

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ТОЛЬЯТТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт машиностроения  
Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные  
процессы»

Производство сварных конструкций  
Учебно-методическое пособие по выполнению практических работ для  
студентов направления подготовки 15.03.01 - «Машиностроение».

## СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	3
МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ.....	5
1. Введение к практической работе.....	5
2. Раздел «Свойства и область применения сплава».....	5
3. Раздел «Конструктивно-технологический анализ сварной конструкции и выбор условий осуществления сварки».....	8
4. Раздел «Разработка технологического процесса сварки».....	24
5. Раздел «Оформление производственно-технологической документации (ПТД) по технологии сварки».....	42
Приложения .....	54

## **ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

### **Цель выполнения практической работы**

Цель практической работы по дисциплине «Производство сварных конструкций» – сформировать у студента умение пользоваться алгоритмом разработки технологии сварки конструкций из сталей и сплавов с особыми свойствами на примере разработки технологии сварки конкретной специальной стали или сплава. В работе освещаются следующие вопросы: порядок анализа физико-химических и технологических свойств сплава, рациональный выбор способа сварки сплава на основе конструктивно-технологического анализа свариваемого изделия, порядок выбора сварочных материалов, методика выбора рациональных режимов сварки, назначение дополнительных технологических мероприятий (предварительный подогрев, последующая термообработка и т. д.) в зависимости от технологических свойств сплава и условий сварки, требования к оформлению технологии сварки в документальном виде.

### **Порядок выполнения практической работы**

1. Получить у преподавателя задание, содержащее марку свариваемого материала, толщину свариваемых элементов в зоне сварки, тип сварной конструкции, характерный размер конструкции (при необходимости), конфигурацию швов, характеристику производственных условий.
2. Дать общую характеристику сплава, указанного в задании, и охарактеризовать область его применения.
3. Привести физико-химические свойства сплава.
4. Выявить и описать характерные сложности, присущие сварке указанного в задании сплава.

5. Назначить мероприятия, позволяющие компенсировать или уменьшить негативное влияние на процесс сварки сложностей, указанных в п. 4.
6. Выбрать способ сварки.
7. Выбрать сварочные материалы.
8. Определить нормативный документ (ГОСТ, ОСТ, ТУ и т. п.), предъявляющий требования к форме и размерам подготовки кромок под сварку и параметрам готового шва. Выполнить чертёж свариваемых кромок с указанием параметров подготовки и сборки кромок под сварку и параметров готового шва.
9. Подобрать оптимальные значения параметров режима сварки.
10. Назначить дополнительные технологические мероприятия (предварительный подогрев, последующая термообработка и т. д.) в зависимости от технологических свойств сплава и условий сварки.
11. Спроектировать дополнительные приспособления и технические устройства (защитная камера-насадка, подкладной элемент и т. п.), необходимые для получения качественного сварного соединения.
12. Сформулировать технологические требования к сварке.
13. Выбрать форму карты технологического процесса сварки и заполнить её по требованиям ГОСТ 3.1407–86.

# **МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ**

## **1. Введение к практической работе**

Введение должно продемонстрировать понимание студентом актуальности и своевременности выполнения практической работы по предлагаемой ему тематике.

Введение должно содержать следующую информацию:

- структуру технологического изготовления сварной конструкции (по видам работ);
- описание специфики технологического процесса изготовления сварной конструкции, приведённой в задании практической работы (в зависимости от вида конструкции, условий изготовления, возможной степени механизации и пр.);
- описание места и роли курсового проекта в общей структуре дисциплины «Производство сварных конструкций»;
- формулировку цели работы;
- формулировку задач работы.

## **2. Раздел «Свойства и область применения сплава»**

### **2.1. Описание общей характеристики сплава и области его применения**

При описании общей характеристики сплава прежде всего рекомендуется дать информацию, к какому классу он относится по химическому составу, структуре и механическим свойствам. Затем привести сведения об эксплуатационных качествах сплавов данного типа. (Например: сталь 12МХ – относится к группе низколегированных теплоустойчивых хромомолибденовых сталей перлитного класса. Сплавы данного типа

характеризуются возможностью работы в нагруженном состоянии при температурах до 600 °С в течение длительного времени).

В дальнейшем рекомендуется охарактеризовать область применения класса материалов, к которому относится рассматриваемый сплав. После этого привести описание области применения конкретной марки сплава, указанной в задании, с приведением в качестве примеров конкретных конструкций, для изготовления которых применяется сплав. (Например: сплав ... применяется в тяжёлом машиностроении для изготовления узлов и деталей машин, испытывающих абразивный износ, таких как шестерни, полуоси, сателлиты, кулачки, шарниры и другие детали.) Необходимо также указать, в каком виде выпускается промышленностью указанный в задании сплав (листовой прокат, трубы, фасонный прокат и т. д.).

В задании должно быть описание:

- 1) общей характеристики сплава,
- 2) области применения сплава.

## **2.2. Физико-химические свойства сплава**

Первым шагом для грамотного и рационального составления технологии сварки является сбор и представление наиболее полной информации о составе и свойствах свариваемого материала.

Прежде всего разработчику технологии сварки материала с особыми свойствами необходимо знать его химический состав. Желательно информацию о химическом составе сплава оформить в виде таблицы.

Разработчику технологии важно представлять, какие из химических элементов, входящих в состав сплава, относятся к легирующим, а какие к примесям, а также важно иметь чёткое представление о влиянии легирующих элементов (или комплекса легирующих элементов при заданной системе легирования) на свойства свариваемого материала. Информация о химическом составе и влиянии легирующих элементов необходима для

правильного подбора сварочных материалов, оценки технологической прочности сплава, прогнозирования поведения материала при различных условиях сварки и т. п.

Часто для подбора сварочных материалов, определения необходимости и назначения параметров предварительного и сопутствующего подогрева, а также послесварочной термической обработки разработчику технологии необходимо знать состояние поставки материала и его механические свойства. Сплав с одним и тем же химическим составом может поставляться заводами-производителями в разных состояниях: например, без проведения упрочняющей обработки, в термически упрочнённом состоянии, в термомеханически упрочнённом состоянии. Различные состояния поставки будут характеризоваться разными механическими свойствами и могут отличаться исходной структурой сплава. Именно поэтому для сплавов с одинаковым химическим составом, но в разных состояниях поставки требуемый термический цикл сварки может иметь значительные особенности, которые обязательно следует учитывать при разработке технологии сварки сплава. Например, высокопрочная сталь в термомеханически упрочнённом состоянии, в отличие от той же марки стали без упрочняющей обработки, будет более склонна к образованию холодных трещин и разупрочнению в зоне термического влияния. Поэтому отличием технологии сварки двух таких материалов будет необходимость предварительного подогрева стали в термомеханически упрочнённом состоянии и жёсткий контроль температуры материала при сварке. Контроль температуры необходим потому, что упрочнённая сталь не должна перегреваться для ограничения разупрочнения (т. е. необходимо контролировать температуру прилегающих к шву кромок в процессе сварки, чтобы она не превышала максимально допустимую), а также прилегающие к шву кромки не должны в процессе сварки охлаждаться ниже минимально допустимой температуры (для снижения вероятности образования холодных трещин). Поддержание температуры свариваемых кромок выше минимально

допустимой может потребовать сопутствующего подогрева, а ниже максимально допустимой – технологических перерывов в процессе сварки.

В задании необходимо указать:

- 1) химический состав сплава (в виде таблицы);
- 2) какие элементы, входящие в состав сплава, относятся к легирующим, а какие к примесям;
- 3) влияние легирующих элементов на свойства сплава;
- 4) механические свойства сплава в различных состояниях поставки (в виде таблицы).

### **3. Раздел «Конструктивно-технологический анализ сварной конструкции и выбор условий осуществления сварки»**

#### **3.1. Сложности, присущие сварке сплава**

Следующим этапом в процедуре разработки технологии сварки сплавов с особыми свойствами является выявление сложностей, возникающих при сварке данного сплава. Этот этап необходим для того, чтобы грамотно назначить соответствующие технологические мероприятия, позволяющие компенсировать или уменьшить негативное влияние на процесс сварки выявленных особенностей, сформулировать основные требования к выбору сварочных материалов и конструкции сборочно-сварочных или вспомогательных приспособлений и др. Таким образом, данный этап заостряет внимание разработчика технологии на необходимости учитывать сложности, характерные для сварки данного сплава, при разработке технологического процесса.

Иногда при реализации этого этапа разработки технологии сварки следует увязывать потенциальные сложности при сварке сплава с условиями эксплуатации готовой сварной конструкции. Это вызвано тем, что некоторые дефекты, образующиеся в связи со сложностями при сварке, при



определённых условиях эксплуатации будут настолько незначительны, что ими можно пренебречь и не усложнять технологию сварки, пытаясь избежать этих дефектов. Так, конструкции из высоколегированных коррозионностойких сталей могут работать в контакте со средами, которые вызывают развитие межкристаллитной коррозии (МКК). При наличии требований к стойкости против МКК подбирать сварочный материал и разрабатывать технологию сварки следует таким образом, чтобы полученное сварное соединение не имело высокой склонности к развитию МКК. Если же изделие работает со средами, не вызывающими МКК, а в результате сварки сварное соединение будет склонно к развитию МКК, то для данных условий работы это будет незначительное отклонение, которым пренебрегают.

Для каждой группы материалов характерны свои сложности при сварке, которые и следует обозначить в этой части курсового проекта. Например, высокопрочные стали, как правило, имеют высокую склонность к образованию холодных трещин и разупрочнению в зоне термического влияния. Основной сложностью при сварке титановых сплавов является их высокая химическая активность при взаимодействии с азотом, кислородом, водородом при нагреве сплавов выше 350–400 °С.

Помимо простой констатации сложностей при сварке в этой части практического задания необходимо детально описать причины возникновения этих сложностей.

В задании необходимо привести:

- 1) перечень и описание характерных сложностей, присущих сварке указанного в задании сплава;
- 2) подробное описание причин возникновения выявленных сложностей.

### **3.2. Мероприятия, позволяющие компенсировать или уменьшить негативное влияние сложностей при сварке**

В этой части практической работы студент должен в общем виде привести все известные ему мероприятия, которые могут позволить избежать дефектов сварных соединений, вызванных выявленными ранее сложностями при сварке. Здесь необходимо привести все возможные мероприятия, не привязываясь к большей части конкретных данных, изложенных в практическом задании (толщину материала, геометрию шва и т. п.).

В дальнейшем сформулированные в этой части работы мероприятия послужат подсказкой для разработки следующих частей практической работы, в которых эти мероприятия будут уточняться и детализироваться в зависимости от условий, изложенных в задании.

При разработке последующих частей практической работы следует всегда в первую очередь анализировать необходимость и возможность применения того или иного выделенного мероприятия и в случае включения его в разрабатываемую технологию уточнять и детализировать это мероприятие применительно к условиям своего задания.

В задании необходимо указать:

- 1) перечень мероприятий, позволяющих компенсировать или уменьшить негативное влияние сложностей при сварке;
- 2) почему каждое из предложенных мероприятий позволяет компенсировать или уменьшить негативное влияние сложностей при сварке.

### **3.3. Выбор способа сварки**

Задача по выбору способа сварки решается разработчиком технологии исходя из конкретных производственных условий, в которых будет изготавливаться сварная конструкция. Однако можно выделить ряд общих критериев выбора, руководствуясь которыми разработчик технологии может

выделить группу из нескольких практически равнозначных способов сварки, из которых в дальнейшем выберет один, наиболее подходящий для конкретных условий производства на предприятии.

Выбор способа сварки следует выполнять на основе конструктивно-технологического анализа сварной конструкции. При выборе способа сварки основными критериями, по которым ведётся анализ возможности и рациональности применения конкретного способа сварки, являются:

- химическая активность материала сварной конструкции;
- толщина материала;
- протяжённость, конфигурация и положение швов в пространстве;
- соответствие степени механизации способа сварки условиям производства сварной конструкции;
- соотношение преимуществ и недостатков анализируемых способов сварки.

Анализируя химическую активность материала сварной конструкции, следует акцентировать внимание на вопросе активности взаимодействия материала в процессе сварки с окружающей и защитной средой. Необходимо чётко представлять, входят ли в состав материала элементы, склонные к активному окислению (выгоранию) при сварке, как меняется активность взаимодействия сплава с газами при нагреве и т. п. Целью анализа по этому критерию является выбор способов сварки, обеспечивающих качественную защиту зоны сварки от взаимодействия с окружающей средой. Например, низколегированные высокопрочные стали обладают невысокой химической активностью. В состав этих сталей, как правило, не входят элементы, обладающие большим сродством к кислороду и активно выгорающие при сварке, или их содержание незначительно, поэтому для сварки этих сталей могут быть применены практически все известные способы сварки.

А вот титановые сплавы имеют очень высокую химическую активность, которая возрастает с повышением температуры материала. Металл, нагретый до температуры выше 350–400 °С, активно

взаимодействует с кислородом, водородом, азотом, содержащимися как в окружающей среде, так и в защитной атмосфере дуги. Поэтому для сварки титановых сплавов могут подойти только способы, основанные на создании бескислородной защитной атмосферы, т. е. в среде инертных газов или под основными (бескислородными) флюсами.

Критерий толщины материала также является важным при выборе способа сварки. Ряд способов по тем или иным причинам (техническим, экономическим и т. п.) рационально использовать для сварки определённых толщин. Например, сварку под слоем флюса рационально использовать для толщин более 4–6 мм; аргонодуговую сварку неплавящимся электродом рационально использовать для толщин не более 4 мм, а при больших толщинах рекомендуется использовать комбинированную сварку (т. е. корень шва выполнить аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом, а заполнение разделки вести другим способом сварки); газовую сварку рекомендуют использовать для толщин не более 5 мм и т. п. Таким образом, для условий, указанных в задании на курсовой проект, подходят не все способы, выбранные по критерию химической активности материала.

Такие факторы, как протяжённость, конфигурация и положение швов в пространстве, также оказывают значительное влияние на выбор способа сварки. Сначала нужно чётко определиться с характеристиками понятий «протяжённость», «конфигурация» и «положение швов в пространстве» для конкретных условий, указанных в практическом задании. В дальнейшем необходимо проанализировать пригодность способов, выбранных на предыдущих этапах анализа, для выполнения швов заданных вам протяжённости и конфигурации в определённых пространственных положениях. Так, автоматическую сварку под слоем флюса целесообразно использовать для сварки швов большой протяжённости, в нижнем положении сварки при угле наклона изделия к горизонту не более  $6^\circ$ ; для сварки неповоротных стыков труб механизированную сварку плавящимся электродом в защитном газе рекомендуется использовать при диаметре

трубы не менее 100 мм, а при меньшем диаметре использовать сварку неплавящимся электродом; автоматическими способами сварки рекомендуется выполнять прямолинейные швы, а швы сложной конфигурации эффективнее всего выполнять ручной или механизированной сваркой; сварка поворотных стыков труб под слоем флюса рекомендуется для труб диаметром не менее 325 мм, что связано со сложностью удержания флюса на поверхности трубы и проблемами формирования шва.

