропроводов широкое применение получила ручная дуговая сварка покрытыми электродами, при этом стык труб выполняется с использованием остающихся подкладных колец. Недостатками такого подхода к выполнению работ при строительстве паропроводов является существенное снижение производительности выполнения работ по сравнению с более перспективными способами сварки (механизованная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, механизированная сварка в защитных газах порошковой проволокой и сварка самозащитной порошковой проволокой).

Цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности сварочных работ при строительстве паропровода перегретого пара.

В ходе выполнения работы решены следующие задачи:

- обосновать замену ручной дуговой сварки паропровода на более производительный и обеспечивающий большую стабильность качества;
- повысить эффективность предложенного способа сварки применительно к рассматриваемому случаю сварки паропровода;
- назначить параметры режима и сварочные материалы;
- составить карту технологического процесса сварки паропровода.

Была составлена проектная технология сварки паропровода, назначены параметры режима сварки и применяемое оборудование.

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 0,6 млн. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,2 года.

Содержание

Введение	5
1 Современное состояние сварки паропроводов.	7
1.1 Сведения о конструкции изделия и условиях его работы.	7
1.2 Сведения о материале паропровода.	10
1.3 Сведения о базовой технологии сварки паропровода.	13
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы	22
2 Проектная технология сварки паропровода перегретого пара.	24
2.1 Обоснование выбора способа сварки	24
2.2 Требования к квалификации персонала.	27
2.3 Проверка состояния оборудования для сварки, термообработки и дефектоскопии.	29
2.4 Входной контроль основных материалов.	30
2.5 Входной контроль сварочных материалов	30
2.6 Подготовка труб к сварке.	34
2.7 Выполнение прихваток	34
2.8 Сварка корневого слоя шва	37
2.9. Заполнение разделки	39
3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса	42
3.1 Технологическая характеристика объекта	42
3.2 Идентификация профессиональных рисков	44
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков	46
3.4 Обеспечение пожарной безопасности	48
3.5 Обеспечение экологической	50
4 Оценка экономической эффективности проектной технологии.	52
4.1 Исходная информация для выполнения экономической оценки предлагаемых технических решений	52

4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования	54
4.3 Расчет штучного времени	55
4.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии	57
4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии.	62
4.6 Показатели экономической эффективности.	64
Заключение	67
Список используемой литературы и используемых источников	68

Введение

Конкурентоспособность российских товаров на мировом и внутреннем рынке в значительной мере зависит от тарифов на энергоносители, поэтому рост экономики возможен только в условиях повышения энергоэффективности российского хозяйства [15]. Повышение эффективности производства энергии для нужд промышленности и ЖКХ возможно при условии применения комбинированных источников энергии, предполагающих одновременное производство тепла и электрической энергии. Такой вид энергоустановок позволяет существенно снизить удельные затраты по сравнению с энергоустановками раздельного типа.

Комбинированной энергоустановкой, широко применяющейся в КНР, Чехии и Российской Федерации, является теплофикационная турбина низкого давления, которая находит всё более широкое применение в странах ближнего и дальнего зарубежья [14]. Теплофикационная турбина предполагает наличие первичного парового двигателя, который осуществляет преобразование энергии пара в механическую энергию. Вращение ротора происходит под действием перегретого пара, который через трубопровод поступает на криволинейные лопатки и приводит ротора. Главным составляющим элементом такой турбины является трубопровод перегретого пара, который включает в себя линейную часть (трубы), соединительные элементы (тройники, колена, фланцы, отводы), опоры и подвески, дренажные устройства, запорную и регулируемую арматуру, компенсаторы теплового удлинения [12].

Требования к паропроводам турбин сформулированы в нормативной документации и научных публикациях [4], [12]. Во-первых, паропровод должен обладать максимальной «живучестью» и надёжностью. Во-вторых, для изготовления паропровода следует применять только те материалы, которые соответствуют условиям работы (повышенная температура и давление). В-третьих, необходимо выполнение компенсаторов для того,

чтобы избежать повреждения паропровода при его расширении от нагрева. В-четвёртых, при строительстве паропровода следует обеспечить наименьшее сопротивление течению пара. В-пятых, для защиты персонала от ожогов и уменьшения тепловых потерь в окружающее пространство следует применять изоляционные покрытия трубопроводов.

При строительстве паропроводов широкое применение получила ручная дуговая сварка покрытыми электродами, при этом стык труб выполняется с использованием остающихся подкладных колец [23], [30], [38]. Недостатками такого подхода к выполнению работ при строительстве паропроводов является существенное снижение производительности выполнения работ по сравнению с более перспективными способами сварки (механизованная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, механизированная сварка в защитных газах порошковой проволокой и сварка самозащитной порошковой проволокой). Также следует учитывать, что остающееся подкладное кольцо становится концентратором напряжений при эксплуатации паропровода и существенно повышает вероятность аварии при отрыве подкладного кольца [2], [25], [33], [34]. Наличие остающегося подкладного кольца вызывает ускоренное образование усталостных трещин в соединении [2], [12], [25].

Повышение эффективности строительства паропроводов перегретого пара заставляет искать более эффективные способы сварки, позволяющие повысить производительность выполнения работ на паропроводе. Также необходимо повышение стабильности качества и бездефектности сварных соединений труб, что положительно скажется на ресурсе паропровода. При проектировании технологии выполнения сварных стыков предпочтение следует отдавать соединениям и способам, не требующим применения остающегося подкладного кольца.

На основании вышеизложенного следует признать актуальной целью выпускной квалификационной работы – повышение эффективности сварочных работ при строительстве паропровода перегретого пара.

1 Современное состояние сварки паропроводов

1.1 Сведения о конструкции изделия и условиях его работы

Современная теплофикационная турбина, представленная на рисунке 1, является одновальным агрегатом, схема которого включает в себя сети низкого, среднего и высокого давления, отбор пара выполняется из двух узлов – верхнего и нижнего [12], [36], [20]. Полная длина агрегата равна 28,0 метров, длина самой турбины составляет 18,57 метра, а длина валоповоротного устройства – 3,35 метра. Масса агрегата составляет 400 тонн.



Рисунок 1 – Теплофикационная турбина

Работа теплофикационной турбины происходит в соответствии с принципиальной схемой, представленной на рисунке 2. Из котельного агрегата 1 на рабочие лопатки турбины 3 через паропровод 2 подаётся перегретый пар. В процессе расширения и остывания происходит преобразование энергии пара в механическую энергию вращения ротора турбины. Ротор турбины имеет соединение с валом 4 электрического генератора 5. Сетевая вода 7 в подогревателе 6 нагревается от пара, выходящего из цилиндров среднего давления.

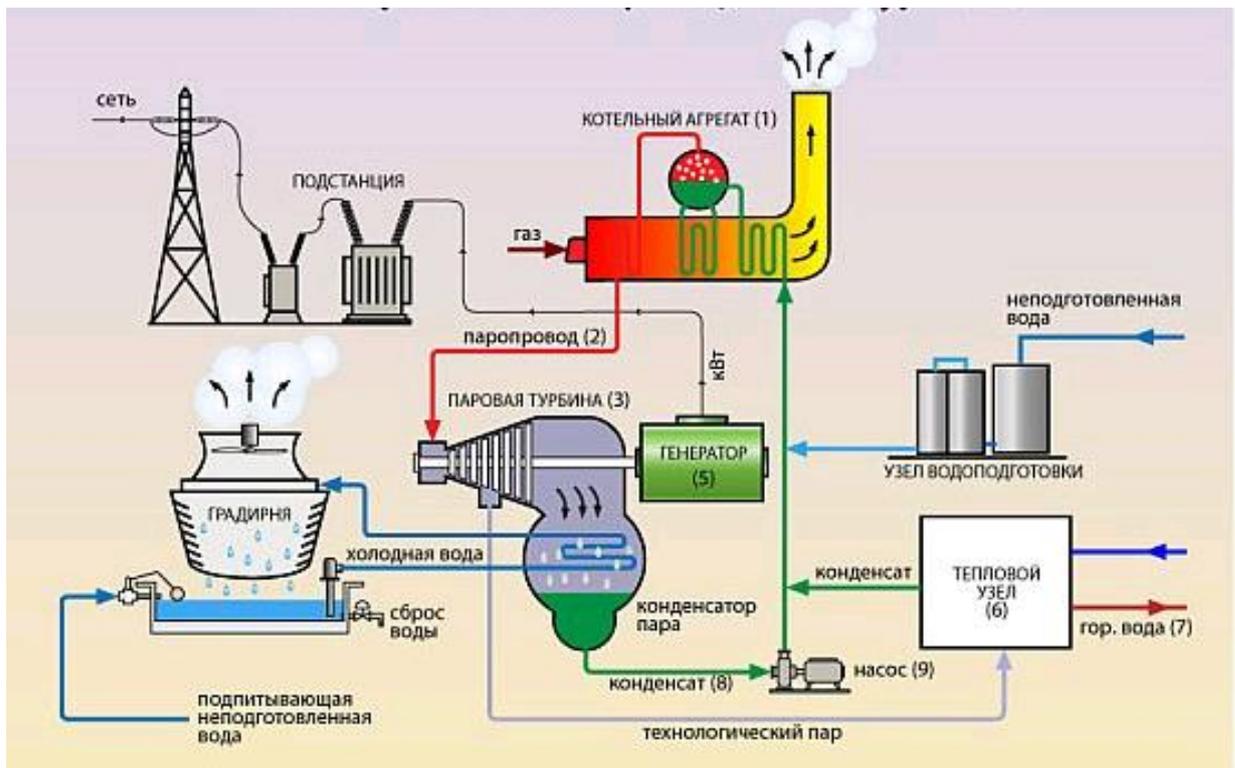


Рисунок 2 – Схема работы теплофикационной турбины

После этого отработанный пар конденсируется в конденсаторе и по трубопроводу 8 при помощи насоса 9 подаётся в котельный агрегат для повторного нагрева. Таким образом, теплофикационная турбина позволяет получать электрическую энергию от перегретого пара, вращающего ротор турбины, и тепловую энергию от остывшего пара, используемую для нагрева сетевой воды.

Для подачи пара от парового котла к устройствам теплофикационной турбины служит паропровод перегретого пара, который включает в себя несколько систем, представленных на рисунке 3:

- главный паропровод,
- вспомогательный паропровод перегретого пара,
- вспомогательный паропровод насыщенного пара.

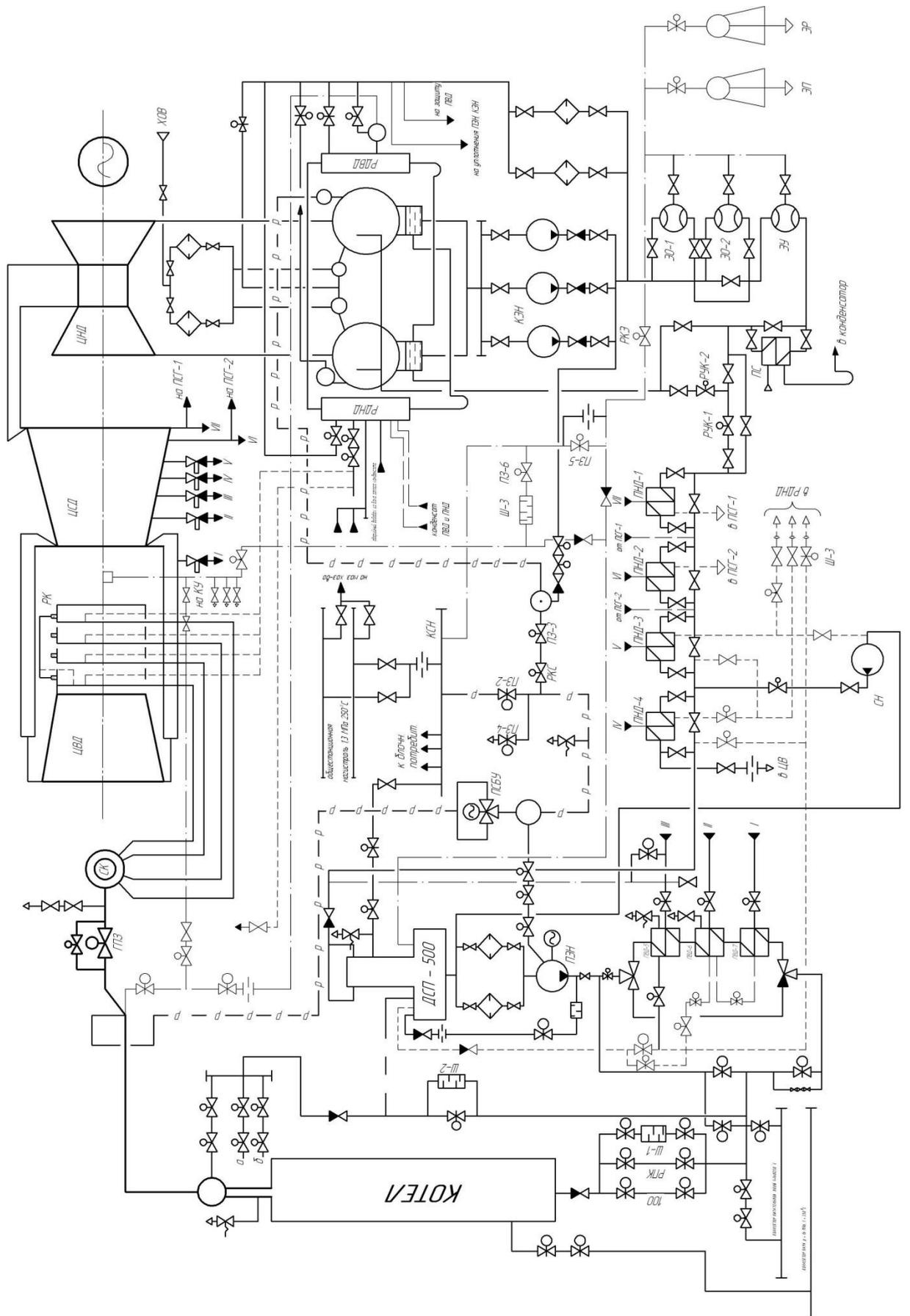


Рисунок 3 – Тепловая схема турбины

При помощи главного паропровода, имеющего диаметр 377 мм и толщину стенки 50 мм, перегретый пар от котла подводится к турбине. При помощи вспомогательного паропровода перегретого пара, имеющего диаметр 377 мм и толщину стенки 50 мм, перегретый пар из главного паропровода подводится к вспомогательным механизмам. При помощи вспомогательного паропровода насыщенного пара, имеющего диаметр 273 мм и толщину стенки 36 мм, насыщенный пар поступает к теплообменным аппаратам.

1.2 Сведения о материале паропровода

Паропровод перегретого пара выполняется из жаропрочной низколегированной стали 15X1M1Ф, которая нашла применение при изготовлении коллекторов высокого давления, труб пароперегревателей и паропроводов. Конструкции, выполненные из стали 15X1M1Ф могут длительное время работать при температурах до 585 °С. Химический состав стали 15X1M1Ф представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в стали 15X1M1Ф

C	Si	Mn	Cr	Mo	V	S	P	Cu
0,1...0,16	0,17...0,37	0,4...0,7	1,1...1,4	0,9...1,1	0,20...0,35	< 0,025	< 0,025	< 0,25

Сталь 15X1M1Ф обладает значительным сопротивлением ползучести, сохраняет свои свойства при длительном нагреве до высоких температур. Эта сталь применяется при изготовлении установок энергетики и нефтехимии [3], [12], [31].

Жаростойкость стали повышается благодаря хрому, который увеличивает сопротивляемость окислению при высоких температурах, препятствует графитизации. Совместное действие хрома и молибдена приводит к дополнительному повышению длительной прочности и сопротивления ползучести. Также молибден образует в стали упрочняющую

структуру Лавеса – интерметаллид типа Fe_2Mo . Содержание ванадия позволяет повысить прочность стали, так как ванадий совместно с углеродом образует высокодисперсные карбиды типа «V-C».

