

**Министерство образования и науки
Российской Федерации
ФГ БОУ ВПО «Российский химико-технологический
университет им. Д.И. Менделеева»**

Новомосковский институт (филиал)

Производство сварного химического оборудования

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

для студентов направления 15.03.02 «Технологические машины
и оборудование» профиля «Машины и аппараты химических
производств»

УДК621.791.03

ББК 34.641

Рецензенты:

главный механик НАК «Азот» Удовиченко С.И.,
доцент кафедры «Естественнонаучные и математические дисциплины»,
к.т.н. Краснослободцев А. В.
(Новомосковский институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева»)

Составители: Козлов А.М., Лукьяница А.И.

Производство сварного химического оборудования. Методическое пособие /Новомосковский институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева»,
Новомосковск, 2015. – 140 с.

Учебное пособие включает теоретический материал в соответствии с рабочей программой по дисциплине «Производство сварного химического оборудования». Профиль «Машины и аппараты химических производств». Дается техническая терминология по сварочным процессам, описание промышленных видов сварки, оборудования и материалов для изготовления металлических строительных и технологических конструкций, технологическим особенностям изготовления сосудов высокого давления и механизации трудоёмких операций. Приведены варианты индивидуальных заданий для самостоятельной работы. Дан пример выполнения индивидуального задания.

Рекомендуется для бакалавров, изучающих данную дисциплину на дневном и заочном отделениях.

Табл. 21. Ил. 48. Библиогр.: 15 назв.

УДК 621.791.03

ББК 34.641

Новомосковский институт (филиал) ФГБОУ ВПО

Содержание

	Стр.
Введение	5
1. Основные понятия, термины и определения в области сварки металлов	7
1.1. Виды сварки	7
1.2. Сварные соединения и швы	9
1.3. Характеристики швов	10
1.4. Информация о сварочном оборудовании и материалах	11
1.5. Дефекты сварных соединений	13
2. Прочность сварных соединений	14
2.1. Концентрация напряжений в сварных конструкциях	16
2.2. Образование трещин в сварных соединениях	16
2.3. Собственные напряжения и деформации в сварных конструкциях	17
2.4. Устранение остаточных напряжений	18
2.5. Общие сведения о сварочных деформациях	19
2.6. Методы уменьшения остаточных деформаций	20
2.6.1. Мероприятия, применяемые до сварки	20
2.6.2. Мероприятия, применяемые при сварке	21
2.6.3. Мероприятия, проводимые после сварки	22
3. Стальные конструкции	22
3.1. Общие требования	22
3.2. Классификация стальных строительных конструкций	24
3.2.1. Конструкции стальные строительные (<i>Термины и определения</i>)	24
3.3. Материалы для конструкций и соединений	27
3.4. Материалы для соединения стальных конструкций	28
3.4.1. Материалы для сварных конструкций	28
3.4.2. Болтовые соединения	37
3.5. Технологии сборки и сварки решётчатых конструкций	42
3.5.1. Требования к прихваткам	42
3.5.2. Механизация сборки и сварки конструкций	44
3.5.3. Технология сборки и сварки балок и колонн сплошного сечения	49
3.5.4. Контроль качества сварных соединений металлических конструкций	51
3.5.5. Защитные покрытия для стальных металлоконструкций	53
3.5.6. Комплектность, маркировка и упаковка готовых конструкций	54
4. Сосуды и аппараты химической промышленности	55

4.1. Требования к конструкции	55
4.1.1. Общие требования	56
4.1.2. Изготовление цилиндрических элементов корпусов	60
4.1.3. Изготовление сварных выпуклых днищ	60
4.1.4. Изготовление сварных сферических (шаровых) корпусов	62
5. Изготовление толстостенных сосудов высокого давления (СВД) с применением сварки	64
5.1. Требования к обечайкам СВД	69
5.2. Сварка сосудов высокого давления	74
5.3. Вварка штуцеров в корпус СВД	78
5.4. Электрошлаковая сварка (ЭШС) в химическом аппаратостроении	80
5.5. ЭШС кольцевых швов СВД	83
5.6. Термическая обработка сварных соединений	85
5.7. Контрольная сборка рулонированного сосуда	87
5.8. Подготовка РСВД к гидравлическим испытаниям	89
5.9. Гидравлические испытания аппарата	90
6. Контроль качества изготовления сосудов и аппаратов химических производств и стальных конструкций	91
6.1. Контроль качества сварных соединений и наплавов	91
6.1.1. Общие требования к качеству соединений сварных конструкций	92
6.1.2. Контроль качества сварных соединений сосудов	92
6.1.2.1. Визуальный и измерительный контроль	93
6.1.2.2. Физические методы контроля	94
6.1.2.3. Стилоскопирование сварных соединений	95
6.1.2.4. Механические испытания	95
6.1.2.5. Металлографические исследования	97
6.1.2.6. Измерение твёрдости металла	97
6.1.2.7. Цветная (капиллярная) и магнитная дефектоскопии	98
6.1.2.8. Гидравлические испытания сосудов	98
6.1.2.9. Исправление дефектов в сварных соединениях	100
Список литературы	100
Приложение 1	102
Дефекты проката 1.1.	110
Приложение 2	111
Приложение 3	114

Введение

Методическое пособие по дисциплине «Производство сварного химического оборудования» включает материал по технологии изготовления металлических конструкций, широко используемых в промышленном производстве и химической отрасли.

Типовое химическое предприятие (комбинат, завод) состоит из отдельных цехов, выпускающих химическую продукцию, и включает строительные конструкции с обогреваемыми помещениями и размещённые в них технологические машины и аппараты, связанные трубопроводами, и открытые не обогреваемые площадки, на которых устанавливается крупногабаритное оборудование.

Стены зданий могут быть кирпичными или из сборного железобетона и, как правило, укреплены металлическим каркасом (строительные металлоконструкции), увеличивающих их прочность при воздействии внешних нагрузок, например, вибраций и др.

Оборудование, установленное на открытых площадках, снабжается металлическими обслуживающими конструкциями преимущественно решётчатого типа (лестничные марши, площадки, этажерки и др.), на которых устанавливаются ограждения, грузоподъёмные устройства и т.п.

Химическое оборудование изготавливается в основном из листовых заготовок (технологические металлоконструкции) различных марок углеродистых и низколегированных конструкционных сталей, высоколегированных, двухслойных сталей и сложных по составу специальных сплавов на основе железа, титана, алюминия, меди и их сплавов, др. металлы и сплавы.

Горячекатаный листовой прокат (ГОСТ 19903-90) поставляется в виде отдельных листов шириной от 500 до 3800 мм и длиной от 1200 до 12000 мм, толщиной от 5 до 160 мм, и в рулонном виде толщиной от 1,2 до 12 мм, при ширине от 1400 до 1700 мм.

Для изготовления технологических металлоконструкций используется листовая, сортовой и фасонный прокат и трубы.

Хранение конструкционных материалов, разметка и резка его должны производиться с соблюдением условий, предохраняющих их поверхности от загрязнений, атмосферных осадков и повреждений. Это особенно важно для высоколегированных коррозионностойких материалов, поверхность которых особо чувствительна к царапинам, забоинам, следам кернения и др. поверхностным дефектам, которые в последующем при эксплуатации, изготовлен-

ных из них аппаратов, могут явиться причиной различных видов местной коррозии, концентраторами напряжений

Все операции сборки деталей из высоколегированных сталей производятся в приспособлениях без применения ударных инструментов, только в крайних случаях могут быть применены деревянные или текстолитовые молотки, а также стальные с рабочими поверхностями наплавленными медью (мягкие).

Сварка является основной технологической операцией изготовления химической аппаратуры и стальных конструкций. Из существующих многих видов сварки, в этом случае применяется электродуговая сварка различными способами: ручная электродуговая с покрытием, механизированная под слоем флюса, в среде защитных газов, электрошлаковая.

Из этих способов сварки преимущественно должна применяться механизированная сварка, так как ею можно соединять детали любых толщин, имеющие значительные протяжённости. Она характеризуется высоким качеством швов, высокой производительностью и сравнительно низкой стоимостью.

Ручной электродуговой сваркой соединяются главным образом короткие сварные соединения в любых пространственных положениях при изготовлении металлоконструкций, приварки патрубков, штуцеров и внутренних устройств аппаратов.

Сваркой в защитных газах соединяются детали толщиной до 20 мм, а также трубы в трубных решётках теплообменников.

Электрошлаковой сваркой соединяются детали большой толщины.

Все используемые материалы, применяемые при производстве аппаратов, трубопроводов и стальных конструкций должны обладать хорошей свариваемостью.

Свариваемость, как гласит ГОСТ 29273-92, – комплексная технологическая характеристика металлов и сплавов, выражающая реакцию свариваемых материалов на процесс сварки, определяющая техническую пригодность материалов для выполнения заданных сварных соединений и удовлетворяющих условиями эксплуатации.