После подбора перечня возможных способов сварки, сформированного по результатам реализации предыдущих этапов анализа, необходимо проанализировать соответствие степени механизации выделенных способов сварки условиям производства сварной конструкции, указанным в задании на проектирование. При выполнении этого этапа анализа нужно учитывать следующее:

- автоматические способы сварки наиболее рационально использовать в массовом и крупносерийном производстве или в серийном производстве при выпуске однотипной продукции;
- для мелкосерийного, единичного или ремонтного производства рациональным является применение механизированных и ручных способов сварки;
- автоматические способы сварки наиболее приемлемы в заводских условиях и условиях производственных баз;
- в монтажных условиях предпочтительным является применение ручных или механизированных способов сварки.

Выбор способа сварки при использовании вышеизложенных критериев рекомендуется вести по следующей методике.

1. По результатам анализа химической активности материала формируется перечень способов, обеспечивающих качественную защиту зоны сварки от взаимодействия с окружающей средой.

2. На втором этапе (анализ способов по пригодности для сварки заданной толщины материала) анализу подвергаются только те способы,

которые выделены на первом этапе (анализ химической активности). Добавление новых способов сварки после окончания первого этапа анализа не допускается. В результате второго этапа анализа из списка, сформированного на первом этапе, исключаются способы, непригодные или нецелесообразные для сварки заданной толщины материала.

3. На третьем этапе из перечня способов, оставшихся после второго этапа анализа, исключаются те, применение которых невозможно или неэффективно для сварки швов с протяжённостью, конфигурацией или пространственным положением, указанными в задании на проектирование.

4. На четвёртом этапе из перечня способов, оставшихся после третьего этапа анализа, исключаются те, степень механизации которых неэффективна или не позволяет использовать их в условиях производства сварной конструкции, указанных в задании на проектирование.

В результате реализации четырёх этапов процедуры выбора способа сварки, как правило, остаются несколько способов, удовлетворяющих всем вышеуказанным критериям. Таким образом, по этим критериям для условий, указанных в практическом задании, эти способы сварки являются равноценными. Однако разработчику технологии следует остановить выбор на конкретном способе сварки. Для того чтобы его выбрать, необходимо реализовать последний этап, заключающийся в анализе преимуществ и недостатков рассматриваемых способов сварки. Для каждого способа формулируются присущие ему преимущества и недостатки, как в общем, так и применительно к сварке рассматриваемого материала. В реальных производственных условиях такой анализ дополняется ещё и анализом технической возможности и экономической эффективности реализации конкретного способа в имеющихся производственных условиях.

При выполнении практической работы можно ограничиться анализом преимуществ и недостатков способов, выбранных после проведения первых четырёх этапов анализа. Причём формулировать преимущества и недостатки способов следует не в отрыве от условий задания на проектирование, а

непрерывно учитывая эти условия. Так, формулируя преимущества и недостатки, нужно проанализировать каждый способ сварки на возможность (или невозможность) реализации сформулированных ранее мероприятий, позволяющих компенсировать или уменьшить негативное влияние сложностей при сварке. Например, если в сформулированных ранее мероприятиях имеется рекомендация, что сварку нужно выполнять на режимах с малой погонной энергией, то, выбирая между автоматическими сварками под слоем флюса или в защитном газе, в качестве недостатка сварки под слоем флюса следует указать: «Сварка преимущественно на режимах с высокой погонной энергией». Если осуществлять выбор из тех же способов сварки при наличии рекомендации вести сварку узкими валиками небольшого сечения, то в качестве преимущества автоматической сварки в защитном газе следует указать: «Возможность сварки узкими валиками небольшого сечения». Если имеется рекомендация, что шов должен иметь высокую стабильность состава и свойств металла по всей длине, то возможность получения шва с более высокой стабильностью состава и свойств металла может быть указана в качестве преимущества автоматической сварки под слоем флюса и т. п.

Таким образом, в результате анализа способов сварки обоснованно назначается один способ сварки, который наиболее подходит к условиям, сформулированным в задании.

В задании должны быть отражены:

- 1) анализ способов сварки по первым четырём критериям выбора способа сварки с обоснованным выводом по каждому этапу анализа;
- 2) таблица «Анализ преимуществ и недостатков способов сварки»;
- 3) точная формулировка выбранного способа сварки.

### 3.4. Выбор сварочных материалов

Задача по выбору сварочных материалов является одной из важнейших в процессе разработки технологии сварки. Назначенная марка сварочных материалов (или их сочетание) определяет химический состав металла шва и, как следствие, механические и эксплуатационные свойства сварного соединения. Решение задачи по выбору сварочных материалов должно идти в тесной связи с условиями эксплуатации сварной конструкции.

Выбор сварочных материалов должен выполняться с учётом следующих основных факторов:

- специфические особенности выбранного способа сварки;
- химический состав металла сварной конструкции;
- условия эксплуатации конструкции (температура эксплуатации, избыточное давление, наличие коррозионно активных сред и т. п.).

Выбранный на предыдущем этапе анализа способ сварки влияет прежде всего на выбор видов применяемых сварочных материалов. В зависимости от способа сварки можно указать следующие виды сварочных материалов:

- ручная дуговая сварка покрытым электродом – покрытый металлический электрод;
- сварка под слоем флюса (или по флюсу) – проволока сплошного сечения и флюс;
- сварка в защитном газе неплавящимся электродом – газ защитный, проволока присадочная, электрод неплавящийся;
- сварка в защитном газе плавящимся электродом – газ защитный, проволока электродная;
- газовая сварка – газ горючий, кислород технический, присадочная проволока;
- сварка порошковой проволокой – газ защитный, проволока порошковая;



- сварка самозащитной порошковой проволокой – самозащитная порошковая проволока.

После определения вида сварочного материала приступают к назначению типов и марок сварочных материалов. При их назначении следует стремиться к идентичности химического состава основного металла и металла сварного шва, так как при этом увеличивается вероятность достижения равнопрочности основного металла и металла шва, а также увеличивается коррозионная стойкость сварного соединения.

На этом шаге следует помнить, что химический состав электродного или присадочного металла и химический состав металла шва далеко не одно и то же. Следует иметь в виду, что при сварке активно протекают металлургические процессы, приводящие к отличию итогового химического состава металла шва от химического состава электродного или присадочного металла (часть элементов выгорает, часть в результате химических реакций переходит в шлак и т. п.). Выбор материала по химическому составу необходимо производить на основе анализа химического состава наплавленного металла. Информацию о химическом составе наплавленного металла можно взять в техническом описании (ГОСТ или ТУ) любой современной марки сварочной проволоки или покрытого электрода.

Назначая сварочный материал по критерию химического состава, необходимо также помнить о том, что важное значение имеет не просто отдельное назначение элементов комплекса сварочных материалов, например марки сварочной проволоки и марки сварочного флюса, а обоснованное назначение сочетания сварочных материалов: флюс – проволока, защитный газ – проволока и т. п. Это необходимо учитывать потому, что одна и та же марка проволоки в сочетании с разными марками флюса даёт совершенно различные химические составы металла шва. То же наблюдается и при сварке в защитных газах. Например, при сварке в среде активного газа (допустим, углекислого) происходит активное выгорание ряда химических элементов, в то время как при сварке в инертном газе это выгорание гораздо

менее интенсивно. Следовательно, чтобы при сварке и в активном и в инертном газе получить металл шва одинакового состава, необходимо в первом случае применять более легированную проволоку, чем во втором.

Значительное влияние на выбор сварочных материалов оказывают условия эксплуатации сварной конструкции, такие как рабочая температура, рабочее давление и т. п. Разные условия эксплуатации диктуют различные требования к свойствам сварного соединения, а следовательно, и к его химическому составу. Во многих конструкциях значительную роль играет химическая активность рабочей среды, поэтому повышаются требования к коррозионной стойкости изделия. Так, существенное значение при выборе материала имеет наличие требований по стойкости к межкристаллитной коррозии (МКК). При наличии таких требований для сварки применяется один сварочный материал, в то время как при отсутствии требований к МКК используется более дешёвый и менее легированный сварочный материал.

Условия эксплуатации будут оказывать влияние и на возможность реализации мероприятий, позволяющих компенсировать или уменьшить негативное влияние сложностей при сварке. Так, чтобы избежать образования холодных трещин в высокопрочной стали и упростить при этом технологию сварки, для малонагруженной сварной конструкции возможно использование аустенитного варианта сварки (т. е. получение аустенитного металла шва), в то время как такой вариант будет совершенно не применим для конструкций, работающих в тяжёлых условиях нагружения или в условиях возможности развития межкристаллитной коррозии.

Как правило, для изделий определённых групп характерны свои специфические факторы, определяющие условия работы. В этом отношении можно выделить, например, такие группы: сосуды, работающие под давлением, технологические трубопроводы, магистральные трубопроводы, металлоконструкции подъёмно-транспортного оборудования, строительные металлоконструкции и т. п. Опыт использования различных сварочных материалов обобщён в зависимости от группы изготавливаемых изделий.

Этот опыт представлен в виде рекомендаций по выбору сварочных материалов в нормативной документации по каждой группе изделий. В практическом задании сформулирована «Группа типовых изделий, к которой относится конструкция», а также указан нормативный документ, требования которого рекомендуется учесть при разработке технологии. В этих нормативных документах содержится перечень рекомендуемых к использованию сварочных материалов в зависимости от условий эксплуатации изделия.

Таким образом, алгоритм выбора сварочных материалов при выполнении задания будет выглядеть так:

- определение видов сварочных материалов в зависимости от выбранного способа сварки;
- определение перечня марок (или сочетания марок) сварочных материалов, рекомендуемых нормативными документами для указанного в задании сплава и условий его эксплуатации;
- подбор из определённого на предыдущем этапе перечня марок материалов таких, которые обеспечивали бы максимально возможное сходство химического состава основного металла и металла сварного шва.

При использовании аустенитного варианта сварки высокопрочных или теплоустойчивых сталей последний этап выбора сварочных материалов опускается.

В задании должны быть отражены:

- 1) определение видов сварочных материалов в зависимости от выбранного способа сварки;
- 2) описание специфических условий эксплуатации конструкции и вытекающих отсюда требований к сварным соединениям;
- 3) перечень марок (или сочетания марок) сварочных материалов, рекомендуемых нормативными документами для указанного в задании сплава и условий его эксплуатации;

4) обоснованный выбор конкретной марки (или сочетания марок) сварочного материала.

### **3.5. Выбор конструкции сварного соединения**

Следующим этапом разработки технологии сварки является выбор (проектирование) и обоснование конструкции сварного соединения в изготавливаемом изделии.

Выбор (проектирование) конструкции сварного соединения должен выполняться с учётом следующих основных факторов, оказывающих существенное влияние на эту процедуру:

- тип сварной конструкции, определяющий возможность выполнения сварного соединения с одной или двух сторон;
- тип сварного соединения: стыковое, угловое, тавровое или нахлесточное;
- материал конструкции;
- условия эксплуатации конструкции;
- выбранный способ сварки;
- геометрические характеристики изделия в месте расположения сварного соединения: толщина соединяемых кромок, диаметр изделия или радиус кривизны поверхности в месте соединения и т. п.

Тип сварной конструкции указан в задании на проектирование и, как правило, определяет возможность выполнения сварного соединения с одной или двух сторон. Так, листовая открытая конструкция обеспечивает свободный доступ к сварному соединению с обеих сторон, в то время как коробчатые балки закрытого сечения или трубопроводы диаметром примерно до 900 мм обеспечивают свободный доступ к сварному соединению только с одной стороны.

При выборе конструкции сварного соединения в зависимости от ее типа необходимо учитывать следующие рекомендации.

- Односторонние сварные соединения являются экономически более выгодными и более технологичными, чем двухсторонние, поскольку выполнение двухсторонних соединений, как правило, сопряжено с большей длительностью процесса и увеличением его трудоёмкости, необходимостью перенастройки оборудования или использования большего количества сварочного оборудования. Односторонние соединения могут быть со свободным или принудительным формированием корневого слоя шва. Более выгодными являются, конечно, соединения со свободным формированием корня, поскольку они не требуют применения дополнительной технологической оснастки, такой как подкладные элементы (остающиеся или съёмные), флюсовые подушки, и упрощают конструкцию сварного соединения. Однако при выборе одностороннего соединения со свободным формированием корня шва следует иметь в виду, что эти соединения характеризуются наибольшей нестабильностью качества из-за низкой стабильности качественного формирования корня шва. По этой причине соединения со свободным формированием корня рекомендуется использовать для ручных способов сварки или для автоматических способов сварки с наличием систем управления с обратной связью и не рекомендуется использовать для автоматических способов сварки без систем управления с обратной связью (т. е. с жёстким заданием режимов).

- Двухсторонние сварные соединения являются менее технологичными, но обеспечивающими более высокое и стабильное качество. Поэтому в современных условиях везде, где это возможно, необходимо стремиться к использованию в конструкции двухсторонних соединений как более качественных.

После определения того, будет ли соединение односторонним или двухсторонним, необходимо выбрать конкретную конструкцию соединения.

В первую очередь на конструкцию соединения оказывает влияние тип сварного соединения, т. е. стыковое, угловое, тавровое или нахлесточное. Однако только тип соединения не позволит конкретизировать требования к

конструкции сварного соединения. Как правило, для этого нужно знать способ сварки, материал конструкции, условия её работы и её геометрические характеристики.

В инженерной практике существует ряд рассчитанных и известных конструкций сварных соединений. Как правило, эти конструкции приводятся в Государственных стандартах (ГОСТ) на типы и конструктивные элементы сварных соединений. В основном ГОСТы специализированы по способам сварки, однако встречаются ГОСТы, специализированные по свариваемым материалам (например, алюминий или титан) или типу свариваемых конструкций, например, сварные соединения трубопроводов, сосудов, работающих под давлением, арматура и закладные изделия и т. п.

Перечень наиболее часто используемых ГОСТов на типы и конструктивные элементы сварных соединений приводится в табл. 1.

Таблица 1 - Перечень нормативных документов, регламентирующих требования к конструкции сварных соединений

Шифр документа	Название документа
ГОСТ 5264–80	Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры
ГОСТ 8713–79	Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры
ГОСТ 11533–75	Автоматическая и полуавтоматическая дуговая сварка под флюсом. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры
ГОСТ 11534–75	Ручная дуговая сварка. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры
ГОСТ 14098–14	Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Типы, конструкции и размеры
ГОСТ 14771–76	Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры
ГОСТ 14776–79	Дуговая сварка. Соединения сварные точечные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры
ГОСТ 27580–88	Дуговая сварка алюминия и алюминиевых сплавов в инертных газах. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные

	элементы и размеры
ГОСТ 14806–80	Дуговая сварка алюминия и алюминиевых сплавов в инертных газах. Основные типы, конструктивные элементы и размеры
ГОСТ 15164–78	Электрошлаковая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры
ГОСТ 15878–79	Контактная сварка. Соединения сварные. Конструктивные элементы и размеры
ГОСТ 16037–80	Соединения сварные стальных трубопроводов. Основные типы, конструктивные элементы и размеры
ГОСТ 23518–79	Дуговая сварка в защитных газах. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры

Как было сказано выше, в зависимости от условий работы все сварные конструкции делятся на различные группы. Для каждой группы изделий либо принимаются стандартные конструкции сварных соединений, либо, если это необходимо, стандартные конструкции уточняются в зависимости от условий работы изделия. В этом случае конструкции соединений приводятся в отраслевых или ведомственных нормативных документах: ОСТ (отраслевой стандарт), РД (руководящий документ), ВСН (ведомственные строительные нормы), СНиП (строительные нормы и правила) и т. п.