Основной проблемой при сварке и эксплуатации конструкций из стали 15X1M1Ф является трещины [25]. При сварке возникают кристаллизационные (горячие) трещины и холодные трещины. В случае проведения неправильного отпуска стали после сварки в ней также могут возникать трещины. В процессе эксплуатации в стали возникают усталостные трещины. Ударное нагружение также может привести к возникновению трещин.

Кристаллизационные (горячие трещины), внешний вид которых представлен на рисунке 4-а, представляют собой хрупкие разрушения, произошедшие между кристаллами металла шва и околошовной зоны. Образование этих трещин происходит в твёрдожидком состоянии, поэтому они имеют извилистую форму и зазубренные края, так как распространяются по границам зёрен. На изломе кристаллизационные трещины тёмного цвета, так как сильно окислены. Формирование кристаллизационных трещин происходит под воздействием двух факторов – деформации укорочения и жидкими прослойками между зёрнами. Образование кристаллизационных трещин происходит по причине отступления от рекомендуемого режима сварки, применения некачественных или несоответствующих сварочных материалов (недостаточное содержание марганца, повышенное содержание серы).

Возникновение холодных трещин, представленных на рисунке 4-б, может происходить как в процессе сварки, так и после сварки. Холодные трещины проходят через зерна металла, располагаются в металле сварного шва или зоне термического влияния. Причиной возникновения холодных трещин является недостаточная температура предварительного подогрева и недостаточная прокатка электродов перед сваркой. При сварке

толстостенных конструкций вероятность появления холодных трещин существенно возрастает.

При некачественно проведенном отпуске после сварки повышается вероятность образования трещин в зоне термического влияния на расстоянии до 1 мм от линии сплавления, как показано на рисунке 5. Такие трещины могут отклоняться и переходить в металл шва или в основной металл трубы. Такие трещины возникают по причине недостаточной температуры отпуска или малой скорости нагрева при отпуске. Склонность к образованиям подобных трещин повышается при недостаточном тепловложении при сварке.

Расположение усталостных трещин, внешний вид которых представлен на рисунке 6, преимущественно в зоне концентратора напряжений, в качестве которого могут выступать приварные кольца и угловые соединения. В зависимости от напряжений, под действием которых образовались усталостные трещины, различают трещины в виде полости и в виде нити. Усталостные трещины образуются в результате комбинированного действия циклического нагружения при пуске-остановке и коррозионного действия среды.

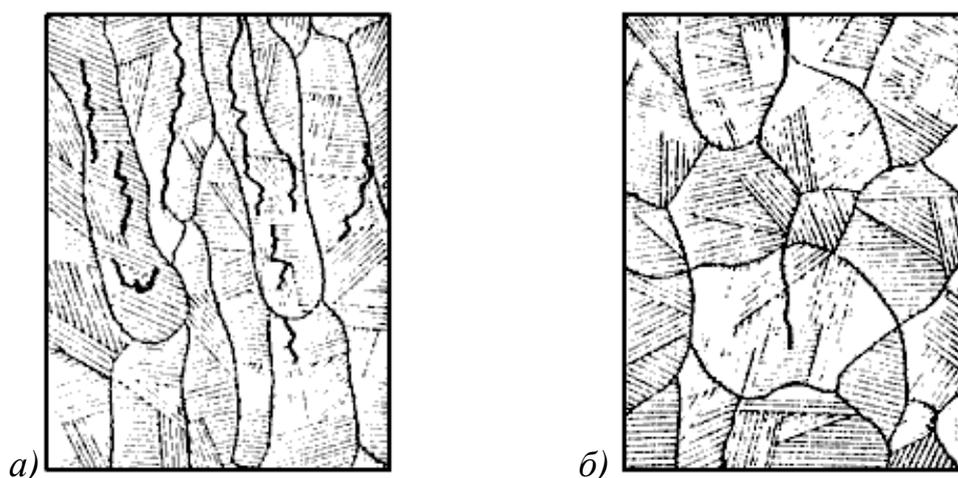


Рисунок 4 – Кристаллизационные (а) и холодные (б) трещины при сварке стали 15X1M1Ф

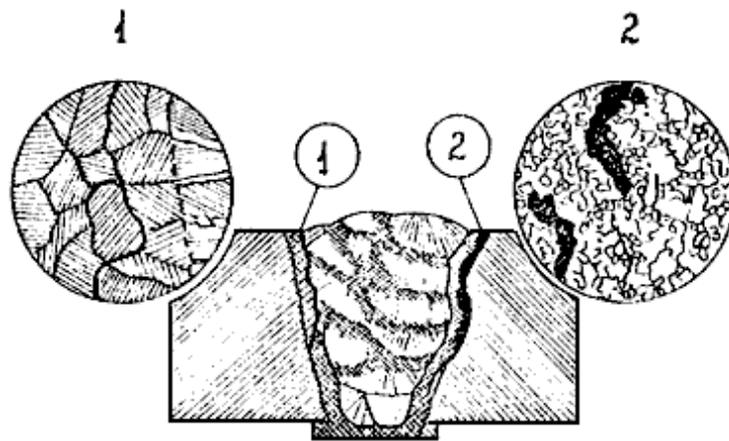


Рисунок 5 – Трещины, обусловленные некачественным отпуском после сварки (1) и длительной статической перегрузкой (2)

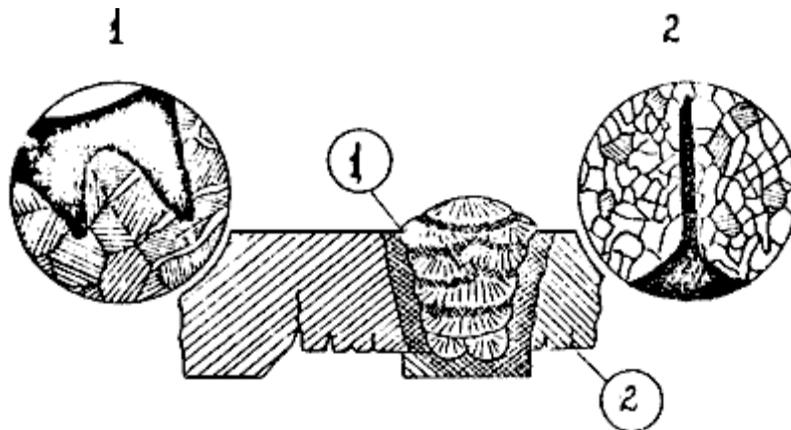


Рисунок 6 – Усталостные трещины в виде полости (1) и нитевидные (2)

1.3 Сведения о базовой технологии сварки паропровода

До начала сборки мастером проверяется наличие клейм, маркировки, а также сертификатов завода-изготовителя, подтверждающих соответствие блоков, труб и деталей их назначению на всех поступающих на монтажную площадку блоках, трубах и деталях. При отсутствии клейм, маркировки или сертификатов блоки, трубы и детали к дальнейшей обработке не допускаются.

По результатам проверки кривизны труб допускается искривление не более 4 мм на один погонный метр, при этом на всю длину трубы допускается искривление не более 15 мм.

Резку труб выполняют при помощи труборезов. Для диаметра 377 мм применяется труборез 2Т-377, а для диаметра 273 мм – труборез 2Т-299М.

Перед сборкой следует проверка перпендикулярность оси торцев фасонных деталей и труб, как показано на рисунке 7, которая выполняется при помощи угольника. Отклонение a от перпендикулярности для рассматриваемых заготовок диаметром 273 мм и 377 мм должно составлять не более 2 мм.

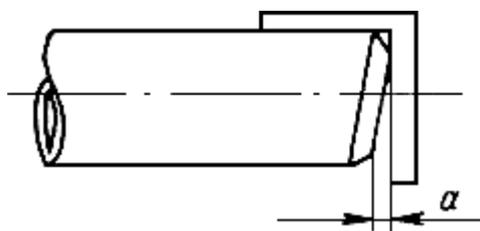


Рисунок 7 – Способ замера перекоса торца трубы угольником

Кромки труб разделяют механическим способом, подготавливая соединение С; согласно ОСТ 108.940.02-82 или Тр-3 согласно РД 153-34.1-003-01, как показано на рисунке 8. Прилегающую к кромкам поверхность следует зачистить до металлического блеска с применением абразивного инструмента.

Обработку кромок труб под сварку следует производить механическим способом (резцом, фрезой или абразивным кругом) с помощью трубрезного станка либо шлифмашинки. Шероховатость поверхности кромок труб, подготовленных для сварки, не должна превышать норм, приведенных на рисунке 9.

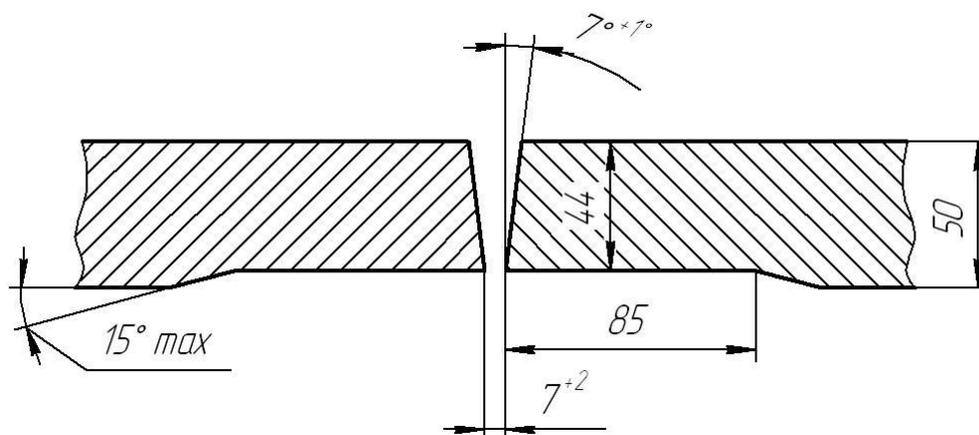


Рисунок 8 – Подготовка торцев труб диаметром 377 мм толщиной стенки 50 мм С4 (по ОСТ 108.940.02-82)

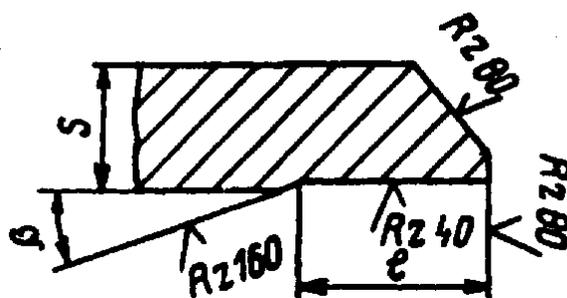


Рисунок 9 – Конструктивные размеры кромки трубы, обработанной под подкладное кольцо

Все местные уступы и неровности, имеющиеся на кромках собираемых труб и препятствующие их соединению в соответствии с требованиями чертежей или настоящего РД, следует до сборки устранить с помощью абразивного круга или напильника, не допуская острых углов и резких переходов.

Непосредственно перед сборкой изготовленные под сварку кромки и прилегающие к ним участки поверхностей деталей зачищают до металлического блеска и обезжирены. Ширина зачищенных участков, считая от кромки разделки, должна быть не менее 20 мм с наружной и не менее 10 мм с внутренней стороны детали.

При сборке стыка применяется сборочное приспособление, представленной на рисунке 10, которое обеспечивает соосность труб при стыковке. Зазор между кольцом и внутренней поверхностью трубного элемента должен быть не более 1 мм. После сборки стыка следует выполнить проверку на отсутствие перелома. Для этого применяют линейку длиной 400 мм, которую в трёх местах по окружности трубы прикладывают к поверхности и замеряют просвет, величина которого не должна быть более 2 мм, как показано на рисунке 11.

За качество сборки стыков отвечает производитель сборочных работ (мастер, бригадир, звеньевой). Перед прихваткой и началом сварки качество сборки стыка должен проверить сварщик.

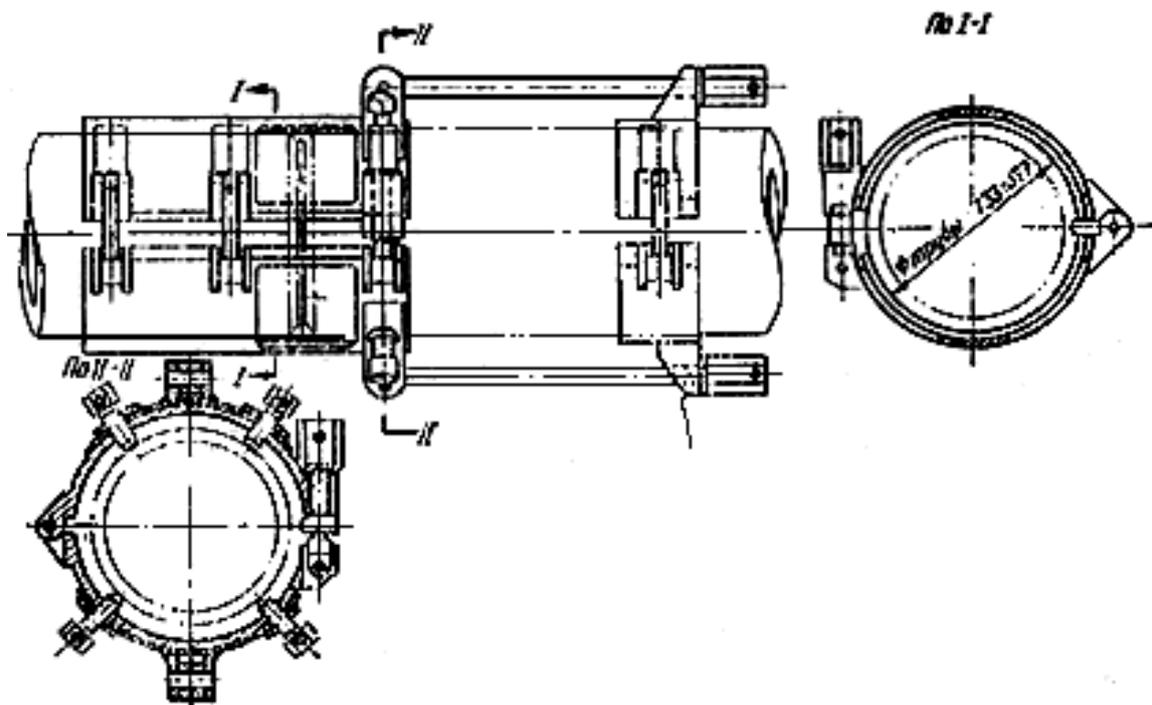


Рисунок 10 – Приспособление хомутового типа для центровки труб из низколегированных сталей диаметром 133...377 мм

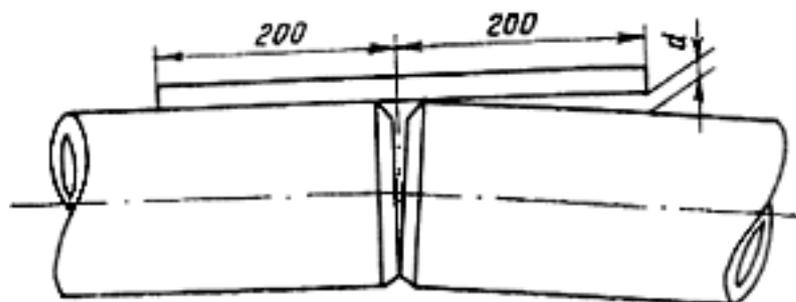


Рисунок 11 – Проверка прямолинейности собранного стыка

При сборке стыков трубопроводов с подкладным кольцом его прихватку и приварку должен выполнять сварщик, который в дальнейшем будет сваривать этот стык, или сварщик, имеющий удостоверение на право сварки подобных стыков. В собранном стыке не должно быть перекоса подкладного кольца.