По действующему в настоящее время стандарту [1] даётся следующее определение свариваемости: металлический материал считается поддающимся сварке до установленной степени при данных процессах и данной цели, когда сваркой достигается металлическая целостность при соответствующем технологическом процессе, чтобы свариваемые детали отвечали техническим требованиям, как в отношении их собственных качеств, так и в отношении их влияния на конструкцию, которую они образуют. Иными словами сварной шов должен быть равнопрочным с основным свариваемым материалом.

1. Основные понятия, термины и определения в области сварки металлов

Государственным стандартом ГОСТ 2601 – 84 «Сварка металлов, термины и определения основных понятий» устанавливает применяемые в науке, технике и производстве термины, обязательные для использования в документации всех видов: научно-технической, учебной, справочной литературе.

Для каждого понятия устанавливается один стандартный термин. Применение терминов – синонимов стандартного термина запрещается. Недопустимые к применению термины – синонимы приведены в стандарте в качестве справочных и обозначаются «Ндп», например, Ндп «Полуавтоматическая дуговая сварка» вместо стандартного термина «Механизированная дуговая сварка».

1.1. Виды сварки

Сварка – получение неразъёмных соединений посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями при их нагревании и (или) пластическим деформированием.

Ручная сварка – сварка, выполняемая человеком с помощью инструмента, получающего энергию от стационарного источника.

Механизированная сварка – сварка, выполняемая с применением машин и механизмов, управляемых человеком.

Автоматическая сварка – Сварка, выполняемая машиной, действующей по заданной программе, без непосредственного участия человека.

Сварка плавлением – сварка, осуществляемая местным оплавлением соединяемых частей без приложения давления.

Наплавка – нанесение посредством сварки плавлением слоя металла на поверхность изделия.

Дуговая сварка – сварка плавлением, при котором нагрев осуществляется электрической дугой.

Дуговая сварка неплавящимся электродом – дуговая сварка, выполняемая не расплавляющимся при сварке электродом.

Дуговая сварка плавящимся электродом – дуговая сварка, выполняемая электродом, который расплавляется при сварке, служит присадочным металлом.

Сварка под слоем флюса – дуговая сварка, при которой дуга горит под слоем сварочного флюса.

Дуговая сварка в защитном газе – дуговая сварка, при которой дуга и расплавляемый металл, а в некоторых случаях, и остывающий шов, находятся в защитном газе, подаваемым в зону сварки с помощью специальных устройств.

Аргонодуговая сварка – дуговая сварка, при которой в качестве защитного газа используется аргон.

Дуговая сварка в углекислом газе – дуговая сварка, при которой в качестве защитного газа используется углекислый газ.

Ручная дуговая сварка – дуговая сварка, при которой возбуждение дуги, подача электрода и его перемещение проводится вручную.

Механизированная дуговая сварка – дуговая сварка, при которой подача плавящегося электрода или присадочного металла, или относительное перемещение дуги и изделия выполняются с помощью механизмов.

Автоматическая дуговая сварка – механизированная дуговая сварка, при которой возбуждение дуги, подача плавящегося электрода или присадочного металла и относительное перемещение дуги и изделия осуществляется механизмами без непосредственного участия человека, в том числе по заданной программе.

Плазменная сварка – сварка плавлением, при котором нагрев осуществляется сжатой дугой.

Электродшлаковая сварка – сварка плавлением, при которой для нагрева используется тепло, выделяющееся при прохождении электрического тока через расплавленный шлак.

Газовая сварка – сварка, при которой для нагрева используется тепло пламени смеси газов, сжигаемой с помощью горелки.

Термитная сварка – сварка, при которой для нагрева используется энергия горения термитной смеси.

Наварка – нанесение слоя металла на поверхность изделия посредством сварки с применением давления.

Контактная сварка – сварка с применением давления, при которой используется тепло, выделяющееся в месте контакта свариваемых частей при прохождении электрического тока.

Стыковая контактная сварка – сварка, при которой соединение свариваемых частей происходит по поверхности свариваемых торцов.

Шовная контактная сварка – контактная сварка, при которой соединение свариваемых частей происходит между вращающимися дисковыми электродами, передающими усилие сжатия.

Печная сварка – сварка давлением, при которой нагрев производится в печах или горнах.

Сварка в контролируемой атмосфере – сварка, осуществляемая в камере, заполненной газом определённого состава.

1.2. Сварные соединения и швы

Сварное соединение представляет собой неразъёмное соединение, выполненное сваркой.

Основные типы, конструктивные элементы и размеры сварных соединений следует принимать по действующим стандартам: ГОСТ 5264-80 [3], ГОСТ 8713-79 [4], ГОСТ 11533-75 [5], ГОСТ 11534-75[6], ГОСТ 14771-76[7], ГОСТ 23518-79[8]. Все они включают: основные – соединения стыковые, угловые, тавровые и нахлесточные соединения

Стыковое соединение – сварное соединение двух элементов, примыкающих друг к другу торцовыми поверхностями. При использовании ГОСТ 11533–75 нужно иметь в виду, что под термином «полуавтоматическая сварка» понимается «механизированная дуговая сварка». В химическом аппаростроении и при изготовлении трубопроводов – это основное соединение.

Угловое соединение двух элементов, расположенных под углом и сваренных вместе примыкания их краёв.

Тавровое соединение, в котором торец одного элемента примыкает под углом и приварен к боковой поверхности другого элемента.

Нахлесточное соединение, в котором сваренные элементы параллельны и частично перекрывают друг друга.

Торцовое соединение, в котором боковые поверхности сваренных элементов примыкают друг к другу.

Любая сварная конструкция состоит из **сварных узлов**, в которых сварены примыкающие друг к другу стальные детали.

Во всех сварных соединениях образуются **сварные швы**, представляющие собой участок сварного соединения, образовавшегося в результате кристаллизации расплавленного металла или в результате пластической деформации при сварке давлением или сочетании кристаллизации и деформации.

Различают **стыковые швы** сварного стыкового соединения и **угловые швы**, входящие в состав углового, таврового и нахлесточного соединений.

При сварке металлоконструкций может применяться **точечный шов**, в котором связь между сварными частями осуществляются сварными точками, представляющими собой в плане круг или эллипс.

В металлоконструкциях применяются различные по исполнению швы:

- **непрерывный шов** (предшествующее название сплошной шов) без промежутков по длине шва;
- **прерывистый шов** с промежутками по длине;
- **цепной прерывистый шов** (цепной шов) это двухсторонний прерывистый шов, у которого промежутки по обеим сторонам стенки один против другого;
- **шахматный прерывистый шов** (шахматный шов) это двухсторонний прерывистый шов, у которого промежутки с одной стороны стенки расположены против сварных участков шва с другой стороны стенки;
- **подварочный шов** – меньшая часть двухстороннего шва, выполняемая предварительно для предупреждения прожогов при последующей сварке или накладываемая в последнюю очередь в корень шва;
- **прихватка** – короткий сварной шов для фиксации взаимного расположения деталей, подлежащих сварке;
- **монтажный шов** выполняется при монтаже аппарата или металлоконструкции на строительной площадке.

1.3. Характеристика швов

Кроме того, сварные швы имеют следующие характеристики:

- **валик** – металл сварного шва, наплавленный или переплавленный за один проход;
- **корень шва** – часть сварного шва, наиболее удалённая от его лицевой поверхности;
- **выпуклость сварного шва** (выпуклость шва, усиление шва) – определяемая расстоянием между плоскостью, проходящей через видимые линии границы сварного шва с основным металлом и поверхностью сварного шва, измеренным вместе наибольшей выпуклости;
- **толщина углового шва** – наибольшее расстояние от поверхности углового шва до точки максимального проплавления основного металла;
- **катет углового шва** – кратчайшее расстояние от поверхности одной из свариваемых частей до границы углового шва на поверхности второй свариваемой части;
- **ширина сварного шва** (ширина шва) – расстояние между линиями сплавления на лицевой стороне стыкового шва;
- **разупрочнённый участок сварного соединения** – участок зоны термического влияния, в котором произошло снижение прочности основного металла;
- **зона термического влияния** при сварке – участок основного металла, не подвергшийся расплавлению, структура и свойства которого изменились в результате нагрева при сварке или наплавке.

При работе со стандартами необходимо знать следующие термины:

- **грат** при сварке – металл, выдавленный за счёт осадки при сварке;
- **разделка кромок** – придание кромкам, подлежащим сварке, необходимой формы;
- **скос кромки** – прямолинейный наклонный срез кромки, подлежащей сварке;
- **притупление кромки** – нескошенная часть торца кромки, подлежащей сварке;
- **угол скоса кромки** – острый угол между плоскостью скоса кромки и плоскостью торца;
- **угол разделки кромок** – угол между скошенными кромками свариваемых частей;
- **зазор** – кратчайшее расстояние между кромками свариваемых частей.

В Приложении 1 в виде таблицы представлены некоторые типы сварных стыковых (С), угловых (У), тавровых (Т) и нахлесточных (Н) соединений, их условные обозначения, конструктивные элементы и размеры, выполняемые ручной дуговой сваркой по ГОСТ 5264 – 80. Всего стандарт содержит 32 типа стыковых соединений, 9 типов угловых соединений, 8 типов тавровых и 2 типа нахлесточных соединений.