После выбора нормативного документа, регламентирующего требования к конструкции сварного соединения, необходимо (исходя из того, какое выбрано соединение – одностороннее или двустороннее, какого типа и с какими геометрическими характеристиками соединяемых элементов) по назначенному нормативному документу определить конкретную конструкцию сварного соединения (каждая конструкция имеет свой шифр, состоящий из буквенно-цифрового обозначения, например С17, Т7, Н2, У18 и т. п.).

В практическом задании необходимо привести чертеж (рисунок, схему) конструктивных элементов подготовки и сборки кромок под сварку для условий, указанных в вашем задании, с указанием всех необходимых

размеров, а также чертёж (рисунок, схему) готового сварного шва с указанием всех необходимых размеров.

При выборе конструкции сварного соединения необходимо учитывать все ограничения, накладываемые на этот процесс маркой материала, указанного в задании. Например, для высокопрочных сталей не допускаются сварные соединения с остающимися подкладными элементами или замковые соединения, а выбранные сварные соединения должны иметь полное проплавление (т. е. соединения с конструктивным непроваром не допускаются).

В задании должны быть отражены:

- 1) обоснование выбора одно- или двухстороннего сварного соединения исходя из анализа типа конструкции, указанного в задании;
- 2) выбор нормативного документа, регламентирующего требования к конструкции сварного соединения;
- 3) обоснование выбора конкретной конструкции сварного соединения по назначенному нормативному документу;
- 4) шифр выбранной конструкции сварного соединения по нормативному документу;
- 5) чертеж (рисунок, схему) конструктивных элементов подготовки и сборки кромок под сварку с указанием всех необходимых размеров;
- 6) чертеж (рисунок, схему) готового сварного соединения с указанием всех необходимых размеров и определением диапазонов, в которых лежат допустимые размеры сварного шва.

#### **4. Раздел «Разработка технологического процесса сварки»**

##### **4.1. Назначение величины параметров режима сварки**

Прежде всего необходимо определиться с набором параметров режима сварки. Он зависит главным образом от выбранного способа сварки.



Напомним, какие основные параметры режима сварки можно выделить для различных способов сварки (табл. 2). В табл. 2 приведены наиболее широко применяемые в промышленности способы сварки, для остальных способов набор параметров режимов будет дополняться по сравнению с параметрами, указанными в табл. 2.

Таблица 2 - Параметры режима сварки в зависимости от выбранного способа сварки

Способ сварки	Параметры режима сварки
Ручная дуговая сварка покрытым электродом	Диаметр электрода (вид покрытия); Род, полярность тока; Сила сварочного тока
Механизированная дуговая сварка плавящимся электродом в защитном газе	Диаметр электродной проволоки; Род, полярность тока Номер слоя шва; Сила сварочного тока; Напряжение дуги; Скорость подачи электродной проволоки*; Расход защитного газа; Расход газа на поддув
Автоматическая дуговая сварка плавящимся электродом в защитном газе	Диаметр электродной проволоки; Род, полярность тока; Номер слоя шва; Сила сварочного тока; Напряжение дуги; Скорость подачи электродной проволоки*; Скорость сварки; Расход защитного газа; Расход газа на поддув
Автоматическая дуговая сварка плавящимся электродом под слоем флюса	Диаметр электродной проволоки; Род, полярность тока; Номер слоя шва; Сила сварочного тока; Напряжение дуги; Скорость подачи электродной проволоки*; Скорость сварки; Высота флюса в зоне сварки; Вылет электрода
Ручная дуговая сварка неплавящимся электродом в защитном газе	Диаметр присадочной проволоки; Диаметр неплавящегося электрода; Род, полярность тока; Номер слоя шва; Сила сварочного тока; Расход защитного газа; Расход газа на поддув
Автоматическая дуговая сварка неплавящимся электродом в защитном газе	Диаметр присадочной проволоки; Диаметр неплавящегося электрода; Род, полярность тока; Номер слоя шва; Сила сварочного тока; Напряжение дуги; Скорость подачи присадочной проволоки; Скорость сварки; Расход защитного газа

Примечание. \* При механизированной и автоматической сварке плавящимся электродом такие параметры, как сила сварочного тока и скорость подачи электродной проволоки, являются взаимозависимыми (т.е. не регулируемые)

отдельно). Поэтому, как правило, в настройках присутствует только один из данных параметров.

Итак, вначале определяются с набором параметров режима сварки. Затем необходимо назначить допустимый диапазон изменения каждого параметра и/или его конкретное значение с указанием допустимого отклонения. Значения некоторых параметров режима сварки определяются выбранным способом сварки и/или сварочным материалом (например, если для сварки выбраны покрытые электроды с основным видом покрытия, то сварка может выполняться только на постоянном токе обратной полярности; если выбран способ сварки плавящимся электродом в углекислом газе, то сварка также может выполняться только на постоянном токе обратной полярности).

Диаметр электрода при сварке покрытым электродом, как правило, ассоциируют с толщиной свариваемого металла. Однако это зачастую не является правильным подходом. Диаметр электрода необходимо выбирать исходя из сочетания таких параметров, как номер слоя шва и толщина металла. Обычно для выполнения корневого и подварочного слоев шва рекомендуется использовать электроды диаметром 2,5; 3,0; 3,25 мм. Для заполняющих и облицовочного слоев рекомендуют использовать электроды диаметром 3,0; 3,25 или 4 мм. Выбор диаметра электрода для заполняющих и облицовочного слоев будет зависеть и от толщины металла. При толщине металла до 7–8 мм сварку заполняющих (одного или двух) и облицовочного слоев шва рекомендуется выполнять электродами диаметром 3,0 или 3,25 мм. При большей толщине рекомендуют электроды диаметром 4 мм. Значительно реже для сварки заполняющих и облицовочного слоёв используют электроды диаметром 5 мм.

При сварке в среде защитного газа диаметр электродной или присадочной проволоки, как правило, зависит от толщины свариваемого металла. Например, при сварке низколегированных и высоколегированных

сталей аустенитного класса рекомендации по выбору диаметра электродной проволоки можно сформулировать так, как это сделано в табл. 3.

Таблица 3 - Зависимость диаметра сварочной проволоки от толщины свариваемого металла

Толщина свариваемого металла, мм	Диаметр сварочной проволоки, мм
До 2 включ.	0,8–1,0
Св. 3 до 5	1,0–1,2
4–6	1,2–1,4
6–10	1,4–1,6
10 и более	1,6–2,0

Однако при назначении диаметра электродной проволоки при сварке в защитном газе следует иметь в виду, что в последнее время наибольшее предпочтение отдаётся проволокам небольшого диаметра 0,8–1,2 мм. Использование таких проволок позволяет снизить разрызгивание металла, обеспечить мелкокапельный или струйный перенос электродного металла, увеличить стабильность процесса.

При сварке неплавящимся электродом в качестве присадочной проволоки используют прутки диаметром 1,6–3 мм. Иногда допускается применение прутков диаметром 4 мм, но их использование весьма ограничено. Более конкретные рекомендации указаны в табл. 4.

Таблица 4 - Рекомендуемый диаметр присадочной проволоки при сварке неплавящимся электродом

Толщина свариваемого металла, мм	Диаметр проволоки, мм
2–6	1,6–2,0
6–12	2,0–3,0
12–20	3,0–4,0

Для автоматической сварки неплавящимся вольфрамовым электродом используют присадочную проволоку диаметром 0,8–1,2 мм независимо от

толщины свариваемого металла. Проволоки большего диаметра, как правило, не применяют.

Для автоматической сварки под слоем флюса используются электродные проволоки диаметром 2–5 мм. Единые рекомендации по рациональному выбору диаметра электродной проволоки при сварке под флюсом дать сложно. Величина диаметра проволоки будет определяться сочетаниями таких параметров, как толщина и диаметр трубы (или сосуда).

Конкретные рекомендации по выбору диаметра электродной или присадочной проволоки необходимо брать в нормативной документации, указанной в задании на курсовой проект, учитывающей особенности применения конкретного способа сварки для определённой группы сталей и сплавов.

Род и полярность сварочного тока зависят от выбранного способа сварки. Некоторые рекомендации по возможным значениям рода тока и его полярности приведены в табл. 5.

Важным параметром режима сварки является и количество слоёв шва. Единые рекомендации по назначению этого параметра указать сложно. Количество слоёв шва будет зависеть от ряда факторов:

- выбранный способ сварки;
- толщина свариваемого металла;
- диаметр присадочной или электродной проволоки.

Таблица 5 - Род и полярность сварочного тока для различных способов сварки

Способ сварки	Род и полярность сварочного тока
Ручная дуговая сварка покрытым электродом с основным видом покрытия	Постоянный ток обратной полярности
Ручная дуговая сварка покрытым электродом с рутиловым видом покрытия	Постоянный ток обратной полярности; Переменный ток
Механизированная и	Постоянный ток обратной полярности

автоматическая дуговая сварка плавящимся электродом в защитном газе	
Ручная и автоматическая дуговая сварка неплавящимся электродом в защитном газе	Постоянный ток прямой полярности
Автоматическая дуговая сварка плавящимся электродом под слоем флюса	Постоянный ток обратной полярности; Постоянный ток прямой полярности; Переменный ток

Для ручной дуговой сварки обобщённые рекомендации по выбору количества слоёв шва можно указать так, как это сделано в табл. 6.

Таблица 6 - Рекомендации по количеству слоёв шва при выполнении соединения ручной дуговой сваркой покрытыми электродами

S, мм	Кол-во слоёв шва	S, мм	Кол-во слоёв шва	S, мм	Кол-во слоёв шва	S, мм	Кол-во слоёв шва	S, мм	Кол-во слоёв шва
3	2	8	2–3	16	4–5	26	8–12	36	16–18
4	2	10	3–4	18	5–8	28	8–12	38	16–18
5	2	12	3–4	20	5–8	30	12–16	40	16–18
6	2–3	14	4–5	22	5–8	32	12–16	42	18–22
7	2–3	16	4–5	24	8–12	34	16–18	44	18–22

При сварке под слоем флюса можно выделить следующие обобщённые рекомендации по минимальному количеству слоёв шва (табл. 7).

Для сварки неплавящимся вольфрамовым электродом в защитном газе рекомендации по количеству слоёв шва приведены в табл. 8. При толщине более 10 мм использование аргонодуговой сварки всего сечения шва становится нерациональным.

Таблица 7 - Минимальное число слоев шва, выполняемых автоматической сваркой под флюсом

Толщина металла, мм	Минимальное число автоматных слоев шва
От 8,0 до 11,5	1
От 11,6 до 17,5	2
От 17,6 до 21,5	2

От 21,6 до 24,0	3
От 24,1 до 32,0	4
От 32,1 до 46	6
От 46,1 до 54	8
От 54,1 до 60	10

Таблица 8 - Минимальное число слоев шва, выполняемых дуговой сваркой неплавящимся электродом в защитном газе

Толщина металла, мм	Минимальное число автоматных слоев шва
До 4 мм	2
Свыше 4 до 7	3
Свыше 7 до 10	4

Остальные параметры режимов сварки – сила сварочного тока, напряжение дуги, скорость сварки, скорость подачи проволоки и т. п. – назначаются на основе рекомендаций нормативной документации, указанной в задании на курсовой проект и учитывающей особенности применения конкретного способа сварки для определённой группы сталей и сплавов.

Приводить режим сварки в технологической документации рекомендуется в виде таблицы, в которой указываются полный набор параметров режима сварки и их конкретные значения.

При определении конкретных значений для каждого параметра режима сварки рекомендуется иметь в виду, что на современном этапе развития сварочной техники нормальной считается величина допустимого отклонения параметра в пределах  $\pm 5\%$ .

В отчете к заданию необходимо указать:

- 1) назначенный набор параметров режима сварки в зависимости от выбранного способа сварки;
- 2) обоснование применяемого диаметра электродной или присадочной проволоки;
- 3) обоснование выбранного рода и полярности сварочного тока;

- 4) назначение или расчёт количества слоёв шва;
- 5) величины остальных параметров режима сварки для каждого слоя сварного шва (в виде таблицы).

#### **4.2. Обоснование необходимости и назначение параметров предварительного подогрева**

Подогрев кромок перед сваркой (или в процессе сварки – сопутствующий подогрев) выполняется, как правило, с целью уменьшения склонности сплавов к образованию холодных трещин и служит для уменьшения неравномерности нагрева свариваемых кромок по толщине на участке заданной длины.

Определение необходимости предварительного подогрева и его параметров осуществляется в зависимости от марки сплава и его толщины. Для различных групп сплавов существуют свои закономерности в назначении параметров предварительного подогрева. Некоторые общие рекомендации для сварки низколегированных высокопрочных и теплоустойчивых сталей приведены в табл. 9.

Таблица 9 - Температура подогрева стыков труб перед прихваткой и сваркой дуговыми способами сварки

Марка стали свариваемых деталей	Номинальная толщина свариваемых деталей, мм	Температура подогрева, °С
Низколегированные высокопрочные стали	До 30 вкл. Свыше 30	— 100–150
12МХ, 15ХМ	До 10 включительно Свыше 10 до 30 вкл. Свыше 30	— 150–200 200–250
12Х1МФ, 12Х2М1, 20ХМЛ	До 10 вкл. Свыше 10 до 30 вкл. Свыше 30	— 200–250 250–300
20ХМФЛ,	До 10 вкл.	—

15X1M1ФЛ, 15X1M1Ф-ЦЛ, 15X1M1Ф	Свыше 10	300–350
12X2МФСР, 12X2МФБ	До 6 вкл. Свыше 6	— 300–350

Общие рекомендации по предварительному подогреву при сварке алюминиевых сплавов приведены в табл. 10.

Таблица 10 - Максимальная температура подогрева некоторых алюминиевых сплавов

Сплав	Толщина металла, мм	Температура, °С	Продолжительность нагрева, мин
А99, АД1	Любая	350	60
АМц	Любая	250	60
АМг3, АМг4, АМг5	<12	100	30
	>12	150	10
АД31, АД33, АВ	<12	180	60
	>12	200	30
1915	<12	140	30
	>12	160	20

Подогревать стык можно индукторами (током промышленной или средней частоты), радиационными нагревателями сопротивления, газовым пламенем, обеспечивая нагрев стыка по всему периметру.

Односопловые газовые горелки допускается применять только на элементах трубопроводов условным проходом не более 100 мм. При этом рекомендуются асбестовые или стальные воронки, позволяющие более равномерно вводить тепло в металл.

Предварительный и сопутствующий подогрев при отрицательных температурах окружающего воздуха ввиду большой скорости охлаждения следует выполнять только устройствами электронагрева с регулируемой температурой: индукционными нагревателями (токами промышленной и высокой частоты), разъемными муфельными печами, пальцевыми нагревателями и т. д.



В стыках труб с толщиной стенки более 30 мм ширина зоны подогрева должна быть не менее 150 мм (по 70–75 мм с каждой стороны), при толщине стенки до 30 мм – не менее 100 мм.

Ширина зоны подогрева угловых и нахлесточных соединений – 50–75 мм в каждую сторону от будущего шва.