Материал подкладного кольца: 12МХ, 15ХМ или 12Х1МФ Размеры подкладного кольца: ширина 20...25 мм, толщина 3...4 мм.

Последовательность сборки стыка с подкладным кольцом такова:

- устанавливают подкладное кольцо в одну из труб с зазором между кольцом и внутренней поверхностью трубы не более 1 мм;
- производят предварительный подогрев конца трубы и подкладного кольца;
- подкладное кольцо должно заходить в трубу примерно на величину 1/3 его ширины; производят прихватку кольца с наружной стороны трубы в двух диаметрально противоположных местах; длина прихватки 20...40 мм, высота прихватки не более 3 мм. Прихватки выполнять с полным проваром и, по возможности, переваривать при наложении основного шва;
- выполняют приварку кольца к трубе ниточным швом катетом не более 4 мм, согласно рисунку 12-а;
- механическим способом зачищают ниточный шов от шлака и брызг;
- надвигают на выступающую часть подкладного кольца вторую трубу;
- зазор между ниточным швом и второй трубой должен быть 4...5 мм; проверяют правильность сборки стыка;
- приваривают подкладное кольцо ко второй трубе согласно рисунку 12-б.

Перед сваркой выполняют прогрев стыка с применением газопламенных резаков, который ведут равномерно по всему стыку, разогревая его на ширину 50...70 мм с каждой стороны. Температура предварительного подогрева, контролируемая при помощи контактного термометра, составляет 300...350 °С

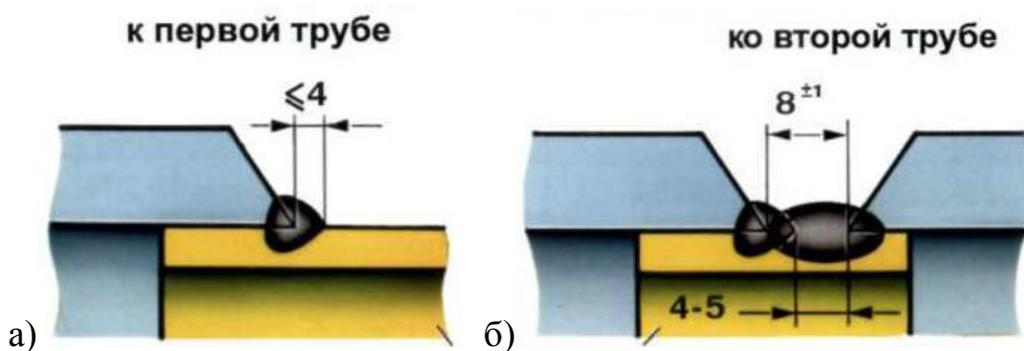


Рисунок 12 – Приварка подкладного кольца к первой (а) и второй (б) трубам

Сварку стыков труб следует выполнять сразу после прихватки. Непосредственно перед сваркой необходимо проверить состояние поверхности стыка и в случае необходимости зачистить его.

При сварке следует поддерживать короткую дугу – длиной не более величины диаметра электрода. В процессе сварки необходимо как можно реже обрывать дугу. Перед гашением дуги сварщик должен заполнить кратер путем постепенного отвода электрода и вывода дуги назад на 15...20 мм на только что наложенный шов. Последующее зажигание дуги производится на кромке трубы или на металле шва на расстоянии 20...25 мм от кратера.

Во избежание зашлаковки металла шва около кромок труб следует наплавлять возможно более плоский валик.

В процессе сварки должны быть обеспечены полный провар корня шва и заделка кратера. По окончании наплавки каждого валика необходимо полностью удалить шлак после его охлаждения (потемнения). При обнаружении на поверхности шва дефектов (трещин, скоплений пор и т.п.) дефектное место следует удалить механическим способом до «здорового» металла и при необходимости заварить вновь. Величина перекрытия мест начала и окончания каждого валика должна составлять 12...18 мм.

При выполнении вертикального стыка толщина валиков должна быть 5...8 мм, ширина шва – не более 35 мм.

При выполнении горизонтального стыка высота валиков должна быть 4...6 мм, ширина шва – 8...14 мм.

При выполнении вертикального неповоротного стыка первые три слоя следует выполнять обратноступенчатым способом, при этом длина каждого участка должна быть в пределах 200...250 мм. Длина участков последующих слоёв может составлять половину окружности стыка, как представлено на рисунке 13.

При сварке горизонтальных неповоротных стыков, выполненных одним сварщиком, необходимо первые три слоя сваривать обратноступенчатым способом участками длиной 200...250 мм.

Последующие слои разрешается сваривать вкруговую, как представлено на рисунке 14.

Законченный сварной шов должен перекрывать свариваемые кромки на 1...3 мм.

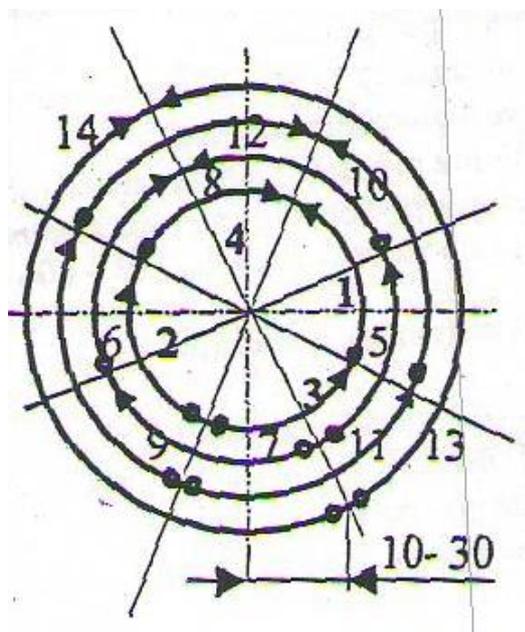


Рисунок 13 – Порядок наложения слоев при сварке одним сварщиком вертикальных неповоротных стыков труб диаметром более 219 мм: 1—14 — последовательность наложения участков (слоев)

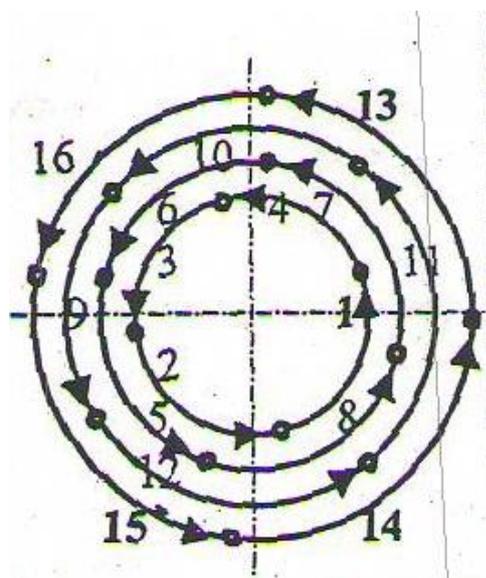


Рисунок 14 – Порядок наложения слоев при сварке одним сварщиком горизонтальных неповоротных стыков труб диаметром более 219 мм: 1—16 — последовательность наложения участков (слоев)

Для сварки применяют электроды ТМЛ-1У диаметром 3 мм. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности. Сила сварочного тока: нижнее положение – 90...110 А, вертикальное и потолочное положение – 110...130 А. Напряжение на дуге 18...23 В.

Для сварки используется сварочный выпрямитель ВДУ-506.

Сваренный и зачищенный стык труб с толщиной стенки 6 мм и более сварщик должен заклеить присвоенным ему клеймом. Клеймо ставят на самом сварном шве вблизи верхнего «замка» (на площадке размером около 20x20 мм, зачищенной абразивным камнем или напильником) или на трубе на расстоянии 30...40 мм от шва.

После сварки проводят термическую обработку стыков. Температура нагрева – 700...730 °С, время выдержки для стыков труб с толщиной стенки 36 мм составляет 2 часа, время выдержки для стыков труб с толщиной стенки 50 мм составляет 3 часа. Если температура окружающего воздуха положительная, то охлаждение стыка до 300 °С ведут под слоем теплоизоляции, далее – на спокойном воздухе.

При отрицательной температуре воздуха охлаждение после термообработки следует производить под слоем теплоизоляции до полного остывания сварного соединения.

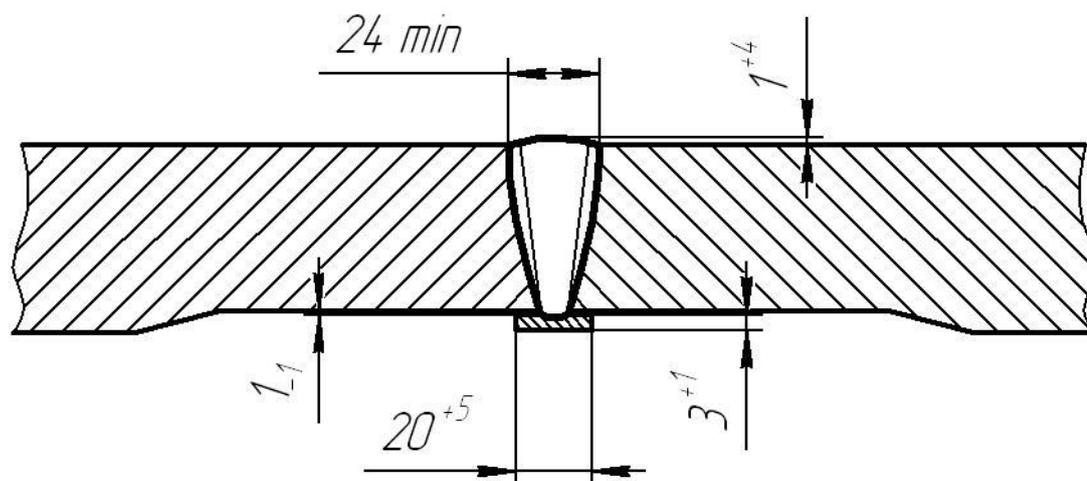


Рисунок 15 – Сварное соединение С4 (по ОСТ 108.940.02-82)

Для обеспечения качества сварных соединений труб паропровода применяются следующие виды контроля: визуально-измерительный, ультразвуковой, стилоскопирование, замер твёрдости.

Определение нормы допустимых и недопустимых дефектов выполняется по требованиям нормативной документации:

- РД 153-34.1-003-01 «Сварка, термообработка и контроль трубных систем котлов и трубопроводов при монтаже и ремонте энергетического оборудования»;

- ПБ 10-573-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды».

Объём визуально-измерительного контроля составляет 100 % (проверяются все соединения по всему периметру). Перед визуальным контролем сварные швы и прилегающая к ним поверхность основного металла шириной не менее 20 мм (по обе стороны шва) должны быть очищены от шлака, брызг расплавленного металла, окалины и других загрязнений.

Визуальный контроль производится невооруженным глазом или с помощью лупы 4-7-кратного увеличения для участков, требующих уточнения характеристик обнаруженных дефектов, с применением, при необходимости, переносного источника света.

По внешнему виду швы должны удовлетворять следующим требованиям:

- по форме и размерам швы должны соответствовать С4 (по ОСТ 108.940.02-82), как показано на рисунке 15;

- швы должны иметь гладкую или равномерную чешуйчатую поверхность;

- металл шва должен иметь плавное сопряжение с основным металлом;

- швы не должны иметь недопустимых дефектов.

Недопустимыми дефектами, выявленными при визуальном контроле сварных соединений, являются: трещины всех видов и направлений;

непровары (несплавления) между основным металлом и швом, а также между валиками шва; наплывы (натеки) и брызги металла; незаваренные кратеры; свищи; прожоги; скопления включений.

Измерительный контроль сварных соединений (определение размеров швов, смещения кромок, переломов осей, углублений между валиками, чешуйчатости поверхности швов и др.) следует выполнять в местах, где допустимость этих показателей вызывает сомнения при визуальном контроле. Размеры и форма шва проверяются с помощью шаблонов, размеры дефекта – с помощью мерительных инструментов.

1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

Цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности сварочных работ при строительстве паропровода перегретого пара.

Недостатками базового технологического процесса, выполняемого с применением ручной дуговой сварки покрытыми электродами, является существенное снижение производительности выполнения работ по сравнению с более перспективными способами сварки (механизованная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, механизированная сварка в защитных газах порошковой проволокой и сварка самозащитной порошковой проволокой). Также следует учитывать, что остающееся подкладное кольцо становится концентратором напряжений при эксплуатации паропровода и существенно повышает вероятность аварии при отрыве подкладного кольца. Наличие остающегося подкладного кольца вызывает ускоренное образование усталостных трещин в соединении.

Повышение эффективности строительства паропроводов перегретого пара заставляет искать более эффективные способы сварки, позволяющие повысить производительность выполнения работ на паропроводе. Также необходимо повышение стабильности качества и бездефектности сварных

соединений труб, что положительно скажется на ресурсе паропровода. При проектировании технологии выполнения сварных стыков предпочтение следует отдавать соединениям и способам, не требующим применения остающегося подкладного кольца.

На основании вышеизложенного можно сформулировать задачи выпускной квалификационной работы, решение которых позволит достигнуть поставленной цели.

Первая задача – обосновать замену ручной дуговой сварки паропровода на более производительный и обеспечивающий большую стабильность качества.

Вторая задача – повысить эффективность предложенного способа сварки применительно к рассматриваемому случаю сварки паропровода.

Третья задача – назначить параметры режима и сварочные материалы.

Четвёртая задача – составить карту технологического процесса ремонтной сварки паропровода.

Оценочный блок предусматривает обоснование возможности внедрения в производство предлагаемых технических решений и мероприятий. В ходе его выполнения следует оценить предлагаемые решения с точки зрения отрицательного влияния на окружающую среду и рабочий персонал.

Также следует оценить затраты на внедрение предлагаемых технологических решений и потенциальный экономический эффект при принятии в производство проектной технологии сварки.

2 Проектная технология сварки паропровода перегретого пара

2.1 Обоснование выбора способа сварки

В составе низколегированной стали 15Х1М1Ф незначительное количество химических элементов, которые могут выгореть при сварке, поэтому сталь обладает невысокой химической активностью и может быть сварена всеми известными способами. С учётом рассматриваемой в выпускной квалификационной работе толщины труб могут быть применены несколько способов сварки. Первым способом является ручная дуговая сварка покрытым электродом. Вторым способом является механизированная сварка в защитном газе проволокой сплошного сечения. Третьим способом является сварка в защитном газе порошковой проволокой. Четвёртым способом – сварка самозащитной порошковой проволокой.

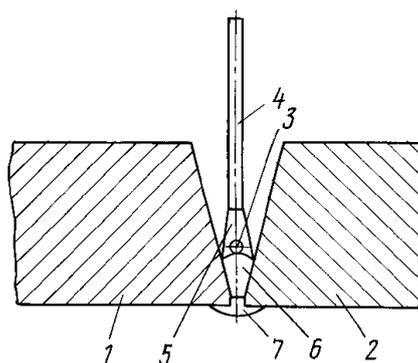
Ручная дуговая сварка получила широкое распространение благодаря своим преимуществам: простоте и дешевизне технологического оборудования, составление технологии сварки не требует глубоких профессиональных знаний и метрологического обеспечения. Этот универсальный способ применяется при монтажных работах и выпуске товарной продукции. Пост для ручной дуговой сварки может быть организован с минимальными капитальными затратами.

Повышение эффективности ручной дуговой сварки при строительстве паропроводов может быть получено при использовании электродов со специальным покрытием [12] или применения специальной техники ведения электрода с поперечными колебаниями [1]. Применение импульсной дуговой сварки [9] также позволяет повысить производительность и качество ручной дуговой сварки и отказаться от применения остающегося подкладного кольца.