1.4. Информация о сварочном оборудовании и материалах

При изготовлении металлоконструкций, химического оборудования, трубопроводов применяется, как правило, ручная дуговая и механизированные виды сварки, источником теплоты при дуговой сварке является **сварочная дуга** – устойчивый электрический разряд в сильно ионизированной смеси газов и паров металлов, используемых при сварке, и характеризующийся высокой плотностью тока и высокой температурой.

В зависимости от способов включения электродов и свариваемых деталей в электрическую цепь по роду тока различают дуги, питаемые переменным и постоянным током. Углеродистые и низколегированные стали в промышленной практике, как правило, свариваются с использованием переменного тока, получаемого от сварочных трансформаторов. Это простое по устройству и надёжное оборудование, позволяющее получать качественные сварные соединения.

Высоколегированные стали и сплавы, титановые, алюминиевые и другие материалы образуют качественные сварные соединения только при сварке постоянным током, который вырабатывается выпрямителями или генераторами.

При применении постоянного тока различают сварку на прямой и обратной полярности.

Прямая полярность, при которой электрод присоединяется к отрицательному полюсу источника питания дуги и служит катодом, а объект сварки – к положительному полюсу и служит анодом.

Обратная полярность – когда электрод присоединяется к положительному полюсу источника дуги, а объект сварки – к отрицательному.

Электрододержатель для дуговой сварки – приспособление для закрепления электрода и подвода к нему тока.

Автомат для дуговой сварки – аппарат для автоматической сварки по заданной программе.

Полуавтомат для дуговой сварки – аппарат для механизированной дуговой сварки, включающий сварочную головку с мундштуком, соплом и механизмом подачи проволоки с ручным перемещением сварочной головки по кромкам свариваемого узла.

Сварочная головка – устройство, осуществляющее подачу сварочной проволоки и поддержание заданного режима сварки. Сварочная головка может составлять часть автомата для дуговой сварки.

Мундштук сварочной головки – деталь сварочной головки, предназначенная для направления сварочной проволоки в зону сварки и подвода к ней сварочного тока.

Сопло сварочной головки служит для подвода и направления газа или флюса с целью защиты сварочной ванны и электрода от воздействия воздуха.

Трактор для дуговой сварки – переносной аппарат для дуговой сварки с самоходной тележкой, которая перемещает его вдоль свариваемых кромок по поверхности изделия или переносному пути.

Флюсовый аппарат – аппарат для подачи и уборки сварочного флюса.

Подкладка – деталь или приспособление, устанавливаемая при сварке плавлением под кромки свариваемых частей.

Флюсовая подушка – подкладка в виде приспособления, удерживающая расплавленный металл ванны при помощи флюса.

Флюсо-медная подкладка – подкладка из медной пластины, покрытая тонким слоем флюса, обеспечивающая формирование шва, удержание расплавленного металла и отвод тепла.

Сварочная проволока – используется в качестве плавящегося электрода или присадочного металла при сварке плавлением.

Самозащитная проволока – электродная проволока, содержащая вещества, которые защищают расплавленный металл от вредного воздействия воздуха при сварке.

Порошковая проволока – сварочная проволока, состоящая из оболочки, заполненной порошкообразным веществом.

Неплавящийся электрод для дуговой сварки – деталь из электропроводного материала, включаемая в цепь сварочного тока для подвода его к сварочной дуге и не расплавляющийся при сварке (вольфрам, графит).

Плавящийся электрод для дуговой сварки – металлический электрод, включённый в цепь сварочного тока для подвода его к дуге, расплавляющийся при сварке и служащий присадочным металлом.

Покрытый электрод – плавящийся электрод для дуговой сварки, имеющий на поверхности покрытие, адгезионно связанное с металлом электрода.

Покрытие электрода – смесь веществ, нанесённых на электрод для усиления ионизации, защиты от вредного влияния среды, металлургической обработки ванны.

Флюс для дуговой сварки – расплавляемый при сварке материал, защищающий дугу и сварочную ванну от вредного воздействия окружающей среды и осуществляющий металлургическую обработку ванны.

Плавённый сварочный флюс для дуговой сварки, полученный сплавлением его составляющих и последующей грануляцией расплава.

Керамический сварочный флюс для дуговой сварки, изготовлен из шлакообразных материалов со связующим веществом, грануляцией и последующей термической обработкой.

Коэффициент расплавления выражает отношение массы электрода, расплавленной в единицу времени горения дуги, отнесённой к единице сварочного тока.

Коэффициент наплавки при сварке выражает отношение массы металла, наплавленной за единицу времени горения дуги, отнесённой к единице сварочного тока.

Коэффициент потерь при сварке (коэффициент потерь) выражает отношение потерь металла при сварке на угар и разбрызгивание к массе расплавленного присадочного металла.

Погонная энергия – энергия, затраченная на единицу длины сварочного шва при сварке плавлением.

1.5. Дефекты сварных соединений

Трещина сварного соединения в виде разрыва в сварном шве и (или) прилегающем к нему зонах.

Продольная трещина сварного соединения, ориентированная вдоль оси сварного шва.

Поперечная трещина сварного соединения, ориентированная поперёк оси сварного шва.

Разветвлённая трещина сварного соединения, имеющая ответвления в различных направлениях.

Микротрещина сварного соединения, обнаруженная при пятидесятикратном и более увеличении.

Усадочная раковина сварного шва – дефект в виде полости или впадины, образованный на поверхности шва при усадке металла в отсутствии питания жидким металлом.

Вогнутость корня шва – дефект в виде углубления на поверхности обратной стороны сварного одностороннего шва.

Свищ в сварном шве – дефект в виде воронкообразного углубления в сварном шве.

Пора в сварном шве – дефект в виде полости округлой формы, заполненный газом, выходящий на поверхность или скрытый.

Цепочка пор в сварном шве – группа пор, расположенных в линию.

Непровар – дефект в виде несплавления в сварном соединении вследствие неполного расплавления кромок или поверхностей ранее выполненных валиков сварного шва.

Прожог сварного шва – дефект в виде сквозного отверстия в сварном шве, образовавшийся в результате вытекания части металла сварочной ванны.

Шлаковое включение сварного шва – дефект в виде вкрапления шлака в сварочном шве обычно скрытый в толще шва.

Брызги металла – дефект в виде затвердевших капель металла на поверхности сварного соединения.

Подрез зоны сплавления – дефект в виде углубления по линии сплавления сварного шва с основным металлом.

Наплывы на сварном соединении – дефект в виде натекаания металла шва на поверхность основного металла или ранее выполненного валика без сплавления с ним.

Смещение сваренных кромок – неправильное положение сваренных кромок друг относительно друга.

Основные виды дефектов представлены в Приложении 3.

2. Прочность сварных соединений

Конструкционная прочность материалов достигается при оптимальном сочетании объёмных характеристик пределов прочности, текучести, усталости, твёрдости, ударной вязкости. Что касается расчёта сварных конструкций, то к перечисленным показателям следует добавить прочность сварных швов с учётом наличия в них возможных дефектов, концентраторов напряжений, остаточных напряжений и деформаций.

Для изготовления оборудования химических производств, металлоконструкций и трубопроводов основным рекомендуемым типом сварного со-

единения является стыковое соединение, допускаются также соединения угловые, тавровые и в оговорённых случаях – нахлесточные.

Проверка прочности стыковых соединений производится по формуле:

$$\sigma = P/F \leq [\sigma^*]_p, \quad (1)$$

где $[\sigma^*]_p$ – расчётное допускаемое напряжение на растяжение, с учётом дефектов шва, МПа;

P – действующее усилие в соединении;

F – площадь поперечного сечения шва.

Проверка прочности угловых швов производится по формуле:

$$\tau = P/mL < [\tau^*] \quad (2)$$

где $[\tau^*]$ – допускаемое напряжение в шве при срезе, МПа;

L – длина периметра швов;

m – коэффициент, зависящий от очертания углового шва.

При угловом шве, очертанием в форме равнобедренного треугольника с катетом K , что наиболее часто встречается на практике, срезающее напряжение определяется:

$$\tau = P/0,7KL \leq [\tau^*] \quad (3)$$

Существуют две функциональные разновидности сварных соединений: **первые** – передающие рабочие усилия (рабочие напряжения), и требующие расчёта, и **вторые**, фиксирующие взаимное расположение свариваемых деталей, являются связующими и расчёта на прочность не требуются.

Таблица 1.

Механические свойства сталей и сварных соединений

Марка стали	Предел прочности основного металла, МПа	Предел прочности шва, МПа	Предел текучести основного металла, МПа	Предел текучести шва, МПа	Относит. удлинение основного металла, %	Относ. удлинение шва, %
Сталь Ст. 3сп	380	380–450	210	210–300	20	21–30
Сталь 09Г2С	470	480–600	310	310–430	22	22–23
Сталь 20	480	до 500	350	360–420	30	До 35
Сталь 15ХСНД	500	650	350	320–360	21	20–22

Примечание: образцы для испытаний на прочность сваривались в среде углекислого газа проволокой Св. – 09Г2С

Из таблицы 1 следует, что прочность стыкового сварного соединения во всех случаях не ниже прочностных свойств основного металла.