Температуру подогрева можно контролировать с помощью термопар (ТП), цифровых контактных термометров (ТК-3М, ТК-5 и др.), пирометров, термокарандашей, термокрасок.

Температуру предварительного подогрева необходимо измерять как минимум в трёх точках стыка, равномерно распределённых по периметру (длине) стыка, на расстоянии не менее 50 мм от кромки разделки.

Конкретные рекомендации по необходимости и температуре предварительного подогрева, а также по способам и устройствам для предварительного подогрева необходимо брать из нормативной документации, указанной в задании на курсовое проектирование.

В отчете к заданию необходимо указать:

- 1) обоснование применения подогрева перед прихваткой и сваркой;
- 2) назначение или расчёт температуры предварительного подогрева;
- 3) обоснование выбора способа предварительного подогрева;
- 4) выбор оборудования для проведения предварительного подогрева;
- 5) назначение способа контроля температуры и схемы замера температуры подогрева.

#### **4.3. Обоснование необходимости и назначение параметров послесварочной термической обработки сварных соединений**

Необходимость и параметры послесварочной термической обработки сварных соединений определяются, как правило, маркой сплава, толщиной свариваемых кромок, химическим составом металла шва. Термическая обработка применяется в основном для высокопрочных и

низколегированных теплоустойчивых сталей. Основная цель послесварочной термической обработки – снятие остаточных напряжений и завершение мартенситного превращения.

Без термической обработки сварных соединений эти стали не обладают эксплуатационной надёжностью из-за структурной неоднородности и наличия остаточных сварочных напряжений.

Термическая обработка используется для улучшения свойств металла шва и различных участков зоны термического влияния, снятия остаточных напряжений, повышения прочности сварных конструкций и сохранения размеров и формы изделия при механической обработке и эксплуатации.

Одна и та же термическая обработка может выполнять несколько функций. В зависимости от характера воздействия на сварные соединения применяются следующие виды термической обработки:

- высокий отпуск для снятия остаточных напряжений, улучшения структуры и свойства шва зоны термического влияния благодаря переводу неравновесных закалочных структур в более равновесные, для снятия наклепа, вызванного пластическим деформированием при сварке, а также для устранения деформационного старения. Он является наиболее распространенным видом термической обработки сварных соединений, выполненных всеми видами сварки;

- отжиг нормализационный с последующим отпуском или без него для измельчения недопустимо крупнозернистой структуры шва и участка перегрева в зоне термического влияния сварных соединений, выполненных на режимах с большими погонными энергиями (например, сваркой под флюсом или электрошлаковой сваркой), а также для устранения химической и структурной неоднородности разных зон сварного соединения. Последующий отпуск проводится в целях снятия закалочных структур, образовавшихся при охлаждении с температур отжига нормализационного;

– закалка с отпуском для восстановления разупрочненной зоны или для обеспечения требуемых свойств при изготовлении узлов из низколегированных сталей, работающих при минусовых температурах.

Основным видом используемой термической обработки является высокий отпуск. Преимущество состоит в том, что он может быть использован в качестве объёмной или местной термообработки, невзирая на размеры сварной конструкции. Отпуск стабилизирует структуру сварного соединения и снижает остаточные напряжения.

Общие рекомендации по необходимости и режимам термической обработки сварных соединений из низколегированных высокопрочных и теплоустойчивых сталей приведены в табл. 11.

Таблица 11 - Режимы термообработки стыковых сварных соединений трубных элементов

Свариваемая сталь	Металл шва	Толщина элемента, мм	Режим термической обработки	
			температура, °С	длительность выдержки, ч, не менее
Все виды дуговой сварки				
Высокопрочные низколегированные стали	-	Св. 36 до 60	560–590	1
		Свыше 60	560–590	2
12МХ, 15ХМ, 20ХМЛ и их сочетания	09МХ, 09Х1М	Св. 10 до 20	700–730	1
		Св. 20 до 45	700–730	2
		Свыше 45	700–730	3
12Х1МФ	09Х1М	Св. 10 до 20	710–740	1
		Св. 20 до 45	710–740	2
		Свыше 45	710–740	3
12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 20ХМФЛ, 15Х1М1ФЛ	09Х1МФ	Св. 10 до 20	720–750	1
		Св. 20 до 60	720–750	3
		Свыше 60	720–750	5
15Х1М1Ф-ЦЛ	09Х1МФ	Свыше 20	735–765	5

Термическую обработку после сварки рекомендуется производить одним из указанных методов:

- объемной термической обработкой в печи, которую следует применять там, где возможно ее практически осуществить. Если изделие полностью не помещается в печь, можно производить нагрев поочередно одного, затем второго конца, при этом нагреваемые участки должны перекрываться не менее чем на 1,5. Часть изделия, находящаяся вне печи, должна быть изолирована, чтобы не возникал градиент температур;

- местной термической обработкой сварных соединений, при проведении которой должны обеспечиваться равномерный нагрев и охлаждение по всей длине шва и прилегающих к нему зон основного металла размером в 2–3 толщины стенки или ширины шва в зависимости от того, какая величина больше, в каждую сторону от оси шва;

- внепечной объемной термической обработкой сосудов и аппаратов посредством нагрева изнутри теплоносителем по режиму высокого отпуска для снижения уровня остаточных напряжений с использованием соответствующих приборов, показывающих и регистрирующих температуру с целью регулирования и поддержания равномерного распределения температур в стенке сосуда. Перед этой операцией сосуд должен быть полностью закрыт снаружи изоляцией. При этом внутреннее давление должно поддерживаться настолько низким, насколько это практически возможно, и во всех случаях не должно превышать 50 % предельно допустимого рабочего давления при наивысшей температуре металла, ожидаемой при термообработке после сварки.

В основном используют объёмную и чаще всего местную термическую обработку.

### **Рекомендации по объёмной термической обработке**

Основным видом термической обработки теплоустойчивых сталей после сварки является высокий отпуск.

Высокий отпуск может быть промежуточным (технологическим) и окончательным. Промежуточный отпуск проводят для устранения опасности образования трещин после выполнения отдельных сварочных операций или наплавов (наплавочных операций) и исправления дефектов на сварном изделии или узле.

Температура окончательного высокого отпуска низколегированных сталей рекомендуется от 600 до 650 °С. Для теплоустойчивых сталей типа 15Х5М температура высокого отпуска рекомендуется от 740 до 780 °С.

Промежуточный отпуск рекомендуется проводить при температурах на 20–50 °С ниже установленного окончательного высокого отпуска, при этом необходимо обратить внимание на то, чтобы температура отпуска не совпадала с температурным интервалом провала пластичности.

Для конструкций, подвергаемых по условию производства многократным отпускам, целесообразна замена промежуточного отпуска отдыхом при температуре от 150 до 350 °С. Режим отдыха определяется по результатам испытаний технологических проб на длительную прочность.

Вследствие близости температуры отпуска после сварки к температуре отпуска основного металла необходимо считаться с разупрочнением последнего, степень которого оценивается по результатам механических испытаний образцов из проб-свидетелей, прошедших цикл термообработки совместно с изделием или отдельно от него.

Для уменьшения коробления сварной конструкции при нагреве температура печи при посадке в нее изделия должна быть не выше 350 °С. Исключение составляют изделия, которые свариваются с сопутствующим подогревом и должны быть помещены в печь немедленно после сварки. В этом случае температура печи при посадке должна быть не ниже температуры подогрева.

Допустимые скорости нагрева изделий зависят от вида термической обработки, типа конструкции и ее материала, толщины свариваемых элементов и мощности нагревательных устройств. Скорость нагрева при

высоком отпуске до температуры 350 °С не регламентируется. Для изделий сложной конфигурации скорость нагрева рекомендуется ограничивать. Выше 350 °С скорость нагрева регламентируется.

Максимальная скорость нагрева не должна превышать 200 °С/ч при толщине элементов до 25 мм включительно. При большей толщине скорость нагрева определяется по формуле:

$$V_{\text{нагр}} = 200 \cdot \frac{25}{S},$$

где  $V_{\text{нагр}}$  – скорость нагрева, °С/ч;  $S$  – толщина стенки изделия, мм.

При выборе скоростей нагрева следует учитывать повышенную опасность образования трещин в интервале температур 550–680°С для сварных конструкций из хромомолибденовых сталей. Минимальная скорость нагрева рекомендуется не менее 100 °С/ч.

Длительность выдержки при температуре отпуска должна обеспечивать равномерный прогрев изделия, полноту протекания релаксационных процессов и структурных превращений. Продолжительность выдержки назначается прямо пропорционально толщине изделия из расчета от 2,5 до 3,0 мин на 1 мм наибольшей толщины стенки, но не менее двух часов.

Скорость охлаждения изделий должна выбираться такой, чтобы исключить образование новых остаточных напряжений и коробления конструкции. Для изделий средней сложности максимальная скорость охлаждения не должна превышать 200 °С/ч при толщине элементов до 25 мм включительно. При большей толщине скорость охлаждения может определяться по той же формуле, что и скорость нагрева.

### **Рекомендации по местной термической обработке**

При назначении местной термообработки следует обращать внимание на специфические особенности этого процесса – возможное возникновение

новых собственных напряжений как при нагреве, так и при охлаждении, и возможное ухудшение свойств в зонах градиента температур от комнатной до температуры выдержки. Поэтому размеры нагреваемой зоны и режимы местной термической обработки должны приниматься с таким расчетом, чтобы максимальные остаточные напряжения, возникающие после термообработки, действовали вне сварного соединения и были невысокими по своему уровню.

Основными параметрами технологического процесса являются следующие:

- температура нагрева;
- скорость нагрева и охлаждения;
- время выдержки при заданной температуре.

#### **Назначение температуры высокого отпуска**

Для снятия напряжений в сварных соединениях рекомендуется температура 700–750 °С при обеспечении перепада температур по сечению при выдержке не выше 50 °С.

#### **Назначение времени выдержки**

Под продолжительностью выдержки понимается отрезок времени с момента достижения поверхностью заданной температуры до начала охлаждения. Время выдержки рекомендуется брать из расчета 2,5–3 мин на 1 мм максимальной толщины стенки изделия, но не менее двух часов. Рациональнее назначать продолжительность выдержки по релаксационным кривым в зависимости от необходимого снижения остаточных напряжений согласно требованиям, предъявляемым к сварной конструкции.

#### **Назначение скорости нагрева**

Скорость нагрева назначается из условий недопущения пластических деформаций в процессе нагрева за пределами сварного шва и зоны термического влияния сварки. В любом случае она должна быть не более 150 °С/ч.

#### **Назначение скорости охлаждения**

Скорость охлаждения регламентируется в области температур выше 350 °С, когда материал имеет сравнительно низкий предел текучести, и назначается аналогично скорости нагрева, но не должна превышать 100 °С/ч. Ниже 350 °С скорость охлаждения не регламентируется, и изделие разрешается охладить под слоем изоляции.

### **Назначение зоны равномерного нагрева и общей зоны нагрева**

Температурное поле в радиальном направлении, т. е. распределение температуры по толщине стенки, не контролируется, поскольку температурный перепад по толщине задается скоростью нагрева и обеспечивается наложением тепловой изоляции на обе поверхности изделия.

Температурное поле в осевом направлении задается двумя способами. Если основной задачей местной термообработки является ликвидация охрупчивания сварного шва, а термические напряжения за пределами неопасны (материалы пластичны), то задается зона равномерного нагрева шириною в 2–3 толщины стенки в обе стороны от кольцевого шва. В пределах этой зоны поддерживается и контролируется заданная температура с точностью  $\pm 20$  °С. За пределами заданной зоны температура не контролируется. Для контроля зоны нагрева достаточно двух точек – в центре шва и на краю зоны; ширина теплоизоляции должна быть не менее длины нагревателей.

Оптимальным с учетом остаточных напряжений после термообработки считается температурное поле в виде плавной кривой, симметричной относительно шва, с заданной температурой  $T_n$  в центре шва, плавно снижающейся до  $0,8 T_n$  на расстоянии  $1,25 * \sqrt{R * S}$  от центра шва и до  $0,5 T_n$  на расстоянии  $2,5 * \sqrt{R * S}$  от центра шва, где  $R$  – радиус шва изделия в мм,  $S$  – толщина стенки в мм.

Контроль температурного поля осуществляется по трем точкам в центре шва, на расстоянии  $1,25 * \sqrt{R * S}$  и  $2,5 * \sqrt{R * S}$ . Температура в центре шва и на расстоянии  $1,25 * \sqrt{R * S}$  должна соответствовать заданной с



точностью  $\pm 25$  °С, а в точке на расстоянии  $2,5 * \sqrt{R * S}$  может на 50–100 °С превышать заданную. Ширина теплоизоляции должна перекрывать зону нагрева и рекомендуется не менее  $3 * \sqrt{R * S}$  в каждую сторону от оси шва.

Сварные швы, подвергаемые термообработке, следует размещать в зоне изделия, где на расстоянии, равном не менее  $2,5 * \sqrt{R * S}$  в каждую сторону от шва, нет штуцеров, люков или других выступающих на поверхности частей; кроме того, должен быть обеспечен доступ к этой зоне изнутри для размещения теплоизоляции.

Нагрев при термической обработке осуществляется с использованием следующих нагревательных устройств: гибких пальцевых электронагревателей сопротивления (ГЭН), электронагревателей комбинированного действия (КЭН), гибких индукторов из оголенного медного провода (гибких индукторов), работающих на токах промышленной частоты 50 Гц, однопламенных универсальных ацетилено-кислородных горелок и кольцевых многопламенных горелок. Область применения нагревательных устройств приведена в табл. 12.

Таблица 12 - Область применения нагревательных устройств

Наименование нагревательного устройства	Размер трубопровода, мм	
	диаметр	толщина стенки
Секция ГЭН длиной 416–1088 мм по ТУ 36-1837–87	Свыше 100	До 70 вкл.
Электронагреватели КЭН длиной 2200–9500 мм по ТУ 36-2633–85: КЭН-1; КЭН-2; КЭН-3; КЭН-4	От 25 до 325 вкл. От 108 до 426 вкл. От 219 до 630 вкл. От 1020 до 1620 вкл.	До 25 вкл. До 40 вкл. До 70 вкл. До 70 вкл.
Гибкий индуктор из оголенного медного провода типа М по ГОСТ 839–80 или типа МГ по ГОСТ 20685–75, работающий на токах промышленной частоты 50 Гц	От 108 до 630 вкл.	Свыше 10
Однопламенная универсальная ацетилено-кислородная горелка по ГОСТ 1077–79Е	До 100 вкл.	До 10 вкл.
Кольцевая многопламенная горелка	До 325 вкл.	До 25 вкл.

Основным способом нагрева при термообработке стыков трубопроводов диаметром 108 мм и более со стенкой толщиной свыше 10 мм является индукционный нагрев током промышленной и средней частоты.

Термообработку сварных соединений радиационным способом с помощью электронагревателей сопротивления можно применять при толщине стенок труб не более 50 мм, а газопламенным способом – при толщине не более 25 мм. При радиационном электронагреве стыков труб со стенкой толщиной более 25 мм следует устанавливать внутри трубы на расстоянии 300–500 мм от шва тепловые заглушки, а также строго соблюдать требования к равномерности нагрева и измерению температур, изложенные в этом разделе.