Механизированная сварка в защитном газе проволокой сплошного сечения получила широкое распространение при выполнении сварных

конструкций. Этот высокопроизводительный способ сварки продолжает совершенствоваться. В числе преимуществ способа следует отметить, во-первых, возможность визуального наблюдения за сваркой, которая ограничена при ручной дуговой сварке. Во-вторых, при сварке в смеси защитных газов практически не образуется шлаковая корка, что существенно повышает производительность из-за отсутствия необходимости промежуточной зачистки слоёв сварного шва. В третьих, следует отметить возможность сварки в различных пространственных положениях, обусловленную низкой текучестью сварного шва по сравнению со сваркой порошковой проволокой.

Повышение эффективности механизированной сварки в защитном газе проволокой сплошного сечения может быть достигнуто при применении дополнительной присадочной проволоки и смеси защитных газов, как показано на рисунке 16 [13], [16], [24], [32]. При этом выполняют корневой слой шва 6, далее выполняют подварочный шов 7. После этого на поверхность корневого слоя шва укладывают дополнительную сварочную проволоку в количестве до 3-х проволок. Выполняют сварку дугой 3 и токоведущей проволокой 4. При выполнении корневого слоя шва применяют ток сварки на 20...30 % ниже, чем при выполнении последующих слоёв шва.



1, 2 – свариваемые детали; 3 – дополнительная проволока; 4 – токоведущая проволока;
5 – сварочная дуга; 6 – корневой слой шва; 7 – подварочный шов

Рисунок 16 – Схема механизированной сварки в защитном газе проволокой сплошного сечения с дополнительной проволокой

Применение дополнительной проволоки позволяет повысить производительность сварки и уменьшить зону термического влияния, существенно повышается качество сварки, становится возможным выполнять сварку без последующей термической обработки.

Применение импульсного управления горением сварочной дуги при механизированной сварке проволоками сплошного сечения позволяет отказаться от использования остающегося подкладного кольца [14], [28]. Во время импульса тока при горении сварочной дуги интенсивно расплавляется торец сварочной проволоки. Во время перехода электродного металла с варочную ванну ток дуги снижается, что уменьшает действие электромагнитного поля на каплю расплавленного металла и упрощает её переход в сварочную ванну. При последующем увеличении тока в момент окончания перехода капли с электрода в сварочную ванну улучшает условия формирования сварного шва.

Применение самозащитной порошковой проволоки позволяет отказаться от использования газовой аппаратуры (редукторы, смесители газов, баллоны, осушители, шланги), которые в значительной мере снижают мобильность сварщика [21], [37].

Недостатками сварки самозащитной порошковой проволокой являются:

- необходимость удаления шлаковой корки с поверхности шва;
- высокая стоимость порошковой проволоки;
- сильное порообразование и возможность получения дефектов в виде пор и шлаковых включений;
- необходимость борьбы с заломами сварочной проволоки из-за её излишней мягкости;
- неравномерное плавление оболочки и сердцевины сварочной проволоки.

На основании проведённого анализа альтернативных способов сварки предлагается в проектной технологии применить два способа сварки. Для

выполнения корневого слоя шва использовать ручную дуговую сварку покрытым электродом с импульсным управлением дугой. Для заполнения разделки применить сварку в защитном газе порошковой проволокой с импульсным управлением сварочной дугой.

Использование комбинированной сварки позволит отказаться от применения остающегося подкладного кольца, повысить производительность и качество выполнения работ при строительстве паропровода.

2.2 Требования к квалификации персонала

К сварочным работам могут быть допущены сварщики, аттестованные на I уровень профессиональной подготовки в соответствии с ПБ 03-273-99 [22] и имеющие аттестационное удостоверение, в котором указывается, к каким видам работ допущен сварщик (способ сварки, наименование изделий, группа сталей, положение шва в пространстве).

Сварщики всех специальностей и квалификаций, кроме газосварщиков, должны иметь квалификационную группу по электробезопасности не ниже II. Кроме того, все сварщики должны сдать испытания на знание противопожарных мероприятий и требований по безопасности труда.

Сварщик, впервые приступающий в данной организации к сварке труб котлов и трубопроводов, несмотря на наличие удостоверения, должен перед допуском к работе пройти проверку путем сварки и контроля допусковых (пробных) стыков.

Допускные стыки должны быть идентичны производственным стыкам, которые будет сваривать проверяемый сварщик, или однотипны с ними. По результатам проверки качества допусковых стыков составляется протокол, являющийся основанием для допуска сварщика к выполнению сварочных работ.

К термообработке сварных соединений (включая предварительный и сопутствующий подогрев) трубопроводов и труб котлов электрическим или

газопламенным способом нагрева допускаются операторы-термисты, прошедшие специальную подготовку, сдавшие соответствующие испытания и имеющие удостоверение на право производства указанных работ в монтажных и ремонтных условиях.

Операторы-термисты должны сдать испытания на знание противопожарных мероприятий и требований по безопасности труда, а операторы-термисты электронагрева, кроме того, должны сдать испытания не ниже чем на III квалификационную группу по электробезопасности. Операторы-термисты подвергаются ежегодной перееаттестации, результаты которой должны быть оформлены протоколом и соответствующей записью в удостоверении.

К контролю сварных соединений труб физическими методами (в том числе стилоскопирование швов и деталей) допускаются контролеры, аттестованные в соответствии с Правилами аттестации специалистов неразрушающего контроля.

К руководству и техническому контролю за проведением сварочных работ должны быть допущены специалисты сварочного производства, аттестованные на II, III или IV уровень профессиональной подготовки в соответствии с действующими ПБ 03-273-99 и имеющие удостоверение НАКС на право руководства и технического контроля за производством сварочных работ на объектах Госгортехнадзора России в энергетической отрасли в соответствии с данными, указанными в их удостоверении.

Специалисты сварочного производства подвергаются проверке знаний в области промышленной безопасности в соответствии с Положением о порядке подготовки и аттестации работников организаций, эксплуатирующих опасные производственные объекты, подконтрольные Госгортехнадзору России [24].

2.3 Проверка состояния оборудования для сварки, термообработки и дефектоскопии

Оборудование для сварки и термообработки, аппаратура для дефектоскопии, контрольно-измерительные приборы (амперметры, вольтметры и др.) должны иметь паспорт завода-изготовителя, подтверждающий пригодность данного экземпляра оборудования для предназначенной работы.

Оборудование перед использованием должно быть проконтролировано на: наличие паспорта завода-изготовителя; комплектность и исправность; действие срока последней проверки.

Периодичность осмотров, проверок, ремонтов должна соответствовать требованиям паспортов или других документов. Основные требования к организации и порядку проведения поверки средств измерений должны соответствовать ГОСТ 8.513 [7] и ГОСТ 8.326 [6].

Сварочное оборудование должно подвергаться еженедельному осмотру (а сварочные автоматы и полуавтоматы — ежедневному осмотру перед началом работы) на предмет определения видимых неисправностей.

Все вновь полученные и отремонтированные аппараты для дефектоскопии и контрольно-измерительные приборы подлежат настройке и проверке правильности их показаний. Результаты проверки, а также данные о характере ремонта должны быть зафиксированы в паспорте (формуляре) дефектоскопа или журнале учета состояния оборудования.

Сварочные установки (источники питания, полуавтоматы) должны быть снабжены исправной контрольно-измерительной аппаратурой или другими устройствами, предусмотренными конструкцией данной установки. Для периодического контроля сварочного тока можно пользоваться переносным амперметром.

2.4 Входной контроль основных материалов

Входной контроль металла поступающих труб включает следующие контрольные операции:

- проверку наличия сертификата или паспорта, полноты приведенных в нем данных и соответствия этих данных требованиям стандарта, технических условий или конструкторской документации;

- проверку наличия маркировки и соответствия ее сертификатным или паспортным данным;

- осмотр металла и конструктивных элементов для выявления поверхностных дефектов и повреждений.

При отсутствии сертификата или неполноте сертификатных данных применение этого металла может быть допущено только после проведения испытаний, подтверждающих соответствие металла всем требованиям стандарта или технических условий.

Трубы, не имеющие заводского паспорта (сертификата), не могут быть допущены для дальнейшего производства.

Входной контроль основных материалов (металла и конструктивных элементов) осуществляет в соответствии с ГОСТ 24297-87 [5] организация – заказчик этих материалов. Результаты входного контроля должны быть переданы монтажной (ремонтной) организации.

2.5 Входной контроль сварочных материалов

Перед использованием сварочных материалов (электродов, сварочной проволоки) должны быть проверены:

- наличие сертификата (на электроды и проволоку), полнота приведенных в нем данных и их соответствие требованиям стандарта, технических условий или паспорта на конкретные сварочные материалы;

- наличие на каждом упаковочном месте (пачке, мотке, бухте и пр.) соответствующих этикеток (ярлыков) или бирок с проверкой полноты указанных в них данных;

- сохранность упаковок и самих материалов;

- для баллонов с газом – наличие документа, регламентированного стандартом на соответствующий газ.

При отсутствии сертификата или неполноте сертификатных сведений сварочный материал данной партии может быть допущен к использованию после проведения испытаний и получения положительных результатов по всем показателям, установленным соответствующим нормативным техническим документом — стандартами (техническими условиями) или паспортом на данный вид материала.

При обнаружении повреждения или порчи упаковки или самих материалов вопрос о возможности использования этих материалов решает руководитель сварочных работ совместно с ОТК (СТК) предприятия (организации).

Каждая часть сварочной проволоки, отделенная от бухты (мотка), должна быть снабжена биркой, на которой указываются марка, номер плавки и диаметр проволоки.

Перед применением каждой партии электродов независимо от наличия сертификата должны быть проконтролированы:

- сварочно-технологические свойства;

- соответствие наплавленного металла легированных электродов требованиям марочного состава.

Результаты проверки электродов должны быть оформлены соответствующим актом.

Перед выдачей электродов сварщику необходимо убедиться в том, что они были прокалены и срок действия прокалки не истек.

Сплошность металла шва должна отвечать требованиям ГОСТ 9466-75 [8]: для диаметра электродов 3 мм допускается максимальный линейный размер

поры или шлакового включения 0,8 мм, а также не более 5 пор или шлаковых включений на 100 мм длины шва в месте их наибольшего скопления.

Сварочно-технологические свойства электродов должны удовлетворять требованиям ГОСТ 9466-75 [8]:

- дуга легко зажигается и стабильно горит;
- покрытие плавится равномерно без чрезмерного разбрызгивания, отваливания кусков и образования «козырька», препятствующих нормальному плавлению электрода во всех пространственных положениях;
- образующийся при сварке шлак обеспечивает правильное формирование шва и легко удаляется после охлаждения;
- в металле шва (наплавленном металле) нет трещин.

При неудовлетворительных сварочно-технологических свойствах электродов они должны быть повторно прокалены. Если после этого при проверке сварочно-технологических свойств получены неудовлетворительные результаты, то данная партия электродов бракуется, на нее оформляется акт-рекламация, который направляется заводу-изготовителю и в свою вышестоящую организацию.

Для проверки соответствия легированных электродов марочному составу на малоуглеродистую пластинку наплавляют три бобышки высотой и диаметром у основания, равными не менее чем четырем диаметрам контролируемого электрода (т.е. не менее 12 мм). Из разных пачек замеса берут три электрода, при этом каждую бобышку наплавляют одним электродом. Верхнюю площадку бобышки зачищают до металлического блеска и стилоскопированием определяют содержание элементов, входящих в марочный состав (наличие молибдена, отсутствие ванадия, содержание хрома). Если при проверке выявлено несоответствие наплавленного металла марочному составу (хотя бы одного из трех испытанных электродов), замес должен быть подвергнут повторному стилоскопированию. При повторном контроле проверяют по 10 электродов каждого замеса, результаты испытаний которых были неудовлетворительными.

Все электроды необходимо отбирать из разных пачек каждого замеса. После повторного стилоскопирования бракуют электроды только тех замесов, на которых получены неудовлетворительные результаты. Если при проверке в отдельных замесах встречаются удовлетворительные и неудовлетворительные результаты, бракуют всю контролируемую партию электродов.

Каждая партия сварочной проволоки перед выдачей на производственный участок должна быть проконтролирована путем осмотра поверхности проволоки в каждой бухте (мотке, катушке). На поверхности проволоки не должно быть окалины, ржавчины, следов смазки, задигов, вмятин и других дефектов и загрязнений.

Каждая партия порошковой проволоки перед применением должна быть подвергнута проверке сварочно-технологических свойств путем наплавки валика на пластину и визуального контроля с помощью лупы пятикратного увеличения, чтобы выявить трещины, поры и неровности на поверхности валика. Валик наплавляется на пластину толщиной 14...18 мм из углеродистой стали (марок СтЗпс; СтЗсп; 20) в нижнем положении по режиму, предписанному для данной марки проволоки (ток 200...250 А, напряжение дуги 20...28 В, вылет проволоки 12...15 мм). Сварочно-технологические свойства считаются удовлетворительными, если на поверхности валика не обнаружено трещин, максимальный размер пор не более 1,2 мм и их число на любых 100 мм протяженности валика не более пяти; углубление между чешуйками должно быть не более 1,5 мм.

Перед использованием газа из каждого баллона следует проверить качество газа, для чего надо наплавить на пластину или трубу валик длиной 100...150 мм и по внешнему виду поверхности наплавки определить ее качество. При обнаружении пор в металле шва газ, находящийся в данном баллоне, бракуют.

2.6 Подготовка труб к сварке

На всех поступающих на монтажную площадку трубах до начала сборки мастером (или другим ответственным лицом) должно быть проверено наличие клейм, маркировки, а также сертификатов завода-изготовителя, подтверждающих соответствие труб их назначению. При отсутствии клейм, маркировки или сертификатов трубы к дальнейшей обработке не допускаются.

Обработку кромок труб под сварку следует производить механическим способом с помощью трубрезного станка. Шероховатость поверхности кромок труб, подготовленных для сварки, не должна превышать норм, приведенных на рисунке 17. Остальные требования к подготовке кромок такие же, как в базовой технологии, которые описаны в первом разделе.

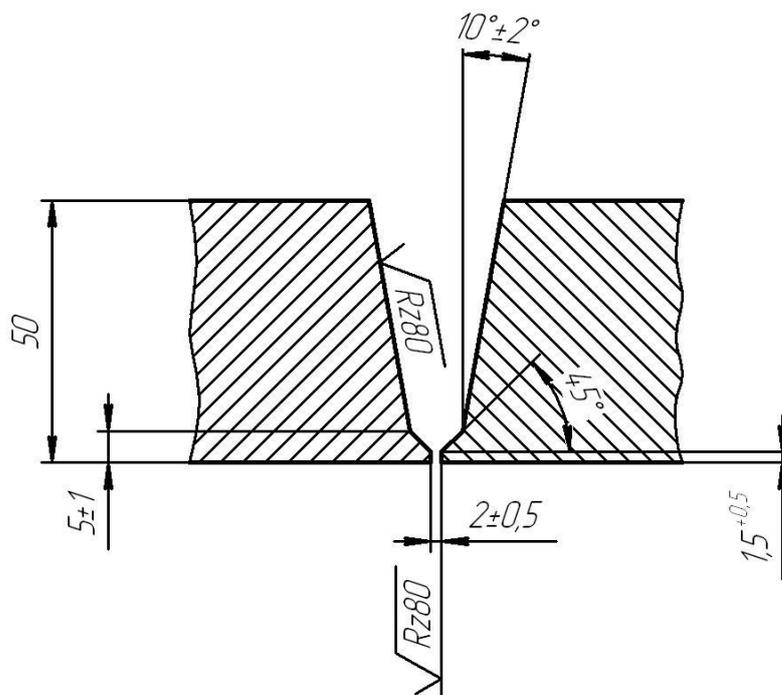


Рисунок 17 - Подготовка кромок под сварку соединения Тр-6 [24]

2.7 Выполнение прихваток

Собранные стыки труб и других элементов необходимо прихватывать в нескольких местах. Прихватки на месте пересечения швов не допускаются.