Далее рассмотрены некоторые свойства сварных соединений, появляющихся в процессе сварки и других воздействий при изготовлении конструкций и влияющих на прочность, деформации и работоспособность изделий.

2.1. Концентрации напряжений в сварных конструкциях

Сварные соединения часто являются источником образования концентраторов напряжений в конструкциях. Микроконцентраторы в швах появляются вследствие наличия локальных дефектов: пор, шлаковых включений, микротрещин. Макроконцентраторы возникают при наличии крупных дефектов: трещин, непроваров, шлаковых включений, нерациональных конструктивных форм. Концентрация напряжений возникает также в результате неоднородной структуры наплавленного металла и металла околошовной зоны.

Наименьшие коэффициенты концентрации напряжений имеют стыковые сварные соединения. У них при отсутствии наплывов, подрезов и непроваров коэффициенты концентрации напряжений близки к 1. В однопроходном шве небольшая концентрация напряжений наблюдается в месте перехода валика шва к основному металлу.

В угловых и тавровых сварных соединениях наблюдается большая, по сравнению со стыковыми швами, концентрация напряжений, особенно при наличии непроваров и при сварке без подготовки кромок.

В нахлесточных сварных соединениях распределение концентрации напряжений происходит неравномерно, что вызывает наличие больших остаточных напряжений. Поэтому нахлесточные соединения, особенно при изготовлении химического оборудования, должны применяться в исключительных случаях для приварки ненагруженных или слабонагруженных элементов.

2.2. Образование трещин в сварных соединениях

Наиболее опасными дефектами сварных соединений являются трещины: продольные, поперечные, разветвлённые, расположенные в самом шве или околошовной зоне. По линейным размерам, трещины бывают микроскопическими, выявляемые при значительных увеличениях, и макроскопическими, видимые невооружённым глазом.

Трещины, возникающие в процессе кристаллизации или усадки, под которой подразумевается уменьшение объёма расплавленного металла при охлаждении, под действием растягивающих напряжений в ходе очень бы-

строого охлаждения после прохождения дуги, называют **«горячими»** трещинами. Особенно склоны к ним легированные и двухслойные стали.

В сварных соединениях углеродистых сталей при нормальной температуре и закаливающихся сталей при температуре 100–300°C возникают **«холодные»** трещины.

Эти трещины образуются под действием внутренних напряжений, превосходящих деформационную способность металла на данном участке (превышение предела текучести). Холодные трещины образуются иногда непосредственно после завершения сварки, а иногда спустя длительное время после окончания сварки.

Образование трещин в процессе сварки происходит от действия ряда факторов:

- марки свариваемых материалов, характеризующихся химическим составом, теплофизическими свойствами, структурой и способом выплавки: повышенное содержание углерода в стали (более 0,3%), а также серы и фосфора увеличивает вероятность образования трещин; марганец, хром и никель увеличивают прокаливаемость сталей, повышая склонность к образованию трещин; сталь, выплавленная конверторным способом, более склонна к образованию трещин, чем мартеновская;
- теплового режима сварки, определяющего нагрев и охлаждение металла; для предупреждения образования трещин важно правильно выбирать тепловые режимы, гарантирующие равномерное распределение тепла по сечению сварного соединения и постепенное его охлаждение;
- толщины свариваемых материалов, при увеличении которой вероятность образования трещин возрастает; это объясняется повышением жёсткости соединения и снижением возможности релаксации напряжений;
- воздействием окружающей среды; при сварке в условиях отрицательных температур, а также при сварке на сильном ветру и при воздействии атмосферных осадков, происходящий быстрый отвод тепла от зоны сварки способствует трещинообразованию;
- состояния поверхности свариваемых деталей и поверхности сварочной проволоки оказывают сильное влияние на сопротивляемость образованию трещин; ржавчина, масло, влага, краска и другие загрязнения являются источником насыщения металла сварного шва водородом, который охрупчивает металл; поэтому перед сваркой кромки, сварочную проволоку следует очистить, флюс, электроды – прокалить, защитные газы применять только сварочные.

Все сварочные работы рекомендуется проводить в цеховых условиях при положительных температурах (защитные тенты, палатки и т.п.).

2.3. Собственные напряжения и деформации в сварных конструкциях

Напряжения, которые существуют в теле металла при отсутствии приложенных внешних сил, называются **собственными**. Они уравновешены в пределах самого тела или его элементов. Значительные собственные напряжения имеются не только в сварных конструкциях, но и в прокате, поковках, отливках.

В сварных конструкциях вследствие неравномерного нагрева (охлаждения) металла возникают деформации, которые вызваны появлением тепловых собственных напряжений. Возникающее при этом пластическое деформирование является источником возникновения остаточных напряжений. Остаточные напряжения также появляются в результате структурных превращений в металле при сварке.

Собственные напряжения принято классифицировать в зависимости от объёма элементов тела, в пределах которого они уравновешены:

- напряжения **первого рода** уравниваются в объёмах, соизмеримых с самим телом;
- напряжения **второго рода** уравниваются в пределах одного или нескольких зёрен;
- напряжения **третьего рода** – в пределах группы атомов. Наиболее существенными и изученными являются напряжения первого рода.

Сварочные деформации, как правило, являются нежелательными, так как затрудняют технологический процесс изготовления конструкций, получение точных размеров, иногда снижают эксплуатационные качества изделий.

Остаточные напряжения при сварке малоуглеродистых сталей (до 0,3% С) толщиной до 45 мм достигают предела текучести и действуют параллельно швам. Они превышают напряжения поперёк шва по всей толщине металла.

Двухосные остаточные напряжения образуются при осесимметричном центральном нагреве, например, при точечной контактной сварке и сварке электродозаклёпками.

Трёхосные остаточные напряжения образуются в соединениях большой толщины, например, при электрошлаковой сварке, при этом в глубине металла действуют все три компонента растягивающих напряжений, достигая иногда значительной величины.

2.4. Устранение остаточных напряжений

Устранение действия остаточных напряжений основано на искусственном создании пластических деформаций в сварных конструкциях несколькими способами.

Наиболее эффективным методом устранения остаточных напряжений является общий высокий отпуск изделия. Для конструкций из малоуглеродистых сталей температура отпуска составляет 600–650°C. Продолжительность процесса зависит от толщины элементов. Снятие напряжений происходит вследствие структурных изменений, вызывающих пластическое деформирование металла при напряжениях ниже предела текучести, и его ползучести при этих температурах. Помимо снятия остаточных напряжений происходит восстановление пластических свойств металла в местах концентрации напряжений. Иногда применяется местный нагрев для получения эффекта отпуска.

Термомеханический метод устранения остаточных напряжений заключается в том, что при нагреве горелками околошовной зоны, имеющей напряжения сжатия, происходят пластические деформации, приводящие к понижению остаточных напряжений.

Механические методы устранения напряжений: прокатка, проковка, растяжение, их, как правило, применяют для устранения деформаций, но при этом одновременно происходит значительное понижение остаточных напряжений.

Экспериментально доказано, что влияние остаточных напряжений на прочность при пластическом характере разрушения незначительно. Это важно, так как освобождает от необходимости при расчётах вычислять остаточные напряжения и складывать их с остаточными напряжениями от нагрязок.

2.5. Общие сведения о сварочных деформациях

Деформации и напряжения, называемые сварочными, возникают во время нагрева материала, а также в процессе остывания.

Сварочные напряжения вызывают деформации и перемещения свариваемых элементов конструкций. Во время нагрева и охлаждения деформации и напряжения непрерывно изменяются в функции температуры, их называют временными (температурными); деформации и напряжения после полного остывания – остаточными.

Упругопластические деформации при неравномерном нагреве определяются главным фактором – температурой, сопровождаемой образованием реакций связей со стороны менее нагретого металла. Остаточные деформации вызывают укорочение, изгиб, скручивание, потерю устойчивости и другие виды коробления конструкции.

Особенностью временных и остаточных напряжений является их уравновешенность, определяемая классическими уравнениями статики в элементах конструкции.

Неравномерно распределённая по сечению свариваемых элементов продольная и поперечная усадка сварных швов, сжимающие остаточные

напряжения, действующие в нежёстких конструкциях элементов, приводят к возникновению остаточных деформаций сварных конструкций.

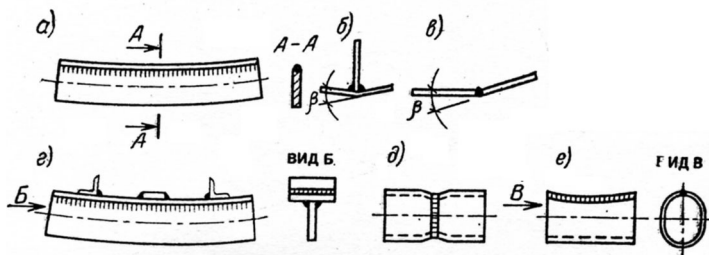


Рис. 1. Виды сварочных деформаций

На рис. 1 показаны некоторые наиболее распространённые виды сварочных деформаций. Так продольный шов, выполненный по торцу неширокой стальной полосы, приводит к искривлению её продольной оси (рис. 1а), неравномерная усадка сваренных втавр двух полос вызывает деформацию одной из них (грибовидность) (рис. 1б). Угловой увод сваренных продольным швом тонкостенных листов и внутренний увод кромок наблюдается у толстостенных цилиндрических обечаек (рис. 1в, д). Усадка продольных и поперечных швов в сварных соединениях листовых конструкций (оболочковые, баллонные) приводят к значительным изгибным деформациям балок (рис. 1г, е). В большинстве случаев, особенно при сварке сложных конструкций, возникает несколько видов остаточных деформаций.