## **5. Раздел «Оформление производственно-технологической документации (ПТД) по технологии сварки»**

### **5.1. Виды и структура ПТД по сварке**

При изготовлении изделий или выполнении строительно-монтажных работ с применением сварки необходимо разрабатывать производственно-технологическую документацию по сварке. Эта документация должна содержать основную информацию, необходимую для качественного выполнения сварочных работ и получения качественных сварных соединений, а именно: набор технологических операций (и переходов), условия и последовательность их выполнения, применяемое для выполнения операций сборочное и сварочное оборудование, используемые сварочные материалы, режимы сварки, режимы предварительного, сопутствующего подогрева и последующей термической обработки (при необходимости), а также требования к контролю качества сварных соединений. Эта документация может быть выполнена в виде отдельной инструкции по технологии сварки, типовых или операционных технологических карт, в виде

раздела «Сварочные работы» «Проекта производства работ» (ППР) или в виде «Проекта производства сварочных работ» (ППСР).

Независимо от формы представления этой документации она должна быть разработана и подписана специально обученным и аттестованным (через органы НАКС) для этого специалистом по сварочному производству III или IV уровня профессиональной подготовки.

В общем случае комплект типовой технологической документации по технологии сварки представляется набором следующих основных документов (рис. 1):

- Инструкция по технологии сварки (базовый документ);
- Набор типовых технологических карт;
- Операционные технологические карты.



Рис. 1. Рекомендуемое содержание комплекта типовой технологической документации по технологии сварки (наплавки)

Типовая технологическая инструкция по технологии сварки содержит в себе общие типовые условия и порядок выполнения сварочных работ с применением конкретного способа сварки при сварке однотипных изделий (при выполнении сварочных работ на объектах, подконтрольных Ростехнадзору, инструкция распространяется на конкретное опасное техническое устройство, например на трубопроводы пара и горячей воды или на сосуды, работающие под давлением).

Типовые технологические карты по технологии сварки содержат перечень типовых операций, условия и порядок их выполнения, а так-же используемое для этого оборудование с применением конкретного способа сварки при сварке однотипных изделий (при выполнении сварочных работ на объектах, подконтрольных Ростехнадзору, карта распространяется на конкретное опасное техническое устройство, например на трубопроводы пара и горячей воды и один диапазон размеров однотипных изделий).

Операционные технологические карты по технологии сварки подробно описывают содержание каждого вида операций по переходам, условия выполнения операций, режимы сварки и применяемое для этих операций оборудование. Отличие типовых технологических карт от операционных заключается в том, что типовая карта описывает общие порядок и условия выполнения сварки конкретным способом применительно к группе однотипных (по геометрии, размерам и материалам) изделий, без привязки к конкретному изделию. Операционная же карта составляется на основе типовой и распространяется на сварку конкретного изделия (изделия конкретной формы и размеров) или группы идентичных изделий в конкретных условиях производства с применением конкретных марок оборудования.

Основным документом, в котором, с одной стороны, в общем виде, а с другой – достаточно подробно отражаются основные требования к технологическому процессу сборки-сварки, является Инструкция по технологии сварки.

В общем случае Инструкция по технологии сварки состоит из следующих основных разделов:

1. Вводная часть.
2. Общие положения организации сварочных работ.
3. Требования к квалификации персонала.
4. Требования к основным материалам. Входной контроль основных материалов.
5. Требования к сварочным материалам. Входной контроль сварочных материалов.
6. Проверка состояния оборудования для сварки.
7. Требования к подготовке под сварку.
8. Требования к сборке под сварку.
9. Общие аспекты выполнения подогрева стыков при прихватке и сварке.
10. Технологические требования к сварке.
11. Контроль качества сварных соединений.
12. Типовые технологические карты.

Оформляется технологическая инструкция как отдельный текстовый документ на основе требований ГОСТ 2.104.

Пояснительная записка к практическому заданию будет являться своего рода подробной Технологической инструкцией по технологии сварки изделия, указанного в задании.

Далее будут рассмотрены требования к содержанию таких разделов инструкции, как «Требования к подготовке под сварку», «Требования к сборке под сварку», «Технологические требования к сварке» и «Контроль качества сварных соединений». При разработке содержания этих разделов необходимо руководствоваться требованиями нормативной документации, указанной в практическом задании, в которой в зависимости от типа изделия (трубопровод, сосуд и т. п.) изложены рекомендации по подготовке, сборке, сварке и контролю качества изделий.

## **5.2. Формулировка требований к подготовке под сварку**

В этом разделе инструкции излагаются требования к маркировке металлопроката, поступающего на резку, и к разметке металлопроката под резку, выбирается способ резки и обработки кромок, излагаются требования к процедуре подготовки кромок под сварку.

Содержание этого раздела должно начинаться с формулировки требований к проверке маркировки металлопроката. Эти требования могут быть сформулированы в следующем виде:

«На всех деталях до начала сборки мастером (или другим ответственным лицом) должно быть проверено наличие клейм, маркировки, а также сертификатов завода-изготовителя, подтверждающих соответствие деталей их назначению. При отсутствии клейм, маркировки или сертификатов детали к дальнейшей обработке не допускаются».

Далее формулируются требования к разметке металлопроката под резку, т. е. к допустимому взаимному положению элементов металлоконструкции и ее сварных швов. Например:

«В решетчатых, трубчатых конструкциях стыки поясов и элементов, составляющих пояса, должны располагаться на расстоянии не менее 150 мм от кромок узловых косынок; допускается совмещение в одном поперечном сечении не более двух стыков (в верхнем и нижнем поясах по диагонали), при этом расстояние между сечениями, в которых находятся стыки, должно быть не менее 150 мм. Взаимное расположение стыков в смежных сечениях должно соответствовать рис. 2».

Разметку следует производить с применением измерительных средств (линеек, рулеток и т. д.). Линейки измерительные металлические должны соответствовать точности по ГОСТ 427, рулетки – по ГОСТ 7502. При разметке необходимо учитывать припуски на механическую обработку и усадку от сварки, рассчитанные и указываемые в технологической документации. Разметку следует производить методами, обеспечивающими

высокую точность работ и наиболее экономичное расходование времени и материалов.

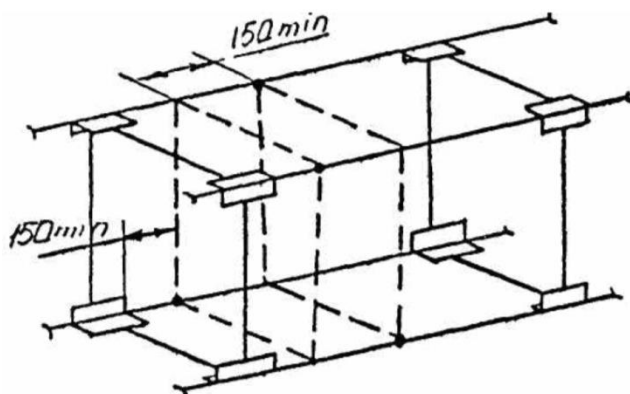


Рис. 2. Расположение стыков в металлоконструкциях решетчатого сечения

В следующей части этого раздела формулируются требования к способам резки металлопроката и методам обработки кромок и назначается конкретный способ резки. Например, для труб требования к резке и обработке кромок могут быть сформулированы так:

«Резку труб и подготовку кромок под сварку предпочтительно проводить механическим способом, осуществляемым на специализированном оборудовании и устройствах стационарного или переносного исполнения, токарных станках, рабочим инструментом которых являются резцы, фрезы, стальные диски и ролики, абразивные армированные круги. Наиболее высокое качество резки обеспечивается при резке труб резцами с помощью трубоотрезных (трубонарезных) станков, предназначенных не только для разделительной резки, но и для разделки кромок под сварку, обточки и расточки концов труб. Допускается газовая, воздушно-дуговая и плазменная резка с последующей механической обработкой кромок. Из термических методов резки предпочтительными являются кислородная или плазменно-дуговая. Шероховатость обработанных под сварку поверхностей –  $R_z$  не более 80 мкм по ГОСТ 2789–73».

Далее формулируются требования к подготовке кромок под сварку. В этой части раздела указываются способы подготовки поверхности кромок:

механическая зачистка, травление, обезжиривание и т. д., а также требования к размерам зон обработки. Например, для труб из низколегированных сталей эти требования могут выглядеть так:

«Перед сборкой кромки и прилегающие к ним участки поверхностей деталей зачистить до металлического блеска и обезжирить на ширину не менее 20 мм с наружной и не менее 10 мм с внутренней стороны трубы, считая от кромки разделки. Места приварки штуцеров к коллекторам (трубопроводам) – отверстия под штуцера и прилегающие участки на расстоянии 15–20 мм от очка – тщательно исследовать, обнаруженные дефекты устранить или исправить. Перед установкой штуцера в коллектор или трубопровод поверхность вокруг отверстия зачистить на расстоянии 15–20 мм со стороны наложения сварного шва, а поверхность очка – на всю глубину.

Подготовленные к сборке кромки должны быть без вырывов, заусенцев, резких переходов и острых углов».

В заключении этого раздела формулируют требования к допустимости поверхностных дефектов на прокате, выявляемых визуально. Например, для труб эти требования могут быть такими:

«На концах труб не допускаются вмятины глубиной более 3,5 % наружного диаметра трубы. При наличии на концах труб вмятин глубиной до 3,5 % Дн их необходимо исправить с помощью домкратов или других разжимных устройств. Концы труб с вмятинами глубиной более 3,5 % Дн, а также с забоинами и задирами глубиной более 5 мм следует обрезать или исправлять путем наплавки. Все местные уступы и неровности, имеющиеся на кромках собираемых труб и препятствующие их соединению в соответствии с требованиями чертежей или РД 153-34.1-003–01, до сборки устранить с помощью абразивного круга или напильника, не допуская острых углов и резких переходов».



### 5.3. Формулировка требований к сборке под сварку

Первоначально в этом разделе производят назначение оборудования и приспособлений, которые будут использоваться для сборки элементов соединения. Выбор будет зависеть от типа конструкции и соединения, от условий и типа производства. Так, для сборки стыковых соединений труб рекомендуется использование центраторов – элементов, позволяющих обеспечить правильное взаимное расположение поверхностей труб. Центраторы могут быть наружными (типа Ж08А.8052-8052, ЦНЭ, ЦЗН, ЦН и т. п.) или внутренними (типа ЦВ). Наружный центратор расположен снаружи труб и применяется для сборки труб диаметром до 325–426 мм. При сборке труб больших диаметров рекомендуется использовать внутренние центраторы, располагающиеся внутри труб. Такие центраторы обеспечивают более точную сборку.

В простейшем случае для сборки могут быть использованы временные приварные технологические крепления, которые прихватываются к поверхностям труб или плоских элементов и позволяют, используя вспомогательный инструмент (винт-гайка, монтировка и т. п.), выполнить сборку стыкуемых элементов.

Сборку угловых соединений труб осуществляют, как правило, без использования специальных приспособлений по разметке с использованием уровня, отвеса, угольника или теодолита.

Информация о применяемом типе центрирующих устройств может выглядеть следующим образом:

«При сборке стыковых соединений труб под сварку следует пользоваться центровочными приспособлениями, предпочтительно инвентарными, непривариваемыми к трубам (наружные центраторы типа Ж08А.8052-8052, ЦНЭ, ЦЗН, ЦН и аналогичные им).

Для угловых соединений допускается сборка без применения сборочных приспособлений по разметке с использованием уровня, отвеса, угольника или теодолита.

Допускается применять временные приварные технологические крепления».

При изготовлении отдельных элементов листовых металлоконструкций, ферм и балок сборка металлоконструкций, сборочных единиц и отдельных элементов их под сварку должна производиться на специальных стендах или в кондукторах, обеспечивающих правильное взаимное расположение частей конструкций и предохраняющих их от деформаций.

В дальнейшем формулируются чёткие требования к точности сборки кромок под сварку. В этой части формулируют требования к следующим параметрам сборки:

- смещение кромок (для труб наружное и внутреннее);
- отклонение оси штуцера от перпендикуляра к оси основной трубы, коллектора или корпуса сосуда;
- прямолинейность труб в месте стыка (отсутствие переломов осей);
- требования к разведению продольных (или спиральных) швов стыкуемых труб или обечаек;
- уступ кромок;
- допустимое отклонение элементов плоских и объёмных металлоконструкций от заданного проектом положения.

Например, требования к точности сборки стыкового соединения труб, могут быть сформулированы так:

«Смещение (несовпадение) внутренних поверхностей свариваемых труб (и фасонных деталей) при сборке стыковых соединений без подкладного кольца с односторонней разделкой кромок должно быть не более 0,5 мм. Максимально допустимое смещение (несовпадение) кромок

свариваемых элементов (деталей) с наружной стороны шва не должно превышать 0,7 мм. При сборке труб и других элементов, имеющих продольные или спиральные швы, последние должны быть смещены один относительно другого. Смещение должно быть не менее трехкратной толщины стенки свариваемых труб (элементов), но не менее 100 мм. В правильно собранном стыке максимально допустимый просвет между концом линейки и поверхностью трубы ( $\Delta$ ) должен быть не более 1,5 мм на расстоянии 200 мм от стыка, в сваренном стыке – не более 3 мм (...)» (рис. 3).

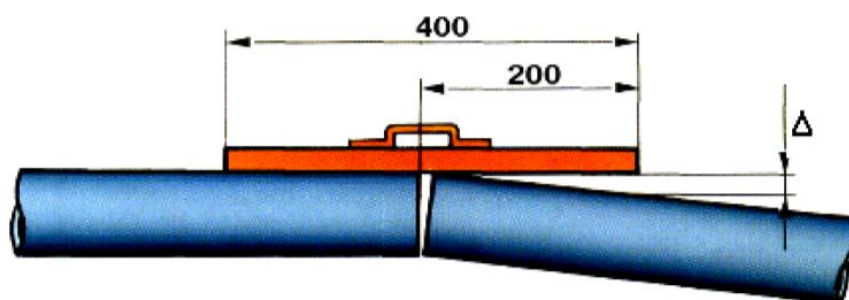


Рис. 3. Контроль прямолинейности собираемых элементов

Для соединения плоских элементов нужно предусмотреть выводные планки в начале и конце шва, описать требования к их размерам и разделке кромок. Например:

«При сборке под сварку в начале и конце стыковых швов должны, как правило, устанавливаться выводные планки. Размеры выводных планок должны быть не менее  $a = 60$  мм,  $b = 80$  мм (...) (рис. 4. – Авт.). Выводные планки должны иметь такую же разделку, как и свариваемые детали. Выводные планки должны быть установлены в одной плоскости со свариваемыми деталями и плотно прилегать к их зачищенным кромкам. Допуски на точность установки выводных планок такие же, как и при сборке деталей под сварку».