Прихватки необходимо выполнять с полным проваром и по возможности переваривать при наложении основного шва.

К качеству прихваток предъявляются такие же требования, как и к сварному шву. Прихватки, имеющие недопустимые дефекты, обнаруженные при визуальном контроле, следует удалять механическим способом.

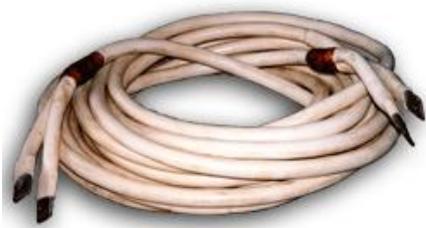
Прихваточные швы должны быть равномерно расположены по периметру стыка. Не рекомендуется накладывать прихватки на потолочный участок стыка. Для рассматриваемого диаметра труб число прихваток составляет 3...4 штуки на периметр, а длина каждой прихватки 30...40 мм. Высота прихватки должна составлять 5...6 мм.

Прихватки выполнять ручной дуговой сваркой электродами ТМЛ-1У (марка Э-09Х1МФ) диаметром 3 мм. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности. Сила сварочного тока: 100...130 А, напряжение на дуге 18...23 В.

Перед прихваткой необходим предварительный подогрев до 300...350 °С. Используется набор водоохлаждаемых кабелей для индукционного нагрева труб (производство «Унитех», www.unitechufa.ru), включающий гибкий кабель ВГИК (Водоохлаждаемый гибкий индукционный кабель), являющийся индуктором, и два токоподвода (ВИТ – Водоохлаждаемый индукционный токоподвод и МТК – Малоиндукционный токоподводящий кабель), представленные на рисунке 18.

Кабель ВГИК представляет собой гофрированную гибкую трубку диаметром 25...30 мм из нержавеющей стали или латуни толщиной 0,2...0,3 мм, помещенную в медную оплетку, являющуюся основной токопроводящей частью кабеля. Снаружи кабель изолирован термостойкой резиной, стеклотканевым и асботканевым чехлом. Кабель ВГИК выпускается нескольких модификаций в зависимости от величины и частоты рабочего тока (на ток 800, 1000 и 1200 А частотой от 50 Гц до 10 кГц).

В качестве источника питания применим сварочный трансформатор ТДМ-501, который представлен на рисунке 19.



МТК



ВИТ



ВГИК

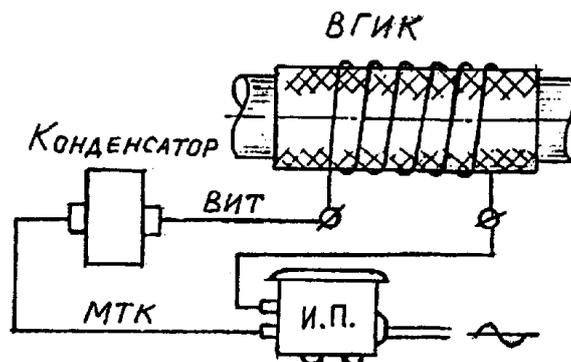


Рисунок 18 – Элементы для индукционного нагрева ВГИК, ВИТ и МТК и схема их подключения

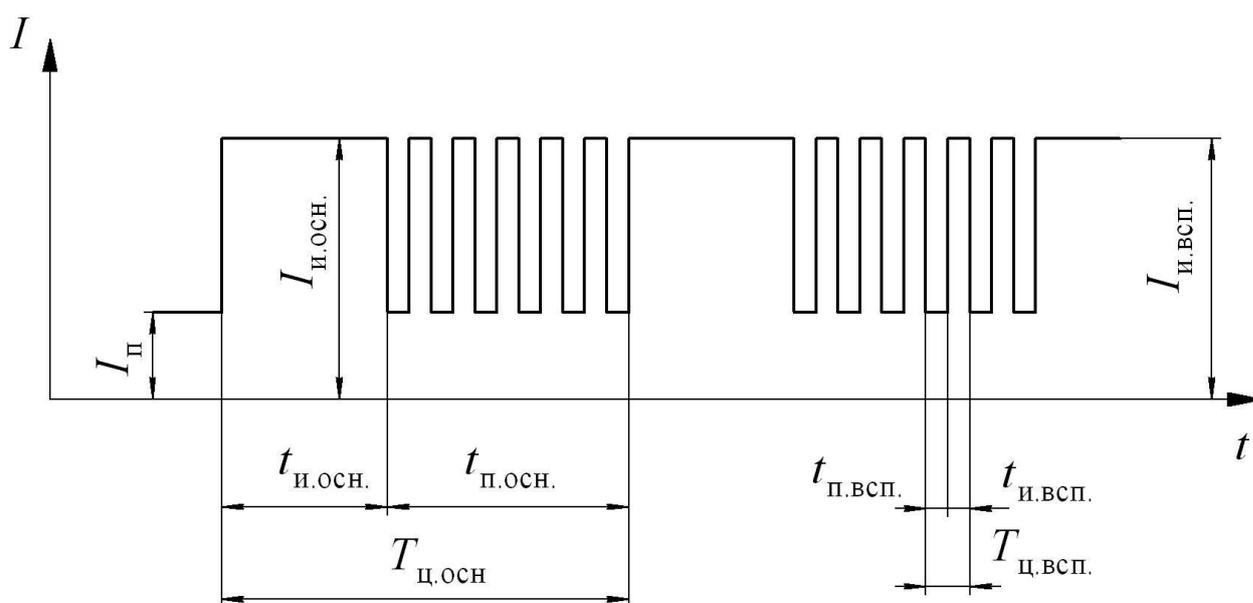


Рисунок 19 – Сварочный трансформатор ТДМ-501

Температуру подогрева контролируют с помощью цифровых контактных термометров ТК-5 в двух диаметрально противоположных точках по периметру стыка, при этом на вертикальных стыках замер производится в нижней и верхней точках стыка на расстоянии 30 мм от оси шва. Соединять термопары с термоэлектродным проводом необходимо с помощью винтовых муфт или другим надежным способом; соединение посредством скрутки не допускается.

2.8 Сварка корневого слоя шва

Дуговой промежуток питают импульсами постоянного тока, в промежутке между которыми горит дежурная дуга, на которую накладывают дополнительные импульсы постоянной частоты и длительности, которые задаются перед началом сварки из технологических соображений. Эпюры тока дугового промежутка при неизменных длительностях основных импульсов и пауз представлены на рисунке 20. Частота дополнительных импульсов должна быть не менее 50 Гц, а длительность их в пределах 0,5...2 мс. При таких параметрах обеспечивается гарантированный переход капли на интервале основной паузы при коротком замыкании капель дугового промежутка. Величина непрерывного тока паузы равна 5...30 А.



$T_{\text{ц.осн.}}$ - длительность периода следования основных импульсов;

$t_{\text{и.осн}}$ - длительность основного импульса;

$t_{\text{п.осн}}$ - длительность основной паузы;

$I_{\text{и.осн}}$ - величина тока основного импульса;

$I_{\text{и.всп.}}$ - величина тока вспомогательного импульса;

$T_{\text{ц.всп.}}$ - длительность периода следования вспомогательных импульсов;

$t_{\text{и.всп}}$ - длительность вспомогательного импульса;

$t_{\text{п.всп}}$ - длительность вспомогательной паузы;

$I_{\text{п}}$ - непрерывный ток в паузе

Рисунок 20 – Эпюра токов

Корневой слой шва сваривают электродами ТМЛ-1У (марка Э-09Х1МФ) диаметром 3 мм. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности. Сила сварочного тока: 100...130 А, напряжение на дуге 18...23 В.

Для сварки корневого слоя шва применяют выпрямитель ВДУ-506.

Сварку ведут с выполнением следующих требований.

Сварку стыков труб рекомендуется начинать сразу после прихватки. Промежуток времени между окончанием выполнения прихваток и началом сварки стыков труб должен быть не более 4 ч.

Ручную дуговую сварку корневого слоя следует выполнять возможно короткой дугой. В процессе сварки необходимо как можно реже обрывать дугу. Перед гашением дуги сварщик должен заполнить кратер путем постепенного отвода электрода и вывода дуги назад на 15...20 мм на только что наложенный шов. Последующее зажигание дуги производится на кромке трубы или на металле шва на расстоянии 20...25 мм от кратера.

Корневой слой шва сваривают электродами ТМЛ-1У (марка Э-09Х1МФ) диаметром 3 мм. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности. Сила сварочного тока: 100...130 А, напряжение на дуге 18...23 В. Корневой слой накладывается ниточным швом без колебательных поперечных движений электрода.

Для сварки корневого слоя шва применяют выпрямитель ВДУ-506. При сварке с модуляцией сварочного импульса длительность основного импульса, как показано на рисунке 20, устанавливают $t_{и.осн}=0,25$ с, а длительность основной паузы $t_{п.осн}=0,3$ с. Частоту вспомогательных импульсов устанавливают равной 55 Гц, а длительность вспомогательных импульсов $t_{и.всп}=1,3$ мс. Непрерывный ток в основной паузе, на который накладывают вспомогательные импульсы, устанавливают равным $I_{п}=15$ А.

Сварку корневого слоя шва горизонтального стыка труб производят обратноступенчатым способом, как показано на рисунке 21-а, длина каждого участка 200...250 мм. Вертикальные неповоротные стыки сваривают в направлении снизу вверх. Начиная сварку слоя в потолочной

части стыка, следует отступить на 10...30 мм от нижней точки, как показано на рисунке 21-б.

Освобождать жимки внутреннего центратора только после полного завершения сварки всего периметра корневого слоя шва. Затем производится тщательная зачистка абразивным кругом до состояния «чистый металл».

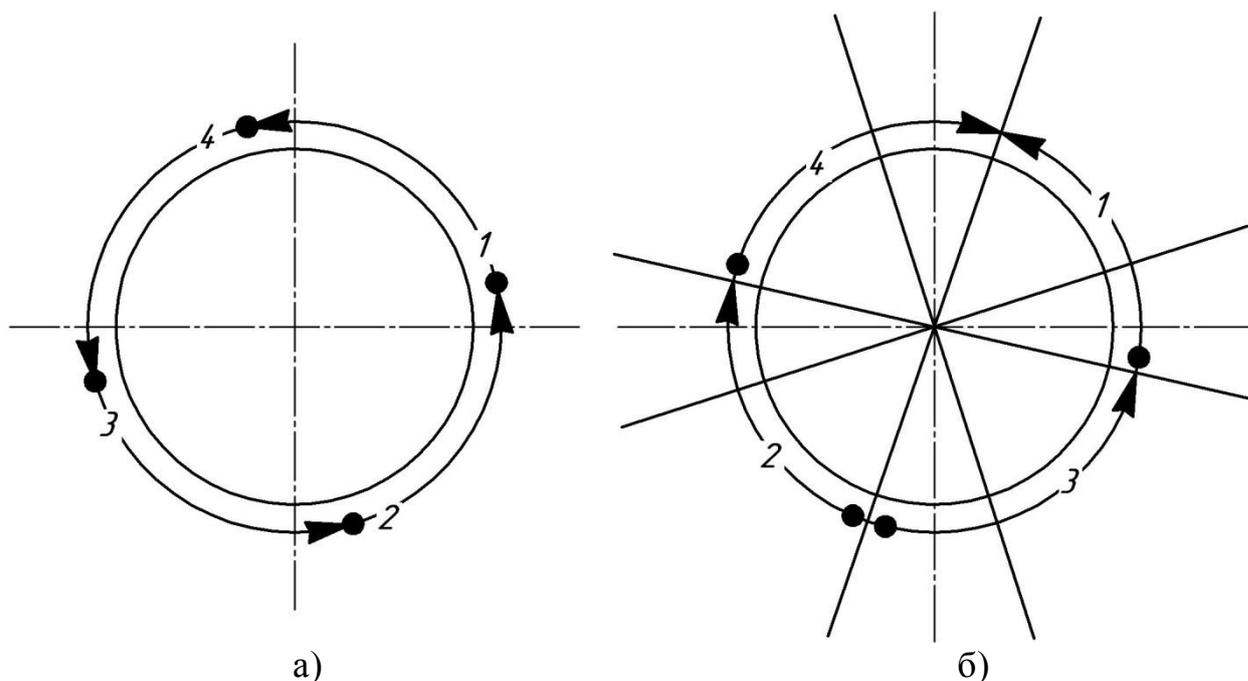


Рисунок 21 – Порядок сварки участков корневого слоя шва при сварке горизонтального (а) и вертикального (б) стыка труб одним сварщиком

Выполняется визуальный контроль корневого слоя шва. При обнаружении на поверхности шва дефектов (трещин, скоплений пор и т.п.) дефектное место следует удалить механическим способом до «здорового» металла и при необходимости заварить вновь.

2.9. Заполнение разделки

В соответствии с [24] для механизированной сварки порошковой проволокой следует применять порошковые проволоки, изготовленные по ГОСТ 26271-84 и соответствующим техническим условиям.

Применяем порошковую проволоку ППС-ТМВ15 диаметром 1,6 мм, которая предназначена для автоматической и механизированной сварки стыков паропроводов из сталей 15ХМ, 12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 20ХМЛ, работающих при температуре не более 570 °С. Проволока обеспечивает требуемый химический состав наплавленного металла, представленный в таблице 2, предельную прочность металла шва $\sigma_b \geq 500$ МПа, относительное удлинение $\delta_5 \geq 16$ %.

Перед применением порошковая проволока должна быть прокалена при температуре 240 ± 20 °С в течение двух часов. После прокалки проволока может быть использована в течение 5 суток. По истечении указанного срока порошковую проволоку перед применением следует вновь прокалить.

Таблица 2 – Типичный химический состав наплавленного металла при использовании проволоки ППС-ТМВ15 (%)

С	Mn	Si	Cr	Mo	V	S	P
≤0,1	0,5-1,0	0,06-0,3	0,7-1,2	0,4-0,7	0,15-0,3	≤0,03	≤0,03

Сварку производить при токе 200...250 А, напряжение дуги 20...28 В. Количество слоёв – 35-40. Первый заполняющий слой выполняют за один проход, последующие слои – в два прохода (валика), как показано на рисунке 22.

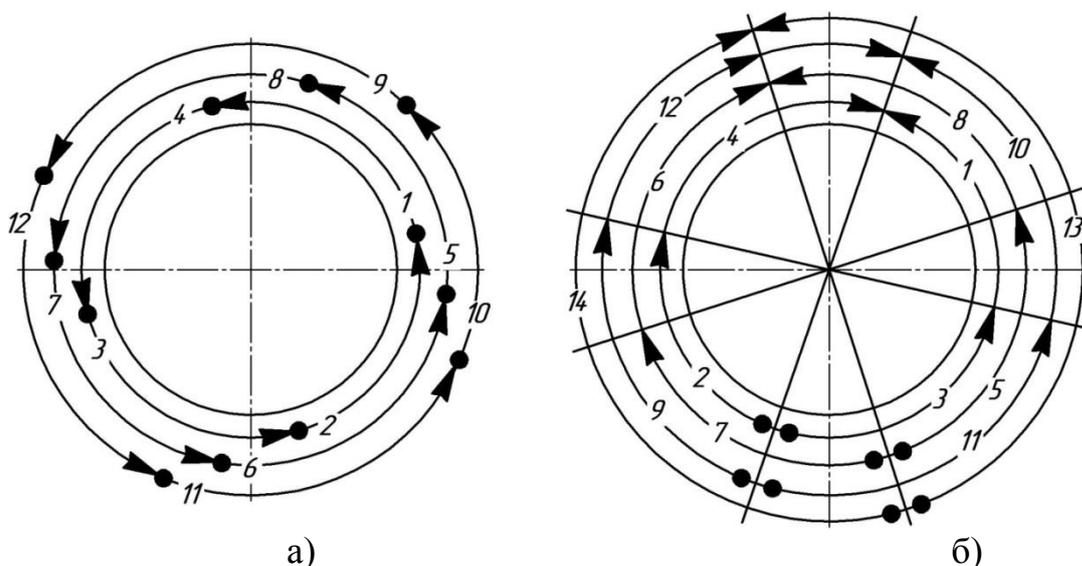


Рисунок 22 – Последовательность заполнения раздели при сварке неповоротного горизонтального (а) и вертикального (б) стыков

Выводы по второму разделу

При анализе альтернативных способов сварки, которые могут быть применены при выполнении сварки паропровода, рассмотрены:

- ручная дуговая сварка покрытым электродом,
- механизированная сварка в защитном газе проволокой сплошного сечения,
- сварка в защитном газе порошковой проволокой,
- сварка самозащитной порошковой проволокой.