2.6. Методы уменьшения остаточных деформаций

Обеспечение требуемой точности размеров и формы готового изделия достигается использованием различных мероприятий по борьбе со сварочными деформациями. Все мероприятия делятся на три группы: мероприятия, применяемые до сварки, в ходе и после сварки.

2.6.1. Мероприятия, применяемые до сварки

- а) Рациональное конструирование сварного изделия включает:
- уменьшение количества наплавленного металла в конструкции;
 - использование видов сварки с малой погонной энергией, например, контактной;
 - симметричное относительно центра тяжести расположение швов;
 - расположение швов вблизи жёсткостей (рёбер) с целью предотвращения деформаций от потери устойчивости;

- применение прерывистых швов может оказаться полезным, если участки между швами не менее 30–40 мм.

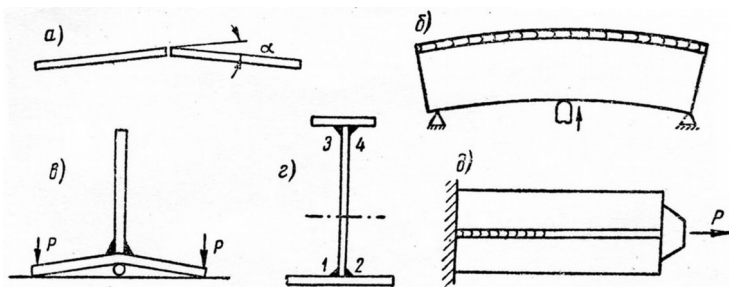


Рис. 2. Примеры уменьшения сварочных деформаций

б) Назначение начальных размеров и формы заготовок, их взаимное расположение с учётом последующей усадки, например, назначение углового развала сварного соединения (рис. 2а).

в) Создание деформаций, обратных сварочным, путём предварительного деформирования изделия или жёсткого закрепления в специальных приспособлениях (рис. 2б, в). Закрепления снимаются только после завершения сварки.

г) Деформации конструктивных элементов, обратные сварочным, создаваемых путём предварительного пластического деформирования заготовок без фиксации в приспособлении.

д) Создание напряжений растяжения в зоне шва изгибом или растяжением детали в приспособлении. При сварке по растянутому металлу возникает линейная усадочная сила (рис. 2д). Если прикладываемые начальные напряжения в зоне сварки близки к пределу текучести металла, то усадочная сила и вызываемые ею деформации, будут незначительными.

2.6.2. Мероприятия, применяемые в процессе сварки

а) При сборке максимальное использование клиновых и центровочных приспособлений, по мере возможности использовать прихватки, создающие жёсткое закрепление элементов.

б) Рациональный выбор последовательности выполнения швов, обеспечивающий минимальные суммарные деформации (рис. 2г), поузловая сборка взамен подетальной.

в) Уменьшение погонной энергии сварки, например, за счёт применения механизированной сварки взамен ручной;

г) Проковка сварных швов непосредственно за сваркой молотком – эффективно для пластичных металлов.

2.6.3. Мероприятия, проводимые после сварки

а) Локальный нагрев в виде круговых, полосовых и клиновых движений пламенем газовой горелки при температурах порядка 600 – 800°C.

б) Высокий отпуск с использованием жёстких и зажимных приспособлений. После сварки конструктивный элемент зажимается в кондукторе, упруго деформируется, приобретая правильную форму. После высокого отпуска (550-650°C) конструкция сохраняет форму, которая была придана ей в приспособлении.

Помимо термической обработки существует значительный комплекс технологических способов уменьшения величины остаточных напряжений. К таким способам относят следующие:

- обработку ультразвуковыми колебаниями (воздействие ультразвуковых колебаний на уменьшение остаточных напряжений не одинаково для разных материалов, оно наиболее эффективно для изделий из низколегированных и низкоуглеродистых сталей – уменьшает напряжённое состояние более чем в 2 раза);
- прокатку – производительный способ, который может быть применён в изделиях малых и средних толщин (8 – 10 мм);
- метод взрыва;
- обжатие точечных соединений;
- нередко поверхность стыковых швов обрабатывают дробью или другими средствами. Помимо повышения предела текучести на поверхности образуются сжимающие напряжения, которые могут быть полезными при работе элементов при растягивающих усилиях.

Требования устранения остаточных напряжений в сварных объектах часто вызываются не соображениями прочности, а условиями сохранения точности.

3. Стальные конструкции

3.1. Общие требования

На предприятиях различных отраслей промышленности в большом объёме используется разнообразные стальные конструкции, как для изготовления технологического оборудования, так и элементов зданий, сооружений и строительных объектов различного назначения, работающих при температурах не выше 100°C и не ниже минус 60°C.

Стальные конструкции следует выполнять с учётом их назначения, технологических особенностей изготовления, монтажа и эксплуатации, а также свойств конструкционных материалов.

Расчётные и конструктивные схемы должны учитывать действительные условия работы стальных конструкций.

Возможны следующие модели несущих конструкций:

- отдельные конструктивные элементы, например, растянутые или сжатые стержни, балки, стойки и колонны сплошного сечения и др.;
- плоские или пространственные системы, раскреплённые (несвободные) (рис. 3а), (раскреплённой считается система, конструкция раскрепления которой не менее чем в 5 раз уменьшает её горизонтальное перемещение);
- плоские или пространственные системы, не раскреплённые (свободные) (рис. 3б);
- листовые конструкции: цилиндрические и другие формы оболочек, днища аппаратов, сосудов и т.п.

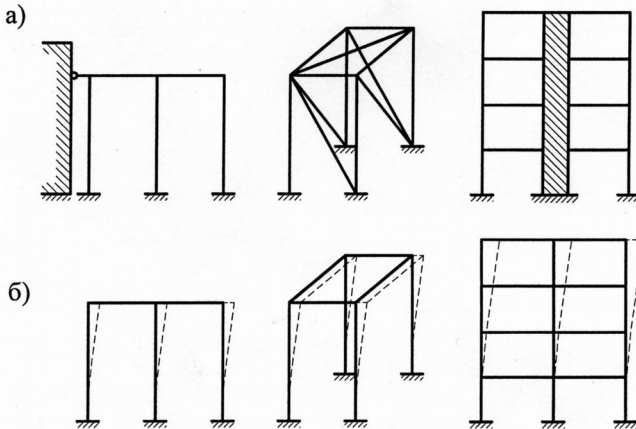


Рис. 3. Схемы систем раскреплённых и не раскреплённых конструкций

В зависимости от назначения, условий работы и наличия сварных соединений сварные конструкции следует разделить на четыре группы согласно требованию СНиП [9].

Группа 1. Сварные конструкции, работающие в особо тяжёлых условиях, подвергающиеся воздействию динамических, вибрационных или подвижных нагрузок (решётчатые конструкции): подкрановые балки, балки рабочих площадок, балки путей подвижного транспорта, главные балки и ригели рам при динамической нагрузке, фасонки рам, свободно стоящие дымовые тру-

бы, специальные опоры линий электропередач высотой более 60 м, элементы оттяжек монтажных мачт и т.п.

Группа 2. Сварные конструкции и их элементы, работающие при статической нагрузке при наличии растягивающих напряжений: фермы, ригели рам, балки перекрытий, косоуры лестниц, оболочки силосов, опоры электропередач, опоры транспортных галерей, прожекторные мачты и т.п., а также конструкции группы 1 при отсутствии сварных соединений.

Группа 3. Сварные конструкции либо их элементы, работающие при статической нагрузке, преимущественно несжатые: кабины, стойки, опорные плиты, элементы настила перекрытий, эстакады, конструкции, поддерживающие технологическое оборудование (постаменты) и др., а также конструкции группы 2 при отсутствии сварных соединений.

Группа 4. Вспомогательные конструкции зданий и сооружений: элементы факверка, лестницы, трапы, площадки, ограждения и т.п., а также конструкции группы 3 при отсутствии сварных соединений.

3.2. Классификация стальных строительных конструкций

Все металлические конструкции можно разделить на строительные и технологические. Строительные металлоконструкции применяются при изготовлении фундаментов, зданий и сооружений.

Строительные конструкции классифицируются по: назначению, видам соединений и условиям эксплуатации.

По назначению конструкции подразделяются на:

несущие (основные и вспомогательные);

ограждающие;

совмещающие функции несущих и ограждающих и монтаже каркасов зданий и сооружений.

Технологические металлоконструкции применяются на промышленных предприятиях для ведения технологических процессов производства продукции: оборудование, приспособления площадки, лестницы, ограждения и трубопроводы изготовленные из металла.