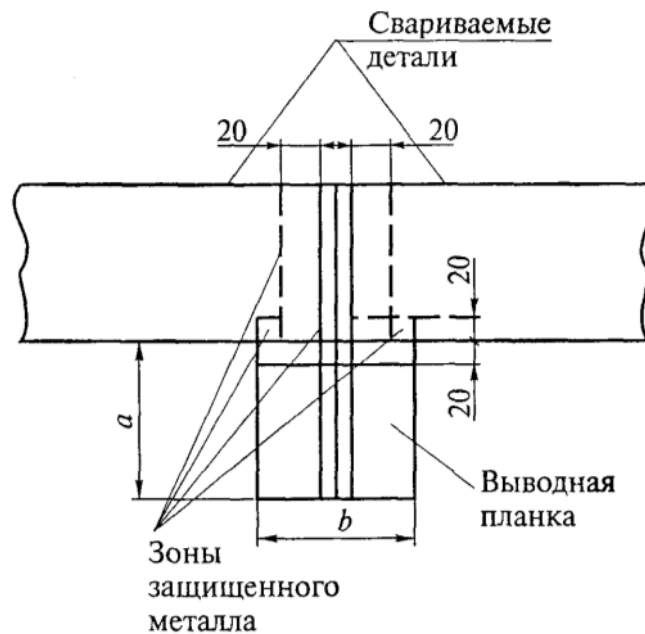


Рис. 4. Установка выводной планки

Далее формулируются требования по закреплению деталей в собранном положении. Следует предусмотреть прихватку собранных элементов. При необходимости прихватки в этой части раздела даются требования к минимальному количеству прихваток, их размерам и расположению по периметру (длине) шва. Требования к прихваткам оформляются в виде таблицы.

#### 5.4. Формулировка технологических требований к сварке

Конкретные рекомендации по содержанию этого раздела дать достаточно сложно. Эти рекомендации будут в значительной мере индивидуальны для каждой конструкции, свариваемого материала и способа сварки.

В этом разделе отражаются все значимые условия сварки, несоблюдение которых может привести к ухудшению качества соединения.

В общем случае можно рекомендовать отразить в этом разделе следующую информацию:

- требования к месту возбуждения и гашения дуги;

- специфические требования по пред- и постпродувке защитным газом газовых магистралей;
- порядок наложения швов (особенно для плоских и объёмных металлоконструкций);
- порядок сварки (схемы сварки): для труб – порядок выполнения отдельных проходов; для листовых конструкций – порядок выполнения шва по длине (обратноступенчатый способ, сварка «каскадом», «горкой» и т. п.);
- режим сварки для прихваток и каждого слоя шва (если для разных слоёв предусмотрены свои режимы);
- порядок заполнения разделки (схема раскладки валиков в разделке);
- требования к постановке клейма на сваренное соединение;
- требования к подготовке соединения под контроль.

## **ФОРМА КАРТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ**

1. Наименование объекта \_\_\_\_\_  
(Группа типовых изделий по заданию)

2. Способ сварки \_\_\_\_\_

3. НТД по сварке \_\_\_\_\_  
(шифр)

4. Основной материал:  
марка (марки, сочетания марок) \_\_\_\_\_  
типоразмер, мм:  
диаметр (радиус кривизны) \_\_\_\_\_  
толщина \_\_\_\_\_

5. Соединение:  
вид соединения \_\_\_\_\_  
(стыковое, угловое и пр.)

вид разделки \_\_\_\_\_  
(односторонняя, двусторонняя)

тип соединения \_\_\_\_\_  
(шифр по НТД, например по РТМ – 1с, ГОСТ 16037 и пр.)

Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки

6. Способ подготовки кромок \_\_\_\_\_

7. Способ сборки \_\_\_\_\_  
(в сборочном приспособлении, на прихватках)

8. Требования к прихватке \_\_\_\_\_  
(способ сварки, количество, размеры)

*Примечание.* Требования к прихваткам целесообразно оформить в виде таблицы:

Диаметр трубы, мм	Способ сварки	Количество прихваток	Длина одной прихватки, мм	Высота прихватки в зависимости от тол- щины стенки, мм

## ШТАМП

(Карта технологического процесса должна снабжаться штампом в соответствии с требованиями ГОСТ 2.104 или в соответствии с требованиями, принятыми на данном предприятии, который ставится в конце первой страницы и где указываются наименование предприятия, фамилии и должности лиц, составивших и утвердивших карту, и их подписи, а также дата составления карты.)

9. Сварочные материалы \_\_\_\_\_  
(марки, тип, стандарт, ТУ)

10. Положение шва при сварке \_\_\_\_\_

11. Подогрев \_\_\_\_\_  
(температура, способ контроля)

12. Сварочное оборудование \_\_\_\_\_  
(тип)

13. Режим сварки \_\_\_\_\_

Номер валика (слоя) шва	Способ сварки	Диаметр электродов (присадочной проволоки), мм	Род тока, по- лярность	Сила тока, А	Напряжение, В	Скорость свар- ки, м / ч	Скорость пода- чи проволоки, м / ч	Дополнитель- ные параметры (диаметр W- электродов, рас- ход газа и др.)

14. Технологические требования к сварке: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

и т. д.

15. Термическая обработка сварного соединения:  
способ \_\_\_\_\_  
режим \_\_\_\_\_  
способ и средства контроля \_\_\_\_\_

16. Требования по контролю качества сварного соединения:  
16.1. Операционный контроль: \_\_\_\_\_  
16.2. Приемочный контроль: \_\_\_\_\_

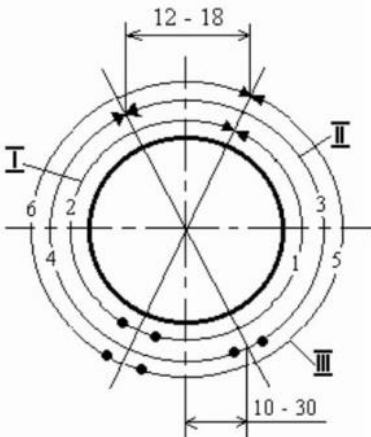
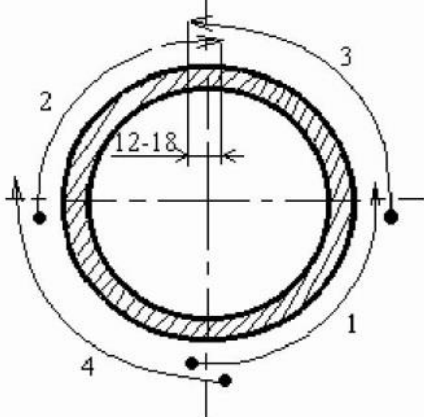
Метод контроля	Объем контроля	Документы по контролю	Нормы оценки качества

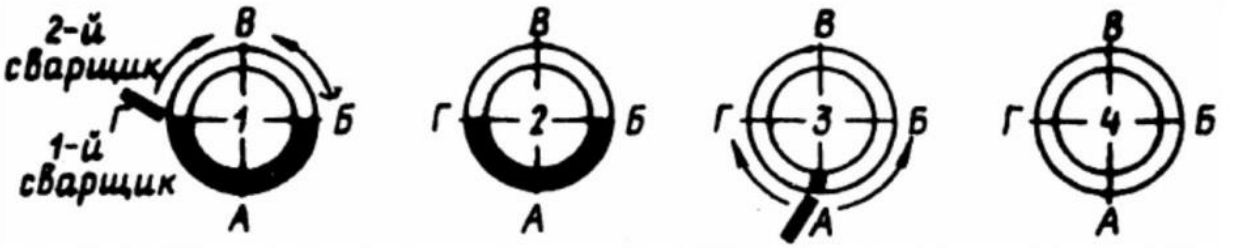
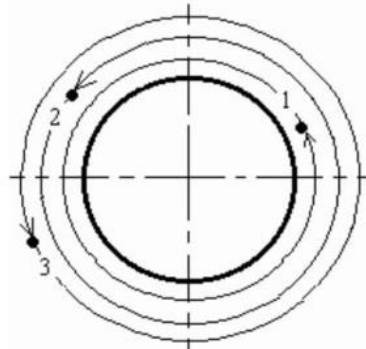
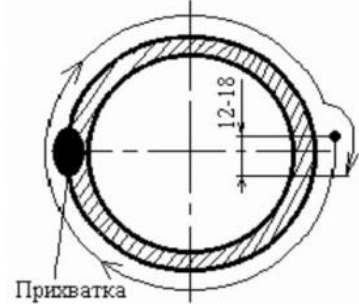
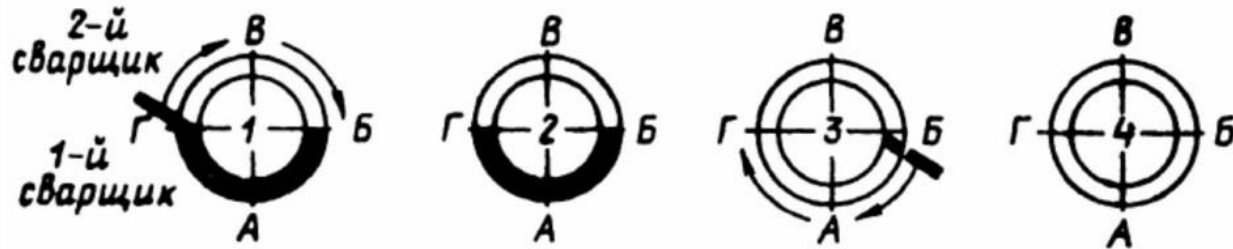
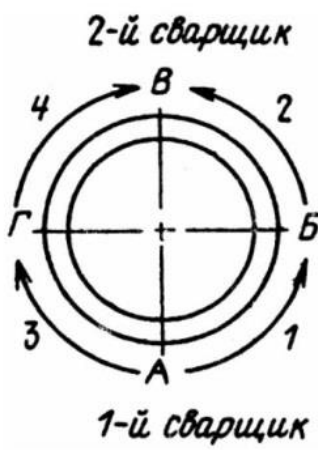
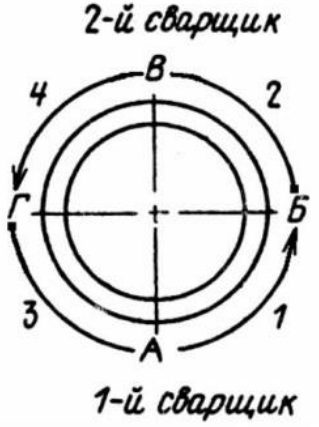
*Пример оформления карты технологического процесса сварки*

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ							
	Объект	Трубопровод пара и горячей воды					
1.	Способ сварки	РД – ручная дуговая покрытыми электродами					
2.	НТД по сварке	ПБ 10-573-03, РД 153-34.1-003-01 (РТМ-1с), ГОСТ 16037–80					
3.	Основной материал						
	индекс группы по ПБ 10-573-03:	1					
	марка (сочетание марок)	СтЗсп, 10, 15, 20, 09Г2С, 10Г2,15ГС, 16ГС, 17ГС, 17Г1С, 17Г1СУ, 10Г2 и др.					
	типоразмер, мм	диаметр	25–100	толщина	3–12		
4.	Соединение						
	вид соединения	стыковое					
	вид разделки	односторонняя с номинальным углом разделки свыше 15°					
	тип соединения	Тр-2					
Таблица 1. Параметры подготовки, сборки стыка под сварку и параметры готового сварного шва							
Конструкция соединения			Конструктивные элементы шва				
<p>* – допустимые пределы угла скоса из-за неточности обработки или изготовления труб по другим стандартам или ТУ;  <math>S = S1</math>  <math>A = 1^{+0.5}</math> мм  <math>\Delta n = 0,7</math> мм</p>			S, мм	e, мм	g, мм	Минимальное количество слоёв	
			4	6–12	0,5–3	2	
5.	Способ подготовки кромок	<ul style="list-style-type: none"> <li>– механическим способом: резцом, фрезой и абразивным кругом с помощью труборезного станка;</li> <li>– шлифмашинкой;</li> <li>– концы труб и фаски разрешается обрабатывать кислородной, плазменно-дуговой или воздушно-дуговой резкой с последующей зачисткой кромок режущим или абразивным инструментом до удаления следов огневой резки;</li> </ul>					
			<b>РД-1-22-Тп-С-бп-Тр-2</b>				
Лист	№ докум.	Подпись				Дата	
Разраб.				Технология ручной дуговой сварки стыковых соединений труб трубопроводов пара и горячей воды D менее 100 мм из углеродистой и низколегированной конструкционной стали без подкладного кольца	Лит.	Лист.	Листов
						1	7
Соглас.							
Утв.							



5.	Способ подготовки кромок	<ul style="list-style-type: none"> <li>– перед сборкой кромки и прилегающие к ним участки поверхностей деталей зачистить до металлического блеска и обезжирить на ширину не менее 20 мм с наружной и не менее 10 мм с внутренней стороны детали, считая от кромки разделки;</li> <li>– подготовленные к сборке кромки должны быть без вырывов, заусенцев, резких переходов и острых углов;</li> <li>– все местные уступы и неровности, имеющиеся на кромках собираемых труб и препятствующие их соединению в соответствии с требованиями чертежей или РД 153-34.1-003-01, до сборки устранить с помощью абразивного круга или напильника, не допуская острых углов и резких переходов;</li> <li>– на концах труб не допускаются вмятины глубиной более 3,5 % наружного диаметра трубы;</li> <li>– при наличии на концах труб вмятин глубиной до 3,5 % <math>D_n</math> их необходимо исправить с помощью домкратов или других разжимных устройств;</li> <li>– концы труб с вмятинами глубиной более 3,5 % <math>D_n</math>, а также с забоинами и задирами глубиной более 5 мм следует обрезать или исправлять путем наплавки</li> </ul>				
6.	Способ сборки	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Сборку стыка выполнять в центровочном инвентарном приспособлении либо с применением наружных центраторов эксцентрикового или звеного типов, приведённых в Инструкции по технологии сварки;</li> <li>– прямолинейность труб в месте стыка (отсутствие переломов) и смещение кромок проверить линейкой длиной 400 мм, прикладывая ее в трех-четырёх местах по окружности. Максимально допустимый просвет между концом линейки и поверхностью трубы должен быть не более 1,5 мм на расстоянии 200 мм от стыка, в сваренном стыке – не более 3 мм;</li> <li>– собранные в приспособлении стыки труб необходимо прихватить</li> </ul>				
7.	Требования к прихватке	Диаметр трубы, мм	Способ сварки	Количество прихваток	Длина одной прихватки, мм	Высота прихваток, мм
		50	РД	1–2	5–20	(0,6–0,7)S, но не менее 3 мм
		<ul style="list-style-type: none"> <li>– если вертикальный стык прихвачен в одном месте, то прихватку располагать в верхней части стыка;</li> <li>– если вертикальный стык прихвачен в двух местах, то прихватки располагать на вертикальных участках стыка в диаметрально противоположных точках;</li> <li>– на горизонтальном стыке прихватки располагать в любом месте, но в диаметрально противоположных точках окружности стыка, если прихваток две;</li> <li>– не рекомендуется накладывать прихватки на потолочный участок стыка;</li> <li>– прихватки на месте пересечения швов не ставить;</li> <li>– прихватки выполнять с полным проваром и по возможности переваривать при наложении основного шва;</li> <li>– для труб толщиной до 6 мм прихватку выполнять электродом диаметром не более 2,5 мм;</li> </ul>				
					<b>РД-1-22-Тп-С-бп-Тр-2</b>	
	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		
						Лист
						2