Анализ преимуществ и недостатков каждого способа, проведенный с применением экспертной оценки, позволил обосновать выбор способа сварки для построения проектной технологии: для выполнения корневого слоя шва - ручную дуговую сварку покрытым электродом с импульсным управлением дугой; для заполнения разделки – сварку в защитном газе порошковой проволокой с импульсным управлением сварочной дугой.

Приведены описания операций технологического процесса сварки паропровода, который включает в себя входной контроль, подготовку кромок, сборку, подогрев, прихватку, сварку корневого слоя шва, заполнение разделки, контроль качества.

Назначены параметры режима обработки и оборудование для осуществления проектной технологии.

Для достижения поставленной цели необходимо оценить предлагаемые решения с точки зрения отрицательного влияния на окружающую среду и рабочий персонал. Также следует оценить затраты на внедрение предлагаемых технологических решений и потенциальный экономический эффект при принятии в производство проектной технологии сварки рассматриваемой конструкции.

3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса

3.1 Технологическая характеристика объекта

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности выполнения сварочных работ при строительстве паропроводов.

Проектная технология предусматривает применение комбинированного способа сварки с выполнением корня шва покрытым электродом и заполнением разделки порошковой проволокой в защитном газе. Выполнение операций проектного технологического процесса предусматривает возникновение опасных и вредных производственных факторов, действие которых на персонал может привести к нежелательным последствиям. Исходя из этого, в настоящем разделе выпускной квалификационной работы следует выявить опасные и вредные факторы, которые сопровождают предлагаемую к реализации проектную технологию, оценить возможность защиты от них с применением стандартным средств и мероприятий. Далее следует обосновать возможность внедрения проектной технологии в производство.

Проектная технология предусматривает последовательное выполнение операций, приведённых в таблице 3:

- входной контроль,
- подготовка кромок,
- сборка,
- подогрев,
- прихватка,
- сварка корневого слоя шва,
- заполнение разделки,
- контроль качества.

Таблица 3 – Технологический паспорт технического объекта

Составляющая технологический процесс операция и перечень выполняемых работ	Должность работника, который выполняет технологическую операцию	Технологическое оборудование, применяемое для выполнения операции	Вспомогательные материалы и вещества, применяемые для выполнения операции
1) входной контроль	Дефектоскопист	- шаблон сварщика, - линейка, - штангенциркуль, - угольник,	- электроды сварочные, - ветошь
2) подготовка кромок	Слесарь-сборщик	- труборез, - шлифмашинка, - кромкорез	- щётка металлическая, - круг абразивный
3) сборка	Слесарь-сборщик	- центратор, - линейка, - шаблон сварщика	- рукавицы
4) подогрев	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	- сварочный трансформатор, - термометр контактный, - кабели	- асбест, - рукавицы
5) прихватка,	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	- выпрямитель сварочный, - машинка шлифовальная	- электроды сварочные, - круг абразивный
6) сварка корневого слоя шва	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	- выпрямитель сварочный, - машинка шлифовальная	- электроды сварочные, - круг абразивный
7) заполнение разделки	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	- выпрямитель сварочный, - полуавтомат, - машинка шлифовальная	- сварочная проволока, - защитный газ
8) контроль качества	Дефектоскопист	- набор визуально-измерительного контроля, - твердомер, - аппарат рентгеновского контроля	- рукавицы - фотографические плёнки

На основании анализа данных таблицы 3 может быть выполнена идентификация опасных производственных факторов, которые сопровождают каждую операцию технологического процесса.

3.2 Идентификация профессиональных рисков

Идентификация профессиональных рисков предполагает поиск и формулировку опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих эксплуатацию технологического оборудования в соответствии с операциями рассматриваемого технологического процесса, что отражено в таблице 4.

Первопричиной всех травм и заболеваний, связанных с процессом труда, является неблагоприятное воздействие на организм занятого трудом человека тех или иных факторов производственной среды и трудового процесса. Это воздействие, приводящее в различных обстоятельствах к различным результирующим последствиям, зависит от наличия в условиях труда того или иного фактора, его потенциально неблагоприятных для организма человека свойств, возможности его прямого или опосредованного действия на организм.

Таблица 4 – Идентификация профессиональных рисков

Составляющая технологический процесс операция и перечень выполняемых работ	Наименование опасного или вредного фактора, действие которого в условиях производства может составлять угрозу жизни и здоровью персонала	Перечень оборудования и других объектов производства, являющихся источником опасного или вредного фактора
1	2	3
1) входной контроль	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	- шаблон сварщика, - линейка,
2) подготовка кромок		- труборез, - шлифмашинка, - кромкорез
3) сборка		- центратор, - линейка, - шаблон сварщика
4) подогрев	- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги	- сварочный трансформатор, - термометр контактный, - кабели

Продолжение таблицы 4

1	2	3
5) прихватка	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;	- выпрямитель сварочный, - машинка шлифовальная
6) сварка корневого слоя шва	- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;	- выпрямитель сварочный, - машинка шлифовальная
7) заполнение разделки	- опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение	- выпрямитель сварочный, - полуавтомат, - машинка шлифовальная
8) контроль качества	- радиоактивное излучение; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	- твердомер, - аппарат рентгеновского контроля

Таким образом, выделено восемь негативных производственных факторов:

- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования,
- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования,
- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны,
- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека,
- повышенная температура поверхностей оборудования, материалов,
- инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации,
- ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений,
- радиоактивное излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья.

3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 5 – Применяемые для уменьшения воздействия негативных производственных факторов средства и методики

Наименование опасного или вредного фактора, действие которого в условиях производства может составлять угрозу жизни и здоровью персонала	Технические средства и методики, применение которых по отношению к негативному фактору позволит полностью устранить его или уменьшить до приемлемого уровня	Средства индивидуальной защиты
1) острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования	1) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек; 2) проведение с персоналом инструктажа по технике безопасности	Спецодежда.
2) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования	1) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону; 2) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек	Спецодежда
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	1) применение устройств местного удаления загрязнённого воздуха; 2) применение устройств общеобменной вентиляции рабочего пространства, позволяющих обеспечить подачу чистого воздуха извне	Средства защиты дыхательных путей
4) повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	1) организация защитного заземления; 2) проведение периодического инструктажа по технике безопасности; 3) периодический контрольный замер изоляции; 4) периодический контрольный замер сопротивления заземляющей цепи	Спецодежда
5) повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	1) проведение с персоналом инструктажа по технике безопасности ; 2) механизация и автоматизация основных и вспомогательных операций технологического процесса	Спецодежда
6) инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	1) применение защитных экранов; 2) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону	Спецодежда.
7) ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений	1) применение защитных экранов; 2) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону	Спецодежда.
8) радиоактивное излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья	1) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек; 2) уменьшение времени воздействия негативного фактора на оператора	-

На основании идентифицированных профессиональных рисков, возникающих при реализации проектной технологии, возможен последующий их анализ и выработка решений по их снижению до приемлемого уровня, приведённые в таблице 5.

Таким образом, реализация в производстве проектной технологии, операции которой подробно описаны в настоящей выпускной квалификационной работе, сопровождается опасными и вредными производственными факторами. Источниками этих опасных и вредных производственных факторов является применяемое технологическое оборудование и другие объекты производства. Эти источники были приведены и проанализированы выше при идентификации опасных и вредных производственных факторов.

На основании анализа профессиональных рисков, возникающих при воздействии описанных производственных факторов предложены стандартные мероприятия и средства защиты, которые позволяют полностью устранить влияние опасного фактора. Приведённые мероприятия и меры защиты позволили также снизить влияние вредных производственных факторов до приемлемого уровня.

Предложенные меры позволили исключить травматизм при реализации проектного технологического процесса и защитить работника от получения профессиональных заболеваний.

Однако осуществление проектной технологии предусматривает не только возникновение опасных и вредных факторов, влияющих на участников производственного процесса. Негативному воздействию подвергается окружающая среда. Таким образом, технологический процесс может представлять угрозу за счёт возникновения неблагоприятных экологических факторов (загрязнение воздуха, гидросферы и литосферы).

Кроме того, нормальное протекание технологического процесса может нарушаться при возникновении пожара, который становится ещё одним фактором отрицательного влияния на окружающую среду и участников

производства (работающий персонал, производственные здания и оборудование).

Изучению вопроса экологической и пожарной безопасности посвящена вторая половина настоящего раздела выпускной квалификационной работы.

3.4 Обеспечение пожарной безопасности

Разрабатываемый перечень мероприятий направлен на защиты персонала и имущества предприятия от опасных факторов возможного пожара. Для этого следует выполнить идентификацию опасных факторов пожара и предложить стандартные средства и методики для их устранения. В соответствии с классификацией пожаров возможный на рассматриваемом техническом объекте пожар может быть отнесён к классу «Е» - горение веществ и материалов под напряжением. Анализ опасных факторов такого пожара, приведённых в таблице 6, позволит в дальнейшем сформулировать технические предложения, сведённые в таблицу 7.

Таблица 6 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Наименование участка	Наименование оборудования	Классификация по виду горящего вещества	Наименование основных опасных факторов пожара	Наименование вторичных опасных факторов пожара
Участок, на котором осуществляется сборка и сварка	Стойки, источник питания сварочной дуги, сварочный полуавтомат, сварочный трактор, дефектоскоп, машинка шлифовальная	пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)	Резкое повышение температуры на участке и вокруг него; выделение при горении токсичных продуктов и угарного газа; выделение аэрозолей, снижающих видимость на участке и вокруг него.	Короткие замыкания на оборудовании, запитанным высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения.

Таблица 7 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.	Первичные средства пожаротушения
Специализированные расчеты (вызываются)	Мобильные средства пожаротушения
Нет необходимости	Стационарные установки системы пожаротушения
Нет необходимости	Средства пожарной автоматики
Пожарный кран	Пожарное оборудование
План эвакуации	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре
Ведро конусное, лом, лопата штыковая	Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)
Кнопка оповещения	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.

Полноценная защита работающего персонала и имущества предприятия от вероятностного пожара обеспечивается при условии проведения соответствующих организационных мероприятий, представленных в таблице 8.

Таблица 8 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Наименование участка	Перечень мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Участок для сборки и сварки (механизированная и автоматическая сварка)	Инструктаж сотрудников производственного участка правилам предупреждения возгораний и действиям в случае возгорания, деловые игры с сотрудниками по тематике борьбы с пожарами.	На участке необходимо иметь первичные средства пожаротушения в достаточном количестве, должны быть защитные экраны, ограничивающие разлет искр.

Предлагаемые технические средства должны обладать достаточной эффективностью против рассматриваемых опасных факторов пожара. Эти средства должны основываться на действующей нормативной документации, учитывать особенности рассматриваемого технологического процесса.

3.5 Обеспечение экологической безопасности

Таблица 9 – Идентификация опасных и вредных экологических факторов при реализации рассматриваемого технологического процесса

Анализируемый технологический процесс	Операции, осуществляемые в рамках анализируемого технологического процесса	Факторы, негативно влияющие на атмосферу	Факторы, негативно влияющие на гидросферу	Факторы, негативно влияющие на литосферу
Сборка и сварка (механизованная и автоматическая сварка)	Подготовительная операция, сборочная операция, операция сварки стыка, контрольные операции	Выделяемые в процессе горения сварочной дуги аэрозоли, частицы сажи и газообразные частицы	Химикаты, используемые в процессе проявления рентгеновской пленки и закрепления полученного изображения.	Упаковочный материал от присадочных материалов, мусор – бытовой и производственный.

Таблица 10 – Предлагаемые меры по борьбе с негативными экологическими факторами

Наименование технического объекта	Сварка
Мероприятия по исключению негативного действия на воздушную среду.	Оснащение вентиляционной системы фильтрами, позволяющими выполнить сбор и утилизацию выделяющихся при горении дуги вредных продуктов
Мероприятия по исключению негативного действия на водную среду.	Контроль утечек в гидросистеме приспособления или кантователя и незамедлительное их устранение.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Установка на участке сварки соответствующих емкостей для сбора отходов производственного цикла и при проведении повторных инструктажей подробное разъяснение необходимости складирования отходов производственного цикла в установленные емкости.

Реализация предлагаемого технологического процесса помимо опасных и вредных производственных факторов приводит к возникновению опасных и вредных экологических факторов. Следовательно, в рамках выполнения экологического раздела следует выполнить идентификацию согласно таблице 9 этих негативных факторов и предложить меры защиты от этих факторов, сведённые в таблицу 10.

Выводы по экологическому разделу

Настоящий раздел выпускной квалификационной работы посвящён поиску и анализу негативных производственных и экологических факторов, возникновение которых произойдёт при реализации предлагаемой технологии сборки и сварки.

Изучение особенностей технологического процесса сборки и сварки с применением механизированной сварки в среде защитных газов позволило идентифицировать опасные и вредные производственные факторы. На основании этих выделенных факторов предложен ряд стандартных средств и методик, позволяющих устранить опасный фактор или уменьшить его влияние на персонал до приемлемого уровня.

Разработан перечень мероприятий для защиты персонала и имущества предприятия от возможного пожара, для чего идентифицированы опасные факторы пожара, предложены стандартные средства и методики для их устранения.

Анализ экологичности предлагаемого технологического процесса позволил установить, что внедрение в производство предлагаемых решений приведёт к возникновению негативных воздействий на окружающую среду (атмосферу, гидросферу и литосферу).

В настоящем разделе предложены мероприятия, которые призваны уменьшить влияние негативных экологических факторов.

4 Оценка экономической эффективности проектной технологии

4.1 Исходная информация для выполнения экономической оценки предлагаемых технических решений

В настоящей выпускной квалификационной работе предложен ряд мероприятий по повышению эффективности сварки паропроводов. Принято решение построение проектной технологии сварки выполнять на базе комбинированной сварки, корень шва выполняется ручной дуговой сваркой, заполнение разделки - механизированной сваркой порошковой проволокой.

Технология предусматривает последовательное выполнение операций: входной контроль, подготовку кромок, сборку, подогрев, прихватку, сварку корневого слоя шва, заполнение разделки, контроль качества.

При выполнении базовой технологии сварки применяется ручная дуговая сварка штучными электродами. Для заполнения разделки прихваток сварных швов в проектной технологии предложено ручную дуговую сварку заменить на механизированную сварку порошковой проволокой в защитном газе.

Такая замена способа сварки позволяет существенно повысить производительность выполнения сварочных работ. Существенное повышение стабильности качества также приводит к повышению производительности, так как уменьшается время, затрачиваемое на исправление дефектов сварки.

Таким образом, в настоящем разделе следует оценить затраты на внедрение предлагаемых технологических решений и потенциальный экономический эффект при принятии в производство проектной технологии сварки рассматриваемой конструкции.

Для выполнения экономических расчётов следует привести исходные данные по базовой и проектной технологиям согласно таблице 11.