3.2.1. Конструкции стальные строительные

Термины и определения

Балка – конструктивный элемент, работающий в основном на поперечный изгиб. Жёстко соединённые между собой балки образуют рамные конструкции.

Колонна – элемент, работающий преимущественно на сжатие, или сжатие с продольным изгибом.

Решётчатая конструкция – это система стержней, соединённых в узлах таким образом, что стержни испытывают, главным образом, растяжение или сжатие.

Оболочковая (сплошная или листовая) конструкция – изделие, изготовленное из листовых заготовок, испытывающее, как правило, избыточное давление; к ним предъявляют требования герметичности соединений. К ним относятся ёмкости, сосуды и трубопроводы.

Ригель – горизонтальный несущий элемент конструкции (сплошной или решётчатой) из стали, железобетона или дерева, соединяющий стойки, колонны, стропила, служит опорой прогонов и плит перекрытий.

Косоур – несущая конструкция лестничного марша в виде консольной балки (бруса) или наклонные несущие элементы, к которой крепится ступени, делают из уголков, листов или швеллеров.

Ступени – деталь лестницы, изготовленная из листового или круглого прокатного профиля.

Площадка лестниц состоит из настила и несущих элементов-балок. К балкам приваривается листовой настил, усиленный рёбрами жёсткости.

Фасонка – деталь в виде небольшой пластинки из листового металла, к которой крепятся металлические детали, например, стержни в узлы поясов ферм.

Фахверк – каркас зданий, состоящий из стоек, раскосов и обвязок, заполненный кирпичом или бетоном.

Фермы – решётчатые конструкции, представляющие собой систему стержней, соединённых в узлах таким образом, что стержни испытывают растяжение или сжатие. Фермы, как и балки, работают на поперечный изгиб. Состоят из верхнего и нижнего поясов, соединённых между собой решёткой из уголков (стержней). Решётка имеет вертикальные элементы – стойки и наклонные – раскосы.

Прогоны – решётчатая конструкция, выполненная из профильного проката и прикрепляющаяся к верхним поясам ферм.

Стропила (стропильная ферма) – плоские решётчатые конструкции, работающие при статической нагрузке, в качестве стержней используют прокатные и значительно реже гнутые замкнутые профили и трубы.

Эстакады – открытые сооружения, поддерживающие трубопроводы различного назначения, железнодорожные или автомобильные пути или транспортёры.

Галереи – как и эстакады, поддерживающие конструкции, имеющие большие пролёты, оборудованные транспортирующими устройствами (чаще всего ленточными конвейерами для транспортирования сыпучих материалов). Галереи могут быть тёплыми и холодными. Продольные стены тёплых галерей состоят из железобетонных плит, опирающихся на балки, которые

передают вертикальную нагрузку на фермы, или из волнистых асбоцементных двойных листов с минеральным утеплителем, либо – сэндвич-панелей.

Постамент (рама) – основание какого-либо механизма, машины или аппарата, передающего всю нагрузку на фундамент.

Трапы и переходные площадки снабжаются настилом из гнутых профилей или сварными из швеллеров и настила из рифлёной стали.

Каркас здания имеет поперечные рамы, состоящие из стальных стоек и ригелей.

По видам соединения конструкции делятся на:

- **сварные;**
- **болтовые** (в том числе с фиксационными соединениями на высокопрочных болтах);
- **клёпанные;**
- **комбинированные**

По условиям эксплуатации конструкции подразделяются в зависимости от:

- вида силового воздействия;
- степени агрессивности внешней среды; температурных условий;
- характера функционирования.

По виду силового воздействия конструкции разделяют на:

- воспринимающие постоянные, временные нагрузки и воздействия;
- воспринимающие кроме постоянных и временных, особые нагрузки типа подвижных, вибрационных, взрывных, сейсмических;
- **по степени агрессивности внешней среды** конструкции делятся на эксплуатируемые в средах:
 - неагрессивных;
 - слабоагрессивных;
 - среднеагрессивных;
 - сильноагрессивных.

Степень агрессивности устанавливается по СНиП [10].

- **по температурным условиям эксплуатации** конструкции подразделяют:
 - с расчётной температурой минус 40°C и выше;
 - с расчётной температурой от минус 40° до минус 50°C включительно;
 - с расчётной температурой ниже минус 50° до минус 60°C включительно;
 - с температурой воздействия 100°-150°C;
 - эксплуатируемые в отапливаемых помещениях;
 - эксплуатируемые в не отапливаемых помещениях.
- **по характеру функционирования** конструкции подразделяются на:
 - стационарные;
 - сборно-разборные;
 - передвижные.

Основные параметры и размеры конструкций должны быть приведены в проектной документации, например, в курсовых и выпускных квалификационных работах студентов.

3.3. Материалы для конструкций и соединений

При выборе стали для конструкций следует учитывать:

- группу конструкций;
- расчётную температуру;
- требования по ударной вязкости;
- химический состав.

Таблица 2.

Назначение стали в зависимости от группы по расчётной температуре

Марка стали, ГОСТ	Условия применения при расчётной температуре, °С для групп конструкций											
	При $t \geq -45$				При $45 > t \geq -45$				При $t < -55$			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Ст.3кп2, Ст.3пс2	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Ст3пс5	-	+	×	-	-	-	-	+	-	-	-	+
Ст.3сп5	+	×	×	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Сталь 09Г2С	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Обозначения: значок «+» – можно применять; «-» – нельзя применять; «X» – можно применять при соответствующем технико-экономическом обосновании

Таблица 3

Нормируемые показатели ударной вязкости проката

Расчётная температура, °С	Группа конструкций	+20KCA	+20KCV	0KCV	-20KCV	-20KCV	-40KCV	-40KCV	-60KCV	-60KCV
$T \geq -45^\circ\text{C}$	1,2,3	29	34	-	-	34	-	34	-	40
$-45^\circ\text{C} > T \geq -45^\circ\text{C}$	1	29	-	-	34	-	34	34	-	40
$-45^\circ\text{C} > T \geq -45^\circ\text{C}$	2,3	29	-	34	-	34	-	34	-	40

$t < -55^{\circ}\text{C}$	1,2,3	29	-	-	34	-	34	-	34	40
Предел текучести проката, Н/мм ²	$\sigma_{\tau} < 290$				$290 \leq \sigma_{\tau} < 300$			$390 \leq \sigma_{\tau} < 490$		

Примечания

1. КСА – ударная вязкость образцов (тип I) по ГОСТ 9454-78, испытанных при $t + 20^{\circ}\text{C}$, с U-образным надрезом после деформационного старения;
КСV – ударная вязкость образцов с V-образным надрезом (тип II) по ГОСТ 9454-78.

В толстолистовом прокате испытываются поперечные образцы, в фасонном и сортовом – продольные.

Для конструкций следует использовать фасонный (уголок, двутавр, швеллер), листовой, широкополосный прокат и гнутый профиль с техническими требованиями по ГОСТ 27772-88, ГОСТ 14637-2014, ГОСТ 5157-83, ГОСТ 19281-89, тонколистовой прокат из углеродистой стали по ГОСТ 16523-97 и холодногнутый профиль по ГОСТ 11474-76, профили гнутые замкнутые квадратные и прямоугольные по ГОСТ 30245-2003, сортовой прокат (круг, квадрат, полоса) по ГОСТ 535-2005 и ГОСТ 19281-2014, электросварные трубы по ГОСТ 10709-91 и ГОСТ 10706-91, горячедеформированные трубы по ГОСТ 8734-75.

3.4. Материалы для соединений стальных конструкций

3.4.1. Материалы для сварных конструкций

Для ручной дуговой сварки следует применять: электроды по ГОСТ 9467-75, сварочную проволоку по ГОСТ 2246-70, флюсы по ГОСТ 9087-84, порошковую проволоку по ГОСТ 26271-84

Применяемые материалы и технология сварки должны обеспечивать значение временного сопротивления ($\sigma_{\text{в}}$) металла шва не ниже нормативного значения временного сопротивления основного металла, а также значения твердости, ударной вязкости и относительного удлинения.

Конструктивные элементы кромок, подготовленных под сварку, типы и размеры швов сварных соединений должны соответствовать стандартам [3,4,5].

В зависимости от марки стали и требований, предъявляемых к изделиям, сварка должна быть выполнена электродами, указанными в таблице 4. Режимы ручной дуговой сварки углеродистых и низколегированных сталей в зависимости от диаметра и марок электродов приведены в таблице 5 в нижнем положении; (в вертикальном и потолочном – ток на 10–20% ниже).

Диаметр электрода необходимо выбирать в зависимости от толщины свариваемого металла и номера прохода при многослойной сварке. Для первого прохода рекомендуется диаметр электрода не более 3,0 мм, для последующих – $3,0 \div 6,0$ мм.

Сварку следует производить электродами марок УОНИ-13/45; УП-1/45; УОНИ 13/55; УП-1/55 короткой дугой, марки: АНО-17; МР-3; ОЗС-12-4; ОЗС-12 как короткой, так и средней дугой.

Материалы для механизированных видов сварки стальных конструкций приведены в таблице 6.