7.			если сборочное приспособление позволяет сваривать весь периметр стыка, то прихватки не накладывать и корневой слой шва или весь шов выполнять в стыке, зафиксированном в приспособлении					
8.	Сварочные материалы	Тип электрода		Э-46, Э-46А				
		ГОСТ (или ТУ)		ГОСТ 9466-75, ГОСТ 9467-75				
		Марки электродов		МР-3, УОНИ-13/45				
9.	Положение шва при сварке		– переменное при горизонтальном расположении осей труб, свариваемых без поворота «на подъём» – В1 и Н45; – горизонтальное при вертикальном расположении осей труб – Г.					
10.	Подогрев		– нет					
11.	Сварочное оборудование		– источники переменного или постоянного тока, обеспечивающие получение падающей внешней характеристики: однопостовые и многопостовые.					
12. Режимы сварки								
Номер валика (слоя) шва	Способ сварки	Диаметр электрода, мм	Род тока, полярность		Сила сварочного тока*, А			
			Вид покрытия		Вид покрытия			
			Рутиловое	Основное	Рутиловое	Основное		
					Пространственное положение			
					Нижнее**			
Прихваточные швы и 1 слой	РД	2,5	Переменный и постоянный (полярность см. в Инструкции по сварке)	Постоянный ток обратной полярности	70-90	70-90		
		3			90-110	90-110		
Последующие слои	РД	2,5			70-90	70-90		
		3			90-110	90-110		
<b>Примечание.</b> * – Для конкретной марки электрода режим уточнить по паспортным данным; ** – при сварке в вертикальном, горизонтальном и потолочном положениях сила сварочного тока должна быть уменьшена на 10-20 %								
13.	Порядок сварки							
13.1. Неповоротные стыки в положениях В1 и Н45								
Выполнение стыка одним сварщиком								
Трубопроводы различного назначения				Трубопроводы поверхностей нагрева котлов				
								
			РД-1-22-Тп-С-бп-Тр-2					
Лист	№ докум.	Подпись						
				Лист				
				3				

13.2. Неповоротные стыки в положении В1 и Н45 (два сварщика)				
				
13.3. Неповоротные стыки в положении Г (один сварщик)				
Трубопроводы различного назначения		Трубопроводы поверхностей нагрева котлов		
				
13.4. Неповоротные стыки в положении Г (два сварщика)				
				
13.5. Неповоротные стыки (два сварщика): метод «перехвата дуги»				
Вертикальный стык		Горизонтальный стык		
				
Примечание. I-IV – слои шва; 1, 2, 3 и т. д. – порядок наложения отдельных участков (проходов) шва.				
				Лист
				4
Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

Технологические требования к сварке	Общие положения					
	<ul style="list-style-type: none"><li>– Сварку выполнять возможно короткой дугой. Длина дуги должна быть не более диаметра электрода.</li><li>– В процессе сварки как можно реже обрывать дугу.</li><li>– В процессе сварки обеспечивать полный провар корня шва и заделку кратера.</li></ul>					
14.	<ul style="list-style-type: none"><li>– До полного окончания сварки и остывания стыка нельзя подвергать стык каким-либо механическим воздействиям.</li><li>– При закреплении стыка одной прихваткой сразу после прихватки заварить корневой слой по всему периметру, начиная сварку со стороны, противоположной прихватке.</li><li>– Сварку выполнять в порядке, указанном в п. 13 карты.</li><li>– Наплавлять возможно более плоский валик во избежание зашлаковки металла шва около кромок труб.</li><li>– Прихватку и сварку выполнять при температуре окружающего воздуха: 1) не ниже минус 20 °С при сварке углеродистых сталей типа Ст3, 10, 20; 2) не ниже минус 10 °С при сварке литейных сталей типа 25Л; 3) не ниже минус 20 °С при сварке низколегированных кремниемарганцовистых сталей с толщиной стенки до 10 мм; при большей толщине стенки сварку вести при температуре не ниже минус 10 °С.</li><li>– При отрицательных температурах воздуха металл в зоне сварного соединения перед прихваткой и сваркой просушить и прогреть с доведением его температуры до положительной.</li><li>– Облицовочный слой должен перекрывать кромки разделки на 1-3 мм на сторону.</li><li>– Сварку вертикальных стыков вести снизу вверх, начиная на расстоянии 10–30 мм от нижней точки.</li><li>– Величина перекрытия мест начала и окончания каждого валика должна составлять 12...18 мм.</li></ul>					
	<b>Особенности выполнения стыков труб поверхностей нагрева котлов</b>					
	<ul style="list-style-type: none"><li>– Вертикальные стыки труб поверхностей нагрева при сварке одним сварщиком сваривать участками по четверти периметра.</li><li>– Чтобы уменьшить перелом трубы в месте стыка вследствие неравномерной усадки, участки необходимо сваривать в последовательности, указанной в п. 13.1.</li><li>– Горизонтальный стык поверхностей нагрева при сварке одним сварщиком сваривать по схеме, приведенной в п. 13.3. Наложение шва начинается со стороны, противоположной прихватке, каждый последующий слой накладывать в направлении, противоположном направлению сварки предыдущего слоя.</li><li>– Во всех случаях необходимо соблюдать правило «смещения замков», приведённое выше.</li></ul>					
	<b>Порядок выполнения сварки двумя сварщиками (см. п. 13.2, 13.4)</b>					
	<ul style="list-style-type: none"><li>– Стыки труб поверхностей нагрева котлов и стыки трубопроводов диаметром 30–83 мм может сваривать один сварщик или одновременно два сварщика.</li><li>– Сварщики выполняют сварку с разрывом в один-два стыка (п. 13.2);</li><li>– когда 1-й сварщик заваривает стык 3, 2-й приступает к сварке стыка 1 или 2, который уже заварил 1-й сварщик на своей половине.</li><li>– При сварке горизонтальных стыков (п. 13.4) 1-й сварщик заваривает сразу свою половину стыка на участке БАГ (стык 3), а 2-й с разрывом в один-два стыка заваривает другую половину стыка на участке ГВБ, накладывая шов в том же направлении, что и 1-й сварщик</li></ul>					
					РД-1-22-Тп-С-бп-Тр-2	Лист
						5
	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

14.	<b>Порядок выполнения сварки двумя сварщиками методом «перехвата дуги» (п. 13.5)</b>					
	– На вертикальном стыке 1-й сварщик начинает сварку в точке <i>А</i> и ведет ее в направлении точки <i>Б</i> , где 2-й сварщик, находящийся с противоположной стороны трубы (блока), как бы перехватывает дугу, зажигая ее на жидкой сварочной ванне, 2-й сварщик заваривает участок <i>БВ</i> , а в это время 1-й накладывает шов на участке <i>АГ</i> того же стыка; в районе точки <i>Г</i> 2-й сварщик вновь перехватывает дугу 1-го и заваривает последний участок <i>ГВ</i> .					
	– Горизонтальный стык сваривают по аналогичной схеме, но с той разницей, что «перехват» дуги осуществляется 1 раз (в точке <i>Б</i> или <i>Г</i> ), после того как 1-й сварщик заварит сразу половину периметра стыка.					
	– При выполнении сварки двумя сварщиками обязательно соблюдать правило смещения «замков», указанное выше.					
	<b>Заключительные положения</b>					
	– Перед гашением дуги заполнить кратер путем постепенного отвода электрода и вывода дуги назад на 15–20 мм на только что наложенный шов. Последующее зажигание дуги производить на кромке трубы или на металле шва на расстоянии 20–25 мм от кратера.					
	– По окончании сварки каждого валика полностью удалить шлак после его охлаждения (потемнения).					
	– При обнаружении на поверхности шва дефектов (трещин, скоплений пор и т. п.) дефектное место удалить механическим способом до «здорового» металла и при необходимости заварить вновь.					
	– Клеймить ударным способом стыки труб с толщиной стенки более 6 мм.					
	– Клеймо ставить на самом сварном шве вблизи верхнего «замка» (на площадке размером около 20×20 мм, зачищенной абразивным камнем или напильником) или на трубе на расстоянии 30–40 мм от шва.					
– Необходимость и способ маркировки сварных соединений с толщиной стенки менее 6 мм устанавливаются требованиями проекта. Способ маркировки должен исключать наклеп, подкалку или недопустимое утонение толщины металла и обеспечить сохранность маркировки в течение всего периода эксплуатации изделия.						
– Если стык сваривают несколько сварщиков, каждый ставит свое клеймо в верхнем конце того участка, который он выполнял.						
– При зачистке стыка для ультразвукового контроля место расположения клейма не зачищать; если клеймо сошлифовано, его необходимо восстановить.						
15.	<b>Термическая обработка</b>		Нет			
16.	<b>Требования по контролю качества сварных соединений</b>					
16.1	Операционный контроль:					
	<b>Перед сваркой следует контролировать:</b> качество поверхности стыкуемых труб, размеры конструктивных элементов подготовки кромок, чистоту кромок и прилегающих к ним поверхностей деталей, зазор и смещение кромок, перелом осей, качество, количество, размеры и расположение прихваток.					
	<b>В процессе сварки контролю подлежат:</b> температура деталей и окружающего воздуха, порядок сварки соединения, технологические параметры процесса сварки, толщина и ширина валика шва.					
	<b>После сварки контролю подлежат:</b> отклонение геометрических размеров, клеймение шва, размеры выполненного шва, смещение кромок, перелом осей сваренных элементов, наличие и размеры поверхностных дефектов в сварных швах.					
					<b>РД-1-22-Тп-С-6п-Тр-2</b>	Лист
						6
	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

16.2	Приёмочный контроль.			
Таблица 2. Методы и объёмы приёмочного контроля качества сварных соединений				
№ п/п	Метод контроля	Объём контроля	Документы по контролю	Нормы оценки качества
1	Визуальный и измерительный	100 %	1) Раздел 18.3 РД 153-34.1-003–01 2) РД 03-606–03 3) ПБ 10-573–03 п. 4.5	1) Раздел 2 Приложения 8 к ПБ 10-573–03, 2) п. 18.3.4 и табл. 18.2. табл. 18.8, табл. 18.9 РД 153-34.1-003–01
2	Ультразвуковой или радиографический	Табл. 18.4 и 18.5 РД 153-34.1-003-01	Радиография: 1) ГОСТ 7512–82; 2) РД 34 10.068–91 3) Раздел 18.5 РД 153-34.1-003–01 Ультразвуковой: 1) ГОСТ 14782; 2) РД 34-17.302 –97 3) Раздел 18.5 РД 153-34.1-003–01	Радиография: 1) Раздел 5 Приложения 8 к ПБ 10-573–03, 2) п. 18.5.5–18.5.7 и табл. 18.6–18.9 РД 153-34.1-003–01 Ультразвуковой: 4) Раздел 6 Приложения 8 к ПБ 10-573–03, 5) п. 18.5.8–18.5.9 и табл. 18.10–18.11 РД 153-34.1-003–01
3	Капиллярный или магнитопорошковый	По указанию ОТК (п. 18.8.1 РД 153-34.1-003-01)	1) Капиллярный – ГОСТ 18442 2) Магнитопорошковый – ГОСТ 211105	1) Раздел 3 Приложения 9 к ПБ 10-573-03; 2) п. 18.3.4 и табл. 18.2 РД 153-34.1-003–01
4	Гидравлические испытания	100 %	Раздел 18.9 РД 153-34.1-003–01	п. 18.9.2 РД 153-34.1-003–01

**РД-1-22-Тп-С-бп-Тр-2**

7



*Варианты индивидуальных заданий для выполнения курсового проекта*

Параметры задания	Вариант задания			
	1	2	3	4
	Значение параметров задания			
Марка сплава	09Г2ФБ	16Г2АФ	35ХГСА	12Г2СМФ
Тип конструкции	Листовая открытая конструкция	Соединение труб	Балка коробчатого закрытого сечения	Листовая открытая конструкция
Группа типовых изделий, к которой относится конструкция	Вертикальные резервуары для нефти	Магистральный трубопровод	Подъёмно-транспортное оборудование	Вертикальные резервуары для нефти
Толщина элементов в зоне сварки, мм	30	25	40	25
Диаметр элементов в зоне сварки, мм	Нет	820	Нет	400
Тип сварного соединения	Стыковое	Стыковое	Стыковое	Тавровое
Характеристика протяжённости шва	Протяжённые швы длиной $> 1000$ мм	2575 мм	Короткие швы и швы средней протяжённости	1256 мм
Конфигурация шва	Прямолинейные швы на плоскости	Прямолинейные швы	Прямолинейные швы	Кольцевой шов по замкнутому контуру
Пространственное положение	Не регламентировано (т. е. любое)	Неповоротное при горизонтальном расположении осей труб	Не регламентировано (т. е. любое)	Не регламентировано (т. е. любое)
Характеристика производства	Массовое	Монтажные условия	Мелкосерийное	Массовое

Параметры задания	Вариант задания			
	1	2	3	4
	Значение параметров задания			
Избыточное давление при эксплуатации изделия	Не регламентировано	5 МПа	Нет	Не регламентировано
Температура эксплуатации, °С	От минус 60 до плюс 50° С	От минус 60 до плюс 50° С	От минус 60 до плюс 50° С	От минус 60 до плюс 50° С
Стойкость к МКК*	Нет	Нет	Нет	Нет
Технологические и конструктивные особенности	Швы с конструктивным непрочваром не допускаются	Нет	Сечение прямоугольное с размером 800×350 мм	Элемент – приварка люка-лаза к стенке резервуара. Швы с конструктивным непрочваром не допускаются
НД**, требования которого рекомендуются учесть при разработке технологии	ИБ 03-605-03	ВСН 006-89, РД 153-006-02	ТУ 22.24.188-04, РД 36-62-00	ИБ 03-605-03



Параметры задания	Вариант задания			
	5	6	7	8
	Значение параметров задания			
Марка сплава	14Г2АФ	12МХ	10Г2ФБ	12МХ
Тип конструкции	Двутапровая балка	Соединение обечаек	Соединение труб	Соединение труб
Группа типовых изделий, к которой относится конструкция	Строительные конструкции	Сосуды, работающие под давлением	Магистральный трубопровод	Трубопроводы пара
Толщина элементов в зоне сварки, мм	30	45	20	36
Диаметр элементов в зоне сварки, мм	Нет	1500	350	219
Тип сварного соединения	Тавровое	Стыковое	Угловое	Стыковое
Характеристика протяжённости шва	Протяжённые швы длиной > 1000 мм	4710	1099 мм	688 мм
Конфигурация шва	Прямолнейные швы	Прямолнейные швы	Криволинейный шов	Прямолнейный шов
Пространственное положение	Не регламентировано (т. е. любое)	Не регламентировано (т. е. любое)	Неповоротное при горизонтальном расположении оси привариваемой трубы	Неповоротное при вертикальном расположении осей свариваемых труб
Характеристика производства	Серийное	Мелкосерийное	Монтажные условия	Монтажные условия
Избыточное давление при эксплуатации изделия	Нет	4 МПа	5 МПа	2 МПа
Температура эксплуатации, °С	От минус 60 до плюс 50 °С	Плюс 300 °С	От минус 60 до плюс 50 °С	Плюс 350 °С
Стойкость к МКК*	Нет	Нет	Нет	Нет
Технологические и конструктивные особенности	Высота сечения балки – 1200 мм; ширина пояса – 400 мм	Нет	Конструкция – приварка ответвления к основному трубопроводу диаметром 1220 мм	Нет
НД**, требования которого рекомендуются учесть при разработке технологии	СНиП 3.03.01–87, РД 34.15.132–96	ОСТ 26-291–94	ВСН 006–89; ВСН 1-84	РД 153-34.1-003–01 (РТМ-1с)