Таблица 11 – Исходные данные для выполнения расчётов по оценке экономической эффективности проектной технологии по отношению к базовой технологии

Экономический показатель	Принятое в расчётной формуле буквенное обозначение показателя	Единица измерения экономического показателя	Значение экономического показателя применительно к базовой и проектной технологиям	
			Базовая технология	Проектная технология
1	2	3	4	5
Разряд занятого в выполнении технологических операций персонала	P_p	-	V	V
Величина часовой тарифной ставки занятого в выполнении технологических операций персонала	$Cч$	Р/час	200	200
Суточное количество смен, предусмотренных для выполнения технологических операций	$K_{см}$	-	1	1
Принятые значения коэффициентов для расчёта фонда заработной платы:				
- доплат к основной заработной плате	$K_{доп}$	%	12	12
- отчислений на дополнительную заработную плату	$K_{д}$	-	1,88	1,88
- отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
- выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования, которое используется для выполнения операций технологического процесса	$Ц_{об}$	Руб.	100 тыс.	400 тыс.
Принятое значение установленной мощности оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	$M_{уст}$	кВт	12	20
Принятые значения коэффициентов для расчёта расходов на оборудование :				
- норма амортизации оборудования	$Н_a$	%	21,5	21,5
- коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
- коэффициент затрат на монтаж и демонтаж	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
- стоимость электрической энергии для питания оборудования при выполнении технологических операций	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,02	3,02

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4	5
- коэффициент полезного действия оборудования для выполнения технологических операций	КПД	-	0,7	0,85
Общая площадь под оборудование, выполняющее операции рассматриваемого технологического процесса	S	m^2	100	100
Принятые значения коэффициентов и показателей для расчёта расходов на площади:				
- стоимость эксплуатации площадей	$C_{\text{эксп}}$	$(P/m^2)/\text{год}$	2000	2000
- цена производственных площадей	$C_{\text{пл}}$	P/m^2	30000	30000
- норма амортизации производственных площадей	$Ha_{\text{пл}}$	%	5	5
- коэффициента дополнительной производственной площади	$K_{\text{пл}}$	-	3	3
Принятые значения коэффициентов и показателей для расчёта заводской себестоимости:				
- коэффициент цеховых расходов	$K_{\text{цех}}$	-	1,5	1,5
- коэффициент заводских расходов	$K_{\text{зав}}$	-	1,15	1,15
- коэффициента эффективности капитальных вложений	En	-	0,33	0,33

Представленные в таблице 11 исходные данные для выполнения расчётов по проектной и базовой технологиям позволяют в дальнейшем оценить технологическую себестоимость проектного и базового варианта, капитальные затраты по вариантам технологии и рассчитать показатели экономической эффективности.

4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования

Выполнение операций базового и проектного технологического процессов сварки изделия предусматривает применение оборудования и рабочего персонала. Для расчёта фонда заработной платы и затрат на оборудование и производственные площади требуется определить фонд

времени работы оборудования. Для базового и проектного вариантов технологии фонд времени работы оборудования будет одинаков.

Значения параметров и коэффициентов примем с учётом исходных данных согласно таблице 11: суммарное число рабочих дней в календарном году $D_p = 277$ дней, длительность рабочей смены $T_{см} = 8$ часов, количество предпраздничных дней $D_{п} = 7$ дней, уменьшение продолжительности рабочей смены в часах в предпраздничные дни $T_{п} = 1$ час, принятое для рассматриваемого технологического процесса число рабочих смен $K_{см} = 1$. Таким образом, рассчитываем фонд времени по зависимости:

$$F_{н} = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} . \quad (1)$$

Расчёты, выполненные согласно (1) после подстановки численных значений параметров и коэффициентов из исходных данных:

$$F_{н} = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ ч.}$$

Эффективный фонд времени сварочного оборудования, которое применяется для выполнения операций базового и проектного вариантов технологического процесса определяется с учётом процента планируемых потерь рабочего времени $B = 7 \%$:

$$F_{э} = F_{н} (1 - B/100). \quad (2)$$

Расчёты, выполненные согласно (2) после подстановки численных значений параметров и коэффициентов из исходных данных:

$$F_{э} = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054 \text{ ч.}$$

4.3 Расчёт штучного времени

Штучное время, затрачиваемое на выполнение операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам технологии, определяем с учётом нормирования труда и результатов анализа технологических карт. Штучное время $t_{шт}$ является суммой затрат

времени: машинного (выполнение основных операций технологического процесса) времени $t_{\text{маш}}$; вспомогательного (выполнение вспомогательных и подготовительных операций технологического процесса) времени $t_{\text{всп}}$; времени обслуживания (на текущий и мелкий ремонт оборудования) $t_{\text{обсл}}$; времени $t_{\text{отд}}$ на личный отдых работников, задействованных в выполнении операций технологического процесса; подготовительно-заключительного времени $t_{\text{п-з}}$:

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{маш}} + t_{\text{всп}} + t_{\text{обсл}} + t_{\text{отд}} + t_{\text{п-з}}. \quad (3)$$

Машинное время, рассчитанное для базового и проектного вариантов технологии согласно (3), составит:

$$t_{\text{шт.баз}} = 5 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 9 \text{ ч.}$$

$$t_{\text{шт.проектн.}} = 3 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 5 \text{ ч.}$$

Годовая программа Π_{Γ} выполнения сварки может быть рассчитана исходя из рассчитанного согласно (2) эффективного фонда времени $F_{\text{э}}$ и согласно (3) штучного времени $t_{\text{шт}}$:

$$\Pi_{\Gamma} = F_{\text{э}} / t_{\text{шт}}. \quad (4)$$

Готовая программа для базового и проектного вариантов технологии, рассчитанная согласно (4) после подстановки численных значений:

$$\Pi_{\Gamma.\text{баз.}} = 2054/9 = 228 \text{ стыков за год;}$$

$$\Pi_{\Gamma.\text{проектн.}} = 2054/5 = 410 \text{ стыков за год.}$$

Расчёт экономической эффективности проектной технологии будем выполнять для годовой программы $\Pi_{\Gamma} = 100$ стыков в год.

При этом необходимое количество $n_{\text{расч}}$ оборудования для выполнения операций базового и проектного вариантов технологического процесса вычисляется с учётом коэффициента $K_{\text{вн}}$ выполнения нормы (для базового и проектного варианта технологий принимаем $K_{\text{вн}} = 1,03$):

$$n_{\text{расч}} = t_{\text{шт}} \cdot \Pi_{\Gamma} / (F_{\text{э}} \cdot K_{\text{вн}}). \quad (5)$$

Требуемое количество оборудования $n_{расч}$ для базового и проектного вариантов технологии, рассчитанное согласно (5), составляет:

$$n_{РАСЧ.Б} = \frac{9 \cdot 100}{2054 \cdot 1,03} = 0,4, \quad n_{РАСЧ.ПР} = \frac{5 \cdot 100}{2054 \cdot 1,03} = 0,2.$$

Необходимое количество оборудования $n_{пр}$, которое следует задействовать в технологическом процессе по базовому и проектному вариантам, задаётся исходя из рассчитанных согласно (5) значений. На основании проведённых расчётов принимаем по одной единице оборудования для базового и проектного вариантов технологии ($n_{пр} = 1$). Коэффициент K_3 загрузки оборудования в этом случае составит:

$$K_3 = n_{расч}/n_{пр}. \quad (6)$$

Значения коэффициентов загрузки K_3 для базового и проектного вариантов технологии составляют:

$$K_{3б} = 0,4/1 = 0,4, \quad K_{3п} = 0,2/1 = 0,2.$$

4.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии

Выполнение дуговой сварки предусматривает расходование сварочных материалов. При ручной дуговой сварке расходным материалов будут сварочные штучные электроды. При механизированной сварке в среде защитных газов порошковой проволокой расходными материалами будут защитный газ и сварочная проволока.

Затраты M на сварочные материалы вычисляем с учётом нормы расходов H_p , цены материалов C_m и коэффициента $K_{ТЗ}$ транспортно-заготовительных расходов:

$$M = C_m \cdot H_p \cdot K_{ТЗ}, \quad (7)$$

Затраты на материалы, рассчитанные согласно (7) для базового и проектного вариантов технологии, составят:

$$M_b = (335 \cdot 1,107 + 148,5) \cdot 1,05 = 314 \text{ руб.}$$

$$M_{пр} = (177,88 \cdot 1,4 + 60,0 \cdot 11,67) \cdot 1,05 = 178 \text{ руб.}$$

Объём основной заработной платы $Z_{осн}$ работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитаем с учётом штучного времени $t_{шт}$, часовой тарифной ставки $C_ч$ и коэффициента K_d доплат:

$$Z_{осн} = t_{шт} \cdot C_ч \cdot K_d. \quad (8)$$

Основная заработная плата рабочих для базового и проектного вариантов технологии после подстановки значений в формулу (8) составляет:

$$Z_{осн.баз.} = 9 \cdot 200 \cdot 1,88 = 3384 \text{ руб.},$$

$$Z_{осн.проектн.} = 5 \cdot 200 \cdot 1,88 = 1880 \text{ руб.}$$

Объём дополнительной заработной платы $Z_{доп}$ работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитаем с учётом основной заработной платы $Z_{осн}$ и коэффициента $K_{доп}$ дополнительных доплат ($K_{доп} = 12 \%$):

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot K_{доп} / 100. \quad (9)$$

Дополнительная заработная плата $Z_{доп}$ работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитанная согласно (9) после подстановки значений составляет:

$$Z_{доп.базов.} = 3384 \cdot 12 / 100 = 406 \text{ руб.},$$

$$Z_{доп.проектн.} = 1880 \cdot 12 / 100 = 226 \text{ руб.}$$

Фонд заработной платы $\Phi ЗП$ вычисляется как сумма основной $Z_{осн}$ и дополнительной $Z_{доп}$ работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии:

$$\Phi ЗП_{базов.} = 3384 + 406 = 3790 \text{ руб.},$$

$$\Phi ЗП_{проектн.} = 1880 + 226 = 2106 \text{ руб.}$$

Объём отчислений $O_{\text{сн}}$ из фонда заработной платы на социальные нужды определяем с учётом коэффициента $K_{\text{сн}}$ отчислений на социальные нужды:

$$O_{\text{сн}} = \Phi ЗП \cdot K_{\text{сн}} / 100. \quad (10)$$

Отчисления на социальные нужды по базовому и проектному вариантам технологии после подстановки в (10) соответствующих значений:

$$O_{\text{сс баз.}} = 3790 \cdot 34 / 100 = 1289 \text{ руб.},$$

$$O_{\text{сс проектн.}} = 2106 \cdot 34 / 100 = 716 \text{ руб.}$$

Затраты $Z_{\text{об}}$ на оборудование, которое применяется для выполнения операций по базовому и проектному вариантам технологии, вычисляются как сумма затрат $A_{\text{об}}$ на амортизацию и $P_{\text{эз}}$ на электрическую энергию:

$$Z_{\text{об}} = A_{\text{об}} + P_{\text{эз}}. \quad (11)$$

Величина $A_{\text{об}}$ амортизации оборудования рассчитывается исходя из цены оборудования $C_{\text{об}}$, нормы амортизации $H_{\text{а}}$, машинного времени $t_{\text{маш}}$, и эффективного фонда времени $F_{\text{э}}$ с использованием зависимости:

$$A_{\text{об}} = \frac{C_{\text{об}} \cdot H_{\text{а}} \cdot t_{\text{МАШ}}}{F_{\text{э}} \cdot 100}. \quad (12)$$

Амортизация оборудования, которое применяется для выполнения операций по базовому и проектному вариантам технологии, после подстановки в (12) соответствующих значений, составляет:

$$A_{\text{об. баз.}} = 100000 \cdot 21,5 \cdot 5 / 2054 / 100 = 52 \text{ руб.},$$

$$A_{\text{об. пр.}} = 400000 \cdot 21,5 \cdot 3 / 2054 / 100 = 125 \text{ руб.}$$

Расходы $P_{\text{эз}}$ на электрическую энергию по базовому и проектному вариантам технологии рассчитываются с учётом установленной мощности оборудования $M_{\text{уст}}$, цены электрической энергии $C_{\text{эз}}$ для предприятий, машинного времени $t_{\text{маш}}$ и КПД оборудования:

$$P_{\text{э-э}} = \frac{M_{\text{уст}} \cdot t_{\text{ман}} \cdot C_{\text{э-э}}}{\text{КПД}} \quad (13)$$

Рассчитанные после подстановки в (13) соответствующих значений расходы на электрическую энергию по базовому и проектному вариантам технологии составляют:

$$P_{\text{ээ баз}} = 5 \cdot 12 \cdot 3,2 / 0,7 = 274 \text{ руб.},$$

$$P_{\text{ээ пр}} = 3 \cdot 20 \cdot 3,2 / 0,85 = 226 \text{ руб.}$$

Рассчитанные после подстановки в (11) соответствующих значений расходы на оборудование по базовому и проектному вариантам технологии составляют:

$$Z_{\text{об баз.}} = 52 + 274 = 326 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{об проектн.}} = 125 + 226 = 351 \text{ руб.}$$

Технологическая себестоимость $C_{\text{тех}}$ рассчитывается как сумма затрат на материалы M , фонда заработной платы $\Phi ЗП$, отчислений на социальные нужды $O_{\text{сс}}$ и затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$:

$$C_{\text{ТЕХ}} = M + \Phi ЗП + O_{\text{сс}} + Z_{\text{об}} \quad (14)$$

Рассчитанная после подстановки в (14) соответствующих значений технологическая себестоимость по базовому и проектному вариантам технологии составляет:

$$C_{\text{ТЕХБаз.}} = 314 + 3790 + 1289 + 326 = 5719 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ТЕХПроектн.}} = 178 + 2106 + 716 + 351 = 3351 \text{ руб.}$$

Цеховая себестоимость $C_{\text{цех}}$ рассчитывается с учётом технологической себестоимости $C_{\text{тех}}$, основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$ и коэффициента $K_{\text{цех}}$ цеховых расходов:

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{тех}} + Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{цех}} \quad (15)$$

Рассчитанная после подстановки в (15) соответствующих значений цеховая себестоимость по базовому и проектному вариантам технологии составляет:

$$C_{\text{ЦЕХБаз.}} = 5719 + 1,5 \cdot 3384 = 5719 + 5076 = 10795 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.}} = 3351 + 1,5 \cdot 1880 = 3351 + 2820 = 6171 \text{ руб.}$$

Заводская себестоимость $C_{\text{зав}}$ рассчитывается с учётом цеховой себестоимости $C_{\text{цех}}$, основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$ и коэффициента $K_{\text{зав}}$ заводских расходов:

$$C_{\text{зав}} = C_{\text{цех}} + Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{зав}}. \quad (16)$$

Рассчитанная после подстановки в (16) соответствующих значений заводская себестоимость по базовому и проектному вариантам технологии составляет:

$$C_{\text{ЗАВБаз.}} = 10795 + 1,15 \cdot 3384 = 10795 + 3892 = 14687 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЗАВПроектн.}} = 6171 + 1,15 \cdot 1880 = 6171 + 2162 = 8333 \text{ руб.}$$

Калькуляция заводской себестоимости для базового и проектного вариантов технологии сведена в таблицу 12.

Таблица 12 – Калькуляция технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки

Наименование экономического показателя	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант технологии	Проектный вариант технологии
1. Затраты на материалы	M	314	178
2. Фонд заработной платы	$\Phi ЗП$	3790	2106
3. Отчисления на соц. нужды	$O_{\text{сн}}$	1289	716
4. Затраты на оборудование	$Z_{\text{об}}$	326	351
5. Технологическая себестоимость	$C_{\text{тех}}$	5719	3351
6. Цеховые расходы	$P_{\text{цех}}$	5076	2820
7. Цеховая себестоимость	$C_{\text{цех}}$	10795	6171
8. Заводские расходы	$P_{\text{зав}}$	3892	2162
9. Заводская себестоимость	$C_{\text{зав}}$	14687	8333

Таким образом, на основании данных таблицы 12 можно заключить, что внедрение проектной технологии позволяет значительно уменьшить затраты и себестоимость сварки.