Швы сварных соединений и конструкций по окончании сварки должны быть очищены от шлака и налётов металла. Приваренные сборочные приспособления необходимо удалить без применения ударных воздействий и повреждений основного металла, а место их приварки зачищены до основного металла. Около шва сварного соединения на расстоянии не менее 40 мм от границы шва должен быть поставлен знак сварки (клеймо).

Таблица 4.

Электроды для сварки углеродистых и низколегированных сталей

Марки свариваемой стали	Тип электрода	Минимальная температура эксплуатации конструкции
Ст.3кп Ст.3пс	Э42 Э46	Не ниже минус 15°C
СТ.3сп Ст.3Гпс; Ст.5Г пс, Сталь 10, 15, 20	Э42А Э46А Э50А	Не ниже минус 30°C Не ниже минус 40°C
Сталь 16ГС; 09Г2; 09Г2С; 10Г2; 17ГС; 15Х2СФ	Э50А; Э55; Э60; ВП-4	Не ниже минус 40°C
Сталь 09Г2; 09ГЮЧ; 09Г2БТ; 10Г2; 10Г2ФБ; 10Г2С1	Э50А	Не ниже минус 60°C до минус 70°C, после нормализации
Сталь 10Х2ГНД; 15ХСНД	Э50А	Не ниже минус 40°C

Сталь 09Г2С; 10Г2; 10Г2С1;09Г2СЮЧ	10ГН; 10ГНМ	Не ниже минус 70°С
--------------------------------------	----------------	--------------------

Без индекса «Э» указаны электроды, не предусмотренные ГОСТ 9467

Таблица 5.
Режимы ручной дуговой сварки углеродистых и низколегированных сталей с применением отдельных типов электродов

Тип электрода по ГОСТ 9467	Марка электрода	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А	Род тока
Э42	АНО17	4 5 6	100-210 190-280 270-360	Постоянный, любая полярность или переменный
Э42А	УОНИ 13/45	2 3 4 5 6	45-65 80-100 130-160 170-200 210-240	Постоянный, обратная полярность
Э42А	УП-1/45	2 3 4 5	45-65 100-130 140-160 160-250	Постоянный, обратная полярность
Э46А	МР-3	4 5 6	160-200 180-260 280-320	Постоянный, обратная полярность или переменный
Э46А	ОЗС-4	3 4 5 6	90-100 160-180 200-250 280-320	Постоянный, любая полярность или переменный
Э50А	УОНИ-13/55	3 4 5 6	80-100 130-160 170-200 210-240	Постоянный, обратная полярность

Э50А	УП-1/55	3	90-120	Постоянный, обратная поляр- ность или пере- менный
		4	140-160	
		5	160-250	
		6	280-350	
Э50А	ОЗС-29	3	80-100	Постоянный, обратная поляр- ность
		4	120-150	
		5	150-180	
Э60А	ОЗС-24М	3	90-110	Постоянный, обратная поляр- ность
		4	130-150	

Примечание: Сварочный ток для всех пространственных положений

Таблица 6.

Материалы для механизированной сварки стальных конструкций

Марка ста- ли	Материалы для сварки в углекислом газе или в смеси с арго- ном (ГОСТ 10157)	Материалы для сварки под флюсом (ГОСТ 9087)	Материалы для сварки порош- ковой проволо- кой (ГОСТ26271)	Электроды для дуговой сварки (В качестве сравнения с ме- ханизирован- ной)
	Марка свароч- ной проволо- ки для меха- низированной сварки (ГОСТ 2246)	Марка флюса	Марка порош- ковой проволо- ки	Тип покрытого электрода (ГОСТ 9467)
Ст. 3пс	Св-08А	АН-348-А; АН-60	ПП-АН-3; ПП-АН8	Э42; Э42А
Ст. 3сп	Св-08ГА	ПФК-56С		Э46; Э46А
Сталь 09Г2С	Св-08Г2С	АН-17М; АН-43; АН-47;	ПП-АН-3; ПП-АН8	Э50; Э50А
Сталь 18ГС	Св-10НМА	АН-348А; ПФК-56С		
Сталь 16Г2АФпс	Св-08Г2С Св-08ХГСНА	АН-17 ПСК-56С	ПП-АН-3; ПП-АН8	Э60; Э70

В зависимости от конструктивного оформления, условий эксплуата-
ции и степени ответственности все швы сварных соединений разделяются на

три категории, которые определяют высокий, средний и низкий уровень качества. Характеристики категорий и уровней качества швов приведены в таблице 7.

Таблица 7.

Категории и уровни качества швов сварных соединений

Категории и уровни качества швов сварных соединений	Типы швов сварных соединений и характеристика условий их эксплуатации
1 – высокий	1. Поперечные стыковые швы, воспринимающие растягивающие напряжения $\sigma_p \geq 0,85 R_y$ (в расчётных поясах и стенках балок, элементных ферм и т.п.). 2. Швы тавровых, угловых, нахлесточных соединений, работающие на отрыв, при растягивающих напряжениях, действующих на прикрепленный элемент $\sigma_p \geq 0,85 R_y$, и напряжениях среза в швах $\tau_{\text{шв}} \geq 0,85 R_{\text{wf}}$
2 – средний	3. Швы в конструкциях или их элементах, относящихся к 1-й группе, а также в конструкциях 2-й группы в климатических районах строительства с расчётной температурой ниже минус 40 °С. 4. Поперечные стыковые швы, воспринимающие растягивающие напряжения $0,4 R_y \leq \sigma < 0,85 R_y$, а также работающие на отрыв швы тавровых, угловых, нахлесточных соединений при растягивающих напряжениях, действующих на прикрепленный элемент $\sigma_p < 0,85 R_{\text{wy}}$, и при напряжениях среза в швах τ (кроме случаев, отнесённых к типу 3). 5. Расчётные угловые швы, воспринимающие напряжения среза $\tau_{\text{шв}} \geq 0,75 R_{\text{wf}}$, которые соединяют основные элементы конструкций 2-й и 3-й групп (кроме случаев, отнесённых к типам 2 и 3). 6. Продольные стыковые швы, воспринимающие напряжения растяжения или сдвига $0,4 R \leq \sigma < 0,85 R$. 7. Продольные (связующие) угловые швы в основных элементах конструкций 2-й и 3-й групп, воспринимающих растягивающие напряжения (поясные швы элементов составного сечения, швы в растянутых элементах ферм и т.д.).
3 – низкий	8. Стыковые и угловые швы, прикрепляющие к растянутым зонам основных элементов конструкций фасонками, связями, упорами и т.п. 9. Поперечные стыковые швы, воспринимающие сжимающие напряжения. 10. Продольные стыковые швы и связующие угловые швы в сжатых эле-

	ментах конструкций. 11. Стыковые и угловые швы, прикрепляющие фасонки к сжатым элементам конструкций. 12. Стыковые и угловые швы во вспомогательных элементах конструкций (конструкции 4-й группы).
--	--

Условные обозначения:

σ_p – растягивающие напряжения металла шва;

R_y – расчётное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести;

$\tau_{\text{уш}}$ – касательные напряжения металла углового шва;

R_{wf} – расчётное сопротивление угловых швов срезу по металлу шва;

σ – напряжение металла шва;

R – расчётное сопротивление металла шва.

3.4.2. Болтовые соединения

В болтовых соединениях стальных конструкций следует применять болты повышенного класса точности А по ГОСТ 7805-70 и нормальной точности В по ГОСТ 7786-81.

Гайки класса точности А применяются по ГОСТ 5927-70, класса точности В по ГОСТ 5915-70.

Прочностные свойства болтов должны соответствовать ГОСТ 1759-87

Таблица 8.

Механические свойства болтов, шпилек из углеродистых и легированных сталей (ГОСТ 11759-70)

прочности Класс	$\sigma_s, \text{max}, \text{МПа}$	$\sigma_s, \text{min}, \text{МПа}$	$\sigma_t, \text{МПа}$	удлин., % Относит.	НВ, min	НВ, max	Марка стали
3;6	340	490	200	25	90	150	Ст. кп3; Ст.3сп1
4;6	400	550	240	25	110	170	Сталь 20; Сталь 10кп
4;8	400	550	320	14	110	170	Сталь 10 и 10кп

5;6	500	700	300	20	140	215	Сталь 20; Сталь20кп
5;8	500	700	400	10	140	215	Ст.3сп; Ст.3кп
6;6	600	800	360	12	170	245	Сталь 35; 45; 40Г
6;8	600	800	480	8	170	245	Сталь 20 и 20кп
6;9	600	800	540	12	170	245	Сталь 20 и 20кп
6;8	800	1000	640	12	225	300	Сталь 35Х;35ХА; 45Г
10;9	1000	1200	900	9	280	365	Сталь40Г2;40Х;30ХГСА;16ХСН
12;9	1200	1400	1080	8	350	245	Сталь 35ХГСА
14;9	1400	1600	1260	7	390	-	Сталь 40ХНМА

Примечание: класс прочности обозначается двумя цифрами:

- первая цифра, умноженная на 100, представляет собой минимальное временное сопротивление, МПа;
- вторая цифра, умноженная на 10 – отношение предела текучести к временному сопротивлению, %, произведение чисел даёт предел текучести, уменьшенный в 10 раз, МПа.

При работе болтов на срез и растяжение классы точности гаек следует принимать в соответствии с классами точности болтов: 5 – при 5.6; 8 – при 8.8; 10 – при 10.9; 12 – при 12.9.

Высокопрочными болтами следует считать болты класса прочности 10.9.

Шайбы следует применять: круглые по ГОСТ 11371-78, косые – по ГОСТ 10906-78 и пружинные – по ГОСТ 6402-80.

Для фрикционных и фланцевых соединений металлоконструкций следует применять высокопрочные болты.

Таблица 9.

Механические свойства гаек из углеродистых и легированных сталей (ГОСТ11759-70)

Класс прочности	Напряжение от испытательной нагрузки не менее, МПа	Твёрдость по Бринеллю, НВ	Твёрдость по Роквеллу, HRC	Марка стали
4	400	302	33	СТ.3кп3; СТ.3сп3
5	500	302	33	Сталь10; 10кп; 20

6	600	302	33	Сталь10;10кп; 15; 15кп; 35; Ст.5.
8	800	302	33	Сталь45
10	1000	353	38	Сталь35Х; 38ХА
12	1200	353	38	Сталь40Х; 30ХГСА; 16ХСН
14	1400	375	40	Сталь35ХГ- СА; 40ХНМА

Примечание: класс прочности обозначен числом, которое умножением на 100 даёт величину напряжения от испытательной нагрузки, МПа

Таблица 10.

Требования к болтам при различных условиях их применения

Расчётная температура, °С	Класс точности болтов и требования к ним в конструкциях			
	Не рассчитываемых на усталость		Рассчитываемых на Усталость	
	При работе на растяжение или срез	При работе на срез	При работе на растяжение или срез	При работе на срез
До - 45	5,6 - 8,8 10,9 -	5,6 5,8 8,8 10,9 12,9	5,6 - 8,8 10,9 -	5,6 - 8,8 10,9 12,9
От -45 до -55	5,6 8,8 10,9 -	5,6 8,8 10,9 12,9	5,6 8,8 10,9 -	5,6 8,8 10,9 12,9

Ниже -55	5,6	5,6	-	5,6
	8,8	8,8	8,8	8,8
	10,9	10,9	10,9	10,9
	-	12,9	-	12,9

3.4.3. Требования к отверстиям под болты и заклёпочные соединения
Номинальные диаметры отверстий под болтовые соединения различных видов – классов точности А, В, С по ГОСТ 1759.0-87, а также высокопрочных болтов принимают по номинальному диаметру стержня болта d.

Образование отверстий производят сверлением или продавливанием.

Предельные отклонения диаметров отверстий от проектных приведены в таблице 11.

Таблица 11.
Предельные отклонения диаметров отверстий

Наименование отклонения отверстия	Диаметр отверстия, мм	Допускаемое отклонение, мм	Допускаемое количество отверстий в каждой группе
Отклонение диаметра просверленного отверстия, а также овальность	До 17	0; +0,6;	Не ограничивается
	Более 17	0; +1,5	
Завалы размеров более 1 мм и трещины по краям отверстий	-	-	Не допускается
Косина (уклон оси) до 3% толщины, но не более 2 мм при машинной и 3 мм при ручной пневматической клёпке	-	-	Не ограничивается
Косина более 3%	-	-	Не ограничивается

толщины для болтов			
Отклонение глубины зенкования	-	-	$\pm 0,4$

Примечание: диаметр продавленного отверстия со стороны матрицы не должен превышать номинального диаметра отверстия более чем на 1,5 мм

Болты класса точности А следует применять для соединений, в которых отверстия просверлены на проектный диаметр в собранных соединениях, либо по кондукторам в отдельных элементах или деталях, либо просверлены или продавлены на меньший диаметр в отдельных деталях с последующим рассверливанием до проектного диаметра в собранных элементах.

Болты класса точности В в многоболтовых соединениях следует применять для конструкций из сталей с пределом текучести до 375 Н/мм².

В соединениях, где болты работают преимущественно на растяжение, как правило, следует применять болты класса точности В или высокопрочные.

Болты, имеющие на длине ненарезанной части участки с различными диаметрами, не следует применять в соединениях, где болты работают на срез.

В соединениях с болтами класса точности А и В следует предусматривать меры против самоотвинчивания гаек, постановкой пружинных шайб, вторых гаек и др.

3.5. Технология сборки и сварки решётчатых конструкций

К решётчатым конструкциям относятся плоские: рамы, фермы, плоскости пространственных решётчатых конструкций и т.п. Пространственные конструкции 6 опоры линий электропередач, эстакады, решётчатые мачты, колонны, башни, галереи и т.п.

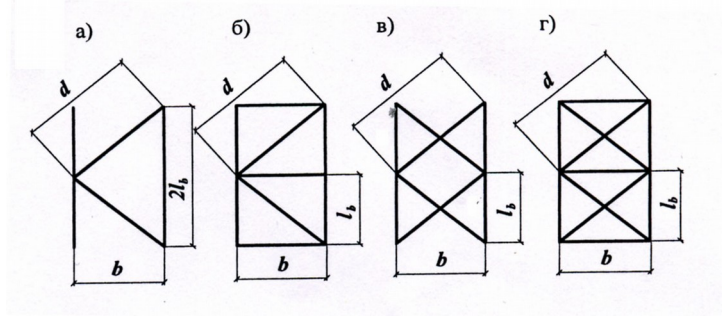


Рис. 4. Схемы связей плоских ферм

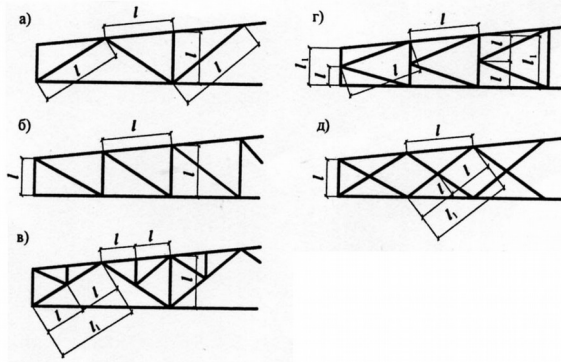


Рис. 5. Схемы плоских ферм с различными видами связей

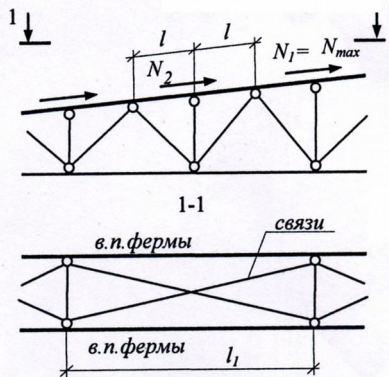


Рис. 6. Схемы связей пространственных ферм

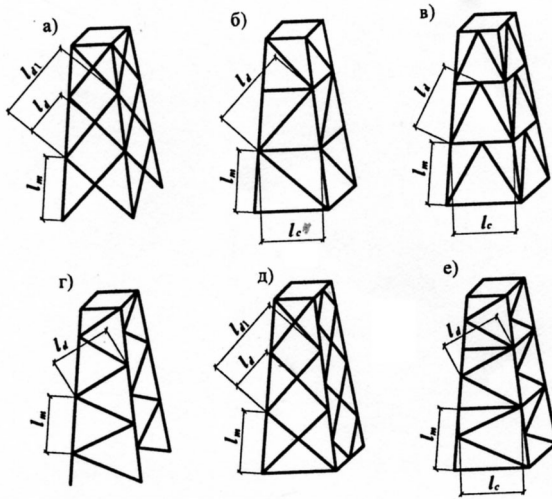


Рис. 7. Схемы пространственных решётчатых конструкций

Некоторые схематично изображённые решётчатые конструкции показаны на рисунках 4, 5, 6 и 7.

Сборку и сварку малогабаритных плоских и пространственных решётчатых конструкций могут использоваться сборочно-сварочные плиты - опорные приспособления в виде горизонтальной металлической плиты (плазы) с пазами для выкладки и закрепления свариваемых деталей.

Для сборки и сварки более крупных металлических конструкций используются металлические стеллажи – простейшее опорное приспособление с плоской горизонтальной поверхностью для размещения на ней свариваемых деталей.

Сборку и сварку крупногабаритных изделий, например, для вагонов, кораблей, больших резервуаров и т.п. производят на сборочно-сварочных стендах (стапелях).

Наиболее распространёнными сборочными приспособлениями, позволяющими качественно и с большой производительностью изготавливать мелко- и крупносерийно стальные металлические конструкции, являются сварочные кондукторы.

В них укладываются, собираются, закрепляются и свариваются в определённом положении детали металлоконструкций. Основой кондуктора является жёсткий каркас несущий упоры, направляющие детали (карманы), фиксаторы, прижимы. При сборке заготовленные детали в закреплённом по-

рядке по упорам, карманам, фиксаторам укладывают в кондуктор, закрепляют прижимами. Прижимы могут иметь ручной или механизированный (электрический или пневматический) привод