Параметры задания	Вариант задания			
	9	10	11	12
	Значение параметров задания			
Марка сплава	15XM	20X1M1	12X1MФ	15X1M1Ф
Тип конструкции	Соединение обечаек	Соединение трубы с плоским фланцем	Соединение труб	Соединение обечаек
Группа типовых изделий, к которой относится конструкция	Сосуды, работающие под давлением	Трубопроводы пара	Технологические трубопроводы	Паровые и водогрейные котлы
Толщина элементов в зоне сварки, мм	30	40	20	45
Диаметр элементов в зоне сварки, мм	1200	350	159	820
Тип сварного соединения	Стыковое	Угловое	Угловое	Стыковое
Характеристика протяжённости шва	3768 мм	1099 мм	499 мм	2574 мм
Конфигурация шва	Прямой шов	Прямой шов	Криволинейный шов	Прямой шов
Пространственное положение	Не регламентируется (т. е. любое)	Не регламентируется (т. е. любое)	Неповоротное при горизонтальном расположении привариваемой трубы	Не регламентируется (т. е. любое)
Характеристика производства	Единичное производство	Мелкосерийное производство	Монтажные условия	Крупносерийное производство
Избыточное давление при эксплуатации изделия	4 МПа	3 МПа	2,5 МПа	2,5 МПа
Температура эксплуатации, °С	Плюс 350 °С	Плюс 250 °С	Плюс 450 °С	Плюс 450 °С
Стойкость к МКК*	Нет	Нет	Нет	Нет
Технологические и конструктивные особенности	Нет	Конструкция – соединение патрубка с плоским фланцем	Конструкция – приварка ответвления к основному трубопроводу диаметром 325 мм	Нет
НД**, требования которого рекомендуется учесть при разработке технологии	ОСТ 26-291-94, ОСТ 26.260.3-2001	РД 153-34.1-003-01 (РТМ-1с)	РД 38.13.004-86	ОСТ 108.030.30-79, РД 153-34.1-003-01

Параметры задания	Вариант задания			
	13	14	15	16
	Значение параметров задания			
Марка сплава	15ХМФ	20ХМФЛ	12Х2МФСР	15Х5М
Тип конструкции	Соединение труб	Соединение трубы с обечайкой	Соединение труб	Соединение труб
Группа типовых изделий, к которой относится конструкция	Трубопроводы пара	Сосуды, работающие под давлением	Технологические трубопроводы	Технологические трубопроводы
Толщина элементов в зоне сварки, мм	15	25	30	30
Диаметр элементов в зоне сварки, мм	57	219	450	350
Тип сварного соединения	Угловое	Угловое	Стыковое	Стыковое
Характеристика протяжённости шва	179 мм	688 мм	1413 мм	1099 мм
Конфигурация шва	Криволинейный шов	Криволинейный шов	Прямолинейный шов	Прямолинейный шов
Пространственное положение	Не регламентируется (т. е. любое)	Не регламентируется (т. е. любое)	Неповоротное, при горизонтальном расположении осей свариваемых труб	Неповоротное, при горизонтальном расположении осей свариваемых труб
Характеристика производства	Ремонтное производство	Мелкосерийное производство	Массовое производство	Монтажные условия
Избыточное давление при эксплуатации изделия	2,5 МПа	4 МПа	2 МПа	1,5 МПа
Температура эксплуатации, °С	Плюс 450 °С	Плюс 550 °С	Плюс 500 °С	Плюс 350 °С
Стойкость к МКК*	Нет	Нет	Нет	Нет
Технологические и конструктивные особенности	Конструкция – приварка патрубка к коллектору диаметром 219 мм	Конструкция – приварка люка к корпусу сосуда	Нет	Сварка по аустенитному варианту
НД**, требования которого рекомендуется учесть при разработке технологии	РД 153-34.1-003-01 (РТМ-1с)	ОСТ 26-291-94, ОСТ 26.260.3-2001	РД 38.13.004-86	РД 38.13.004-86

Параметры задания	Вариант задания			
	17	18	19	20
	Значение параметров задания			
Марка сплава	15X5M	10X17H13M2T	08X18H10T	12X18H10T
Тип конструкции	Соединение труб	Листовая открытая конструкция	Соединение труб	Соединения обечаск
Группа типовых изделий, к которой относится конструкция	Технологические трубопроводы	Резервуары для взрывопожароопасных веществ	Технологические трубопроводы	Сосуды, работающие под давлением
Толщина элементов в зоне сварки, мм	35	25	15	30
Диаметр элементов в зоне сварки, мм	273	Нет	1020	2000
Тип сварного соединения	Стыковое	Стыковое	Стыковое	Стыковое
Характеристика протяжённости шва	857 мм	Протяжённые швы длиной >> 1000 мм	3202	6280
Конфигурация шва	Прямолинейный шов	Прямолинейный шов	Прямолинейный шов	Прямолинейный шов
Пространственное положение	Неповоротное, при вертикальном расположении осей свариваемых труб	Не регламентируется (т. е. любое)	Неповоротное при горизонтальном расположении осей свариваемых труб	Не регламентируется
Характеристика производства	Монтажные условия	Крупносерийное производство	Монтажные условия	Массовое производство
Избыточное давление при эксплуатации изделия	2,5 МПа	1,5 МПа	2,5 МПа	5 МПа
Температура эксплуатации, °С	Плюс 400 °С	Плюс 200 °С	Плюс 70 °С	Плюс 370 °С
Стойкость к МКК*	Нет	Нет	Да	Нет
Технологические и конструктивные особенности	Сварка по перлитному варианту	Остающиеся подкладки не допускаются	Нет	Нет
НД**, требования которого рекомендуются учесть при разработке технологии	РД 38.13.004-86	ОСТ 26.260.3-2001, РТМ 26.17.034-84	РД 38.13.004-86, ВСН 362-87	ОСТ 26-291-94, ОСТ 26.260.3-2001

Параметры задания	Вариант задания		
	21	22	23
	Значение параметров задания		
Марка сплава	12X18H10T	08X16H9M2	10X18H12T
Тип конструкции	Соединение труб	Соединение обечаек	Соединение труб с обечайкой
Группа типовых изделий, к которой относится конструкция	Технологические трубопроводы	Котлы, работающие под давлением	Котлы, работающие под давлением
Толщина элементов в зоне сварки, мм	20	35	15
Диаметр элементов в зоне сварки, мм	159	530	325
Тип сварного соединения	Угловое	Стыковое	Тавровое
Характеристика протяжённости шва	499	1664	499
Конфигурация шва	Криволинейный шов	Прямолинейный шов	Криволинейный шов
Пространственное положение	Неповоротное при вертикальном расположении оси привариваемого трубопровода	Не регламентируется (т. е. любое)	Не регламентируется (т. е. любое)
Характеристика производства	Монтажные условия	Единое производство	Крупносерийное производство
Избыточное давление при эксплуатации изделия	2 МПа	4 МПа	3 МПа
Температура эксплуатации, °С	Плюс 100 °С	Плюс 450 °С	Плюс 300 °С
Стойкость к МКК*	Да	Нет	Нет
Технологические и конструктивные особенности	Основная труба и труба-ответвление имеют одинаковые диаметры	Нет	Нет
НД**, требования которого рекомендуется учесть при разработке технологии	РД 38.13.004-86, ВСН 362-87	ОСТ 108.030.30-79, РД 153-34.1-003-01, ОСТ 26.260.3-2001	ОСТ 108.030.30-79, РД 153-34.1-003-01, ОСТ 26.260.3-2001
			РД 38.13.004-86, ВСН 362-87

Параметры задания	Вариант задания		
	25	26	27
	Значение параметров задания		
Марка сплава	08X17H15M3T	10X17H13M3T	06X18H11
Тип конструкции	Соединение труб	Соединение обечайки с трубой	Соединение трубы с листом
Группа типовых изделий, к которой относится конструкция	Трубопроводы пара и горячей воды	Сосуды, работающие под давлением	Резервуары для взрывопожароопасных веществ
Толщина элементов в зоне сварки, мм	20	20	12
Диаметр элементов в зоне сварки, мм	108	325	450
Тип сварного соединения	Угловое	Тавровое	Тавровое
Характеристика протяжённости шва	339	1020	1413
Конфигурация шва	Криволинейный шов	Криволинейный шов	Криволинейный шов
Пространственное положение	Неповоротное при горизонтальном расположении оси привариваемой трубы	Не регламентируется	Не регламентируется (т. е. любое)
Характеристика производства	Монтажные условия	Единичное производство	Крупносерийное производство
Избыточное давление при эксплуатации изделия	1,5–2 МПа	3,5 МПа	1,5 МПа
Температура эксплуатации, °С	Плюс 200 °С	Плюс 300 °С	Плюс 150 °С
Стойкость к МКК*	Нет	Да	Да
Технологические и конструктивные особенности	Нет	Доступ к шву изнутри сосуда ограничен	Конструкция – соединение стенки резервуара с люком
НД**, требования которого рекомендуется учесть при разработке технологии	РД 153-34.1-003-01 (РТМ-1с)	ОСТ 26-291-94, ОСТ 26.260.3-2001	ОСТ 26.260.3-2001, РТМ 26.17.034-84
			РД 38.13.004-86, ВСН 362-87



Параметры задания	Вариант задания		
	29	30	31
	Значение параметров задания		
Марка сплава	08X13	08X17T	15X25T
Тип конструкции	Соединение обечаек	Соединение труб	Соединение труб
Группа типовых изделий, к которой относится конструкция	Сосуды, работающие под давлением	Технологические трубопроводы	Технологические трубопроводы
Толщина элементов в зоне сварки, мм	35	25	15
Диаметр элементов в зоне сварки, мм	1500	159	57
Тип сварного соединения	Стыковое	Стыковое	Угловое
Характеристика протяжённости шва	4710	499	179
Конфигурация шва	Прямолинейный шов	Прямолинейный шов	Криволинейный шов
Пространственное положение	Не регламентируется	Неповоротное при горизонтальном расположении осей свариваемых труб	Неповоротное при горизонтальном расположении оси привариваемой трубы
Характеристика производства	Крупносерийное производство	Крупносерийное производство	Крупносерийное производство
Избыточное давление при эксплуатации изделия	5 МПа	1,5 МПа	1 МПа
Температура эксплуатации, °С	Плюс 250 °С	Плюс 250 °С	Плюс 250 °С
Стойкость к МКК*	Нет	Нет	Нет
Технологические и конструктивные особенности	Нет	Нет	Конструкция – угловое соединение труб равного диаметра
НД**, требования которого рекомендуются учесть при разработке технологии	ОСТ 26-291-94, ОСТ 26.260.3-2001	РД 38.13.004-86, ВСН 362-87	РД 38.13.004-86, ВСН 362-87

Параметры задания	Вариант задания			
	32	33	34	35
	Значение параметров задания			
Марка сплава	ВТ1-0	ОТ4-0	ВТ1-00	ВТ4
Тип конструкции	Соединение обечаек	Соединение обечаек	Соединение обечаек с патрубком	Соединение обечаек с патрубком
Группа типовых изделий, к которой относится конструкция	Сосуды, работающие под давлением	Сосуды, работающие под давлением	Сосуды, работающие под давлением	Сосуды, работающие под давлением
Толщина элементов в зоне сварки, мм	12	20	10	12
Диаметр элементов в зоне сварки, мм	2500	1000	750	400
Тип сварного соединения	Стыковое	Стыковое	Тавровое	Тавровое
Характеристика протяжённости шва	7850	3140	2355	1256
Конфигурация шва	Прямой шов	Прямой шов	Криволинейный шов	Криволинейный шов
Пространственное положение	Поворотное при горизонтальном расположении осей обечаек	Поворотное при горизонтальном расположении осей обечаек	Не регламентируется (т. е. любое)	Не регламентируется (т. е. любое)
Характеристика производства	Крупносерийное производство	Единичное производство	Крупносерийное производство	Крупносерийное производство
Избыточное давление при эксплуатации изделия	5 МПа	1,5 МПа	2,5 МПа	1,5 МПа
Температура эксплуатации, °С	Минус 30 °С	От минус 40 до плюс 60 °С	Плюс 150 °С	Плюс 100 °С
Стойкость к МКК*	Нет	Нет	Нет	Нет
Технологические и конструктивные особенности	Нет	Нет	Нет	Конструкция – соединение корпуса судна диаметром 2000 мм с люком
НД**, требования которого рекомендуется учесть при разработке технологии	ОСТ 26.260.3–2001 Доп. НД: ОСТ 26-1–87, ОСТ 26-11-06–85	ОСТ 26.260.3–2001 Доп. НД: ОСТ 26-1–87, ОСТ 26-11-06–85	ОСТ 26.260.3–2001 Доп. НД: ОСТ 26-1–87, ОСТ 26-11-06–85	ОСТ 26.260.3–2001 Доп. НД: ОСТ 26-1–87, ОСТ 26-11-06–85



Параметры задания	Вариант задания			
	36	37	38	39
	Значение параметров задания			
Марка сплава	A99	A85	АМц	АМг5
Тип конструкции	Соединение обечаек	Соединение обечаек	Соединение обечаек с патрубком	Соединение обечаек
Группа типовых изделий, к которой относится конструкция	Сосуды, работающие под давлением	Сосуды, работающие под давлением	Сосуды, работающие под давлением	Сосуды, работающие под давлением
Толщина элементов в зоне сварки, мм	8	12	6	20
Диаметр элементов в зоне сварки, мм	1200	600	350	1600
Тип сварного соединения	Стыковое	Стыковое	Тавровое	Стыковое
Характеристика протяжённости шва	3768	1884	1099	5024
Конфигурация шва	Прямолинейный шов	Прямолинейный шов	Криволинейный шов	Прямолинейный шов
Пространственное положение	Не регламентируется (т. е. любое)	Не регламентируется (т. е. любое)	Не регламентируется (т. е. любое)	Поворотное при горизонтальном расположении осей обечаек
Характеристика производства	Единичное производство	Единичное производство	Единичное производство	Мелкосерийное производство
Избыточное давление при эксплуатации изделия	3,5 МПа	3,5 МПа	3,5 МПа	1,5 МПа
Температура эксплуатации, °С	От минус 40 до плюс 60 °С	Плюс 350 °С	Плюс 200 °С	Минус 40 °С
Стойкость к МКК*	Нет	Нет	Нет	Нет
Технологические и конструктивные особенности	Нет	Нет	Конструкция – соединенные корпуса сосуда диаметром 2500 мм с люком	Нет
НД**, требования которого рекомендуются учесть при разработке технологии	ОСТ 26.260.3–2001 Доп. НД: ОСТ 26-01-1183–82	ОСТ 26.260.3–2001 Доп. НД: ОСТ 26-01-1183–82	ОСТ 26.260.3–2001 Доп. НД: ОСТ 26-01-1183–82	ОСТ 26.260.3–2001 Доп. НД: ОСТ 26-01-1183–82

Примечание. \* МКК – межкристаллитная коррозия; \*\* НД – нормативный документ.