4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии

Капитальные затраты $K_{\text{общ. б.}}$ для базового варианта технологии рассчитываем с учётом остаточной стоимости оборудования $\Pi_{\text{об.б.}}$, коэффициента загрузки оборудования $K_{з. б.}$ рассчитанного для базового варианта согласно (6):

$$K_{\text{общ. б.}} = \Pi_{\text{ОБ.Б}} \cdot K_{з.б.} \quad (17)$$

Остаточную стоимость $\Pi_{\text{об.б.}}$ оборудования для базового варианта рассчитаем с учётом рыночной стоимости оборудования $\Pi_{\text{перв.}}$, срока службы оборудования T_c и нормы амортизации H_a оборудования:

$$\Pi_{\text{об.б.}} = \Pi_{\text{ПЕРВ.}} - (\Pi_{\text{ПЕРВ.}} \cdot T_{\text{СЛ}} \cdot H_a / 100). \quad (18)$$

Остаточная стоимость оборудования, рассчитанная после подстановки в (18) соответствующих значений, составляет:

$$\Pi_{\text{ОБ.Баз.}} = 100000 - (100000 \cdot 2 \cdot 21,5 / 100) = 57000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{ОБЩБаз.}} = 1 \cdot 57000 \cdot 0,4 = 22800 \text{ руб.}$$

Капитальные затраты $K_{\text{общ. пр.}}$ для проектного варианта технологии рассчитываем как сумму вложений в оборудование $K_{\text{об. пр.}}$, вложений в производственные площади $K_{\text{пл. пр.}}$, сопутствующих вложений $K_{\text{соп.}}$:

$$K_{\text{общ. пр.}} = K_{\text{об. пр.}} + K_{\text{пл. пр.}} + K_{\text{соп.}} \quad (19)$$

Капитальные вложения $K_{\text{об. пр.}}$ в оборудование для выполнения операций по проектному варианту технологии рассчитываются с учётом цены оборудования $\Pi_{\text{об. пр.}}$, коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{\text{тз}}$ и коэффициента загрузки оборудования $K_{\text{зп}}$ по проектному варианту:

$$K_{\text{об. пр.}} = \Pi_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{тз}} \cdot K_{\text{зп}} \quad (20)$$

Величина капитальных вложений в оборудование после подстановки в (20) соответствующих значений составляет:

$$K_{\text{об.пр.}} = 400000 \cdot 1,05 \cdot 0,2 = 84000 \text{ руб.}$$

Сопутствующие капитальные вложения $K_{\text{соп.}}$ по проектному варианту технологии рассчитываются с учётом расходов на демонтаж $K_{\text{дем}}$ базового оборудования и расходов на монтаж $K_{\text{монт}}$ проектного оборудования:

$$K_{\text{соп}} = K_{\text{дем}} + K_{\text{монт}}. \quad (21)$$

Расходы на демонтаж $K_{\text{дем}}$ и монтаж $K_{\text{монт}}$ рассчитываем с учётом стоимости оборудования $C_{\text{б}}$ и $C_{\text{пр}}$ по базовому и проектному вариантам, коэффициентов $K_{\text{д}}$ и $K_{\text{м}}$ на демонтаж и монтаж оборудования:

$$K_{\text{дем}} = C_{\text{об. б.}} \cdot K_{\text{д}}, \quad (22)$$

$$K_{\text{монт}} = C_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{м}}. \quad (23)$$

Сопутствующие капитальные вложения при проектном варианте технологии, рассчитанные после подстановки в (21), (22) и (23) соответствующих значений:

$$K_{\text{дем}} = 100000 \cdot 0,05 = 5000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{монт}} = 400000 \cdot 0,05 = 20000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{соп}} = 20000 + 5000 = 25000 \text{ руб.}$$

Капитальные затраты для проектного варианта, рассчитанные после подстановки в (19) соответствующих значений:

$$K_{\text{общ.пр}} = 84000 + 25000 = 109000 \text{ руб.}$$

Дополнительные капитальные вложения $K_{\text{доп}}$ рассчитываем исходя из капитальных затрат $K_{\text{общ.пр.}}$ и $K_{\text{общ.б.}}$ для проектного и базового вариантов технологии:

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общ.пр}} - K_{\text{общ.б.}}: \quad (24)$$

$$K_{\text{доп}} = 109000 - 22800 = 86200 \text{ руб.}$$

Величину удельных капитальных вложений $K_{уд}$ рассчитываем с учётом годовой программы $П_T$:

$$K_{уд} = \frac{K_{общ.}}{П_T}, \quad (25)$$

После подстановки в (25) соответствующих значений:

$$K_{удБаз.} = 22800/100 = 228 \text{ руб./ед.};$$

$$K_{удПроектн.} = 109000/100 = 1090 \text{ руб./ед.}$$

4.6 Показатели экономической эффективности

Расчёт снижения трудоёмкости $\Delta t_{шт}$ при внедрении в производство проектной технологии выполним с учётом штучного времени $t_{шт.б.}$ и $t_{шт.пр.}$ по базовому и проектному вариантам:

$$\Delta t_{шт} = \frac{t_{штБ} - t_{штПР}}{t_{штБ}} \cdot 100\% \quad (26)$$

Расчётное снижение трудоёмкости согласно (26) составило:

$$\Delta t_{шт} = \frac{9 - 5}{9} \cdot 100\% = 44\%$$

Расчёт повышения производительности труда $П_T$ при внедрении в производство проектной технологии выполним с учётом рассчитанного выше снижения трудоёмкости $\Delta t_{шт}$:

$$П_T = \frac{100 \cdot \Delta t_{шт}}{100 - \Delta t_{шт}} \quad (27)$$

Расчётное повышение производительности труда согласно (27) составило:

$$П_T = \frac{100 \cdot 44}{100 - 44} = 78\%$$

Расчёт снижения технологической себестоимости $\Delta C_{\text{ТЕХ}}$ при внедрении в производство проектной технологии выполняется по формуле:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{C_{\text{ТЕХБ}} - C_{\text{ТЕХПР}}}{C_{\text{ТЕХБ}}} \cdot 100\% \quad (28)$$

Расчётное снижение технологической себестоимости согласно (28) составило:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{5719 - 3351}{5719} \cdot 100\% = 41\%$$

Расчёт условно-годовой экономии $\text{Пр}_{\text{ож}}$ (ожидаемой прибыли), которая может быть получена при принятии проектной технологии, выполним следующим образом:

$$\text{Пр}_{\text{ож.}} = \text{Э}_{\text{у.г.}} = \left(C_{\text{зав}}^{\text{б}} - C_{\text{зав}}^{\text{пр}} \right) \cdot \Pi_{\Gamma} \quad (29)$$

Ожидаемая прибыль после подстановки в (29) соответствующих значений составила:

$$\text{Э}_{\text{у.г.}} = (14687 - 8333) \cdot 100 = 635400 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости $T_{\text{ок}}$ дополнительных капитальных вложений определим следующим образом:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{доп}}}{\text{Э}_{\text{уГ}}} \quad (30)$$

Срок окупаемости после подстановки в (30) соответствующих значений составил:

$$T_{\text{ок}} = 86200 / 635400 = 0,2 \text{ года}$$

Годовой экономический эффект Э_{Γ} , получаемый при принятии проектной технологии определим следующим образом:

$$\text{Э}_{\Gamma} = \text{Э}_{\text{уГ}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} \quad (31)$$

Годовой экономический эффект после подстановки в (31) соответствующих значений составил:

$$\text{Эг} = 635400 - 0,33 \cdot 86200 = 606954 \text{ руб.}$$

Выводы по экономическому разделу

При выполнении базовой технологии сборки и сварки применяется ручная дуговая сварка. Недостатки применения ручной дуговой сварки штучными электродами: малая производительность выполнения сварочных работ, работа сварщика в тяжёлых условиях, низкая стабильность качества сварки, повышенный расход электродного материала на разбрызгивание и огарки.

Проектный вариант технологии предполагает использование механизированной сварки в защитном газе порошковой проволокой. Такая замена способа сварки позволяет существенно повысить производительность выполнения сварочных работ.

Существенное повышение стабильности качества также приводит к повышению производительности, так как уменьшается время, затрачиваемое на исправление дефектов сварки.

Выполнение экономических расчётов позволило выявить экономическую эффективность проектной технологии: уменьшение трудоемкости на 44 %, повышение производительности труда на 78 %, уменьшение технологической себестоимости на 41 %.

Условно-годовая экономия при внедрении проектной технологии составляет 635 тыс. рублей. Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 607 тыс. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,2 года. Вышеизложенное позволяет сделать вывод о высокой экономической эффективности проектной технологии.

Заключение

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение эффективности сварочных работ при строительстве паропровода перегретого пара.

При выполнении базовой технологии сборки и сварки применяется ручная дуговая сварка. Недостатки применения ручной дуговой сварки штучными электродами: малая производительность выполнения сварочных работ, работа сварщика в тяжёлых условиях, низкая стабильность качества сварки, повышенный расход электродного материала на разбрызгивание и огарки.

Анализ преимуществ и недостатков возможных способов сварки позволил обосновать замену ручной дуговой сварки штучными электродами на механизированную сварку порошковой проволокой в защитных газах при заполнении разделки сварного шва.

Технология предусматривает последовательное выполнение операций: входной контроль, подготовку кромок, сборку, подогрев, прихватку, сварку корневого слоя шва, заполнение разделки, контроль качества.

Изучение особенностей технологического процесса сборки и сварки позволило идентифицировать опасные и вредные производственные факторы. На основании этих выделенных факторов предложен ряд стандартных средств и методик, позволяющих устранить опасный фактор или уменьшить его влияние на персонал до приемлемого уровня.

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 607 тыс. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,2 года.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод достижения цели.

Полученные результаты предлагается внедрить при сварке паропроводов технологических установок.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Березин В. Л., Суворов А. Ф. Сварка трубопроводов и конструкций. - М. : Недра, 1976. 359 с.
2. Векслер Е. Я., Чайковский В. М. Оценка поврежденности и прогнозирование остаточного ресурса паропроводов высокого давления после длительной эксплуатации // Энергетика та електрифікація. 1994. № 4. С. 9–14.
3. Гольдштейн М. И., Грачёв С. В., Векслер Ю. Г. Специальные стали : учебник для вузов. М. : Металлургия, 1985. 408 с.
4. ГОСТ 24278-89 Установки турбинные паровые стационарные для привода электрических генераторов ТЭС. Общие технические требования. Введ. 01.01.91. 23 с.
5. ГОСТ 24297-87 Входной контроль продукции. Основные положения.
6. ГОСТ 8.326-89 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическая аттестация средств измерений.
7. ГОСТ 8.513-84 Государственная система обеспечения единства измерений. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения
8. ГОСТ 9466-75 Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. Классификация и общие технические условия.
9. Дудко Д. А., Сидорук В. С., Зацерковный С. А., Махлин Н. М. Технология ручной дуговой сварки покрытыми электродами с модуляцией параметров режима // Автоматическая сварка. 1991. № 12. С. 59–60
10. Квасов Ф. В. Особенности механизированной сварки с управляемым переносом электродного металла // Сварочное производство. 1999. № 8. С. 27–31.
11. Коньк А. И. Использование присадочной проволоки для улучшения структуры сварных соединений из теплоустойчивых перлитных сталей // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2005. № 1. С. 52–55

12. Костюк. А. Г., Фролов В. В. Паровые и газовые турбины для электростанций. М. : «Машиностроение», 1985. 556 с.
13. Лебедев Б. Д., Цыган Б. Г. Исследование структуры швов, выполненных автоматической сваркой с присадкой и без нее // Сварочное производство. 1978. № 2. С. 39–41.
14. Лозовский М. М., Волохов А. П. Состав электродного покрытия : патент РФ № 2219032. МКИ В23К35/365. 2003.
15. Межевич В. Е. Повышение энергетической эффективности и энергосбережение – наша общая задача // Энергосовет, 2001. № 6. С. 15–16.
16. Накарякова В. И., Луканин В. Л. Способ дуговой сварки : патент РФ № 2071400. МКИ В23К9/173. 1997.
17. Неуймин, В.М. Тенденции совершенствования оборудования и технологий ТЭС // Новое в российской электроэнергетике, 2008. № 11. С. 5–16.
18. ОСТ 108.940.02-82 Швы сварных стыковых соединений трубопроводов тепловых электростанций.
19. Павлов Н. А., Пучкова Р. С., Русинова И. Н. Полуавтоматическая сварка труб из хромомолибденованадиевых сталей в смеси углекислого газа и аргона // Сварочное производство. 1981. № 1. С. 12–14.
20. Паровые турбины. Каталог продукции / ЗАО «Уральский турбинный завод», 2004. 31 с.
21. РД 03-19-2007 Положение об организации работы по подготовке и аттестации специалистов организаций, поднадзорных федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору.
22. ПБ 03-273-99 Правила аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства. Введ. 15.01.2000.
23. ПБ 10-573-03 Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды.

24. РД 153-34.1-003-01 Сварка, термообработка и контроль трубных систем котлов и трубопроводов при монтаже и ремонте энергетического оборудования.

25. РД 34.17.306 Методические указания по металлографическому анализу при оценке качества и исследовании причин повреждений сварных соединений паропроводов из сталей 12Х1МФ И 15Х1М1Ф тепловых электростанций.

26. Розерт Р. Применение порошковых проволок для сварки в промышленных условиях // Автоматическая сварка. 2014. № 6–7. С. 60–64.

27. РТМ–1С–81. Руководящие технические материалы по сварке, термообработке и контролю трубных систем котлов и трубопроводов при монтаже и ремонте оборудования тепловых электростанций. М. : Энергоиздат, 1982. 208 с.

28. Сараев Ю. Н. Управление переносом электродного металла при дуговой сварке с короткими замыканиями дугового промежутка // Автоматическая сварка. 1988. № 12. С. 16–23.

29. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т. / Ред. кол.: Г. А. Николаева. М.: Машиностроение, 1978. том 2. 462 с.

30. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов : учебное пособие. Тольятти : ТГУ, 2007. 301 с.

31. Сорокин В. Г., Волосникова А. В., Вяткин С. А. Марочник сталей и сплавов. М. : Машиностроение, 1989. 640 с.

32. Степанов Б. В., Игошин Л. В., Михайлов А. Н. Полуавтоматическая сварка в углекислом газе с применением присадочной проволоки // Сварочное производство. 1976. № 4. С. 36–37.

33. Хромченко Ф. А., Лаппа В. А., Калугин Р. Н. Диагностика и ресурс сварных соединений паропроводов ТЭС. Ч. 1. Анализ эксплуатационных повреждений сварных соединений и задачи технического диагностирования // Сварочное производство. 2001. №7. С. 8–9.

34. Хромченко Ф. А. Надежность сварных соединений труб, котлов и паропроводов. М. : Энергоиздат, 2001. 214 с.

35. Хромченко, Ф. А. Ресурс сварных соединений паропроводов. М. : Машиностроение, 2002. 351 с.

36. Щегляев А. В. Паровые турбины. М. : Энергоатомиздат. 1993. 384 с.

37. Шлепаков В. Н., Гаврилюк Ю. А., Котельчук А. С. Современное состояние разработки и применения порошковых проволок для сварки углеродистых и низколегированных сталей // Автоматическая сварка. 2010. № 3. С. 46–51.

38. Юхин, Н. А. Ручная сварка при сооружении и ремонте трубопроводов пара и горячей воды. М.: СОУЭЛО, 2007. 57 с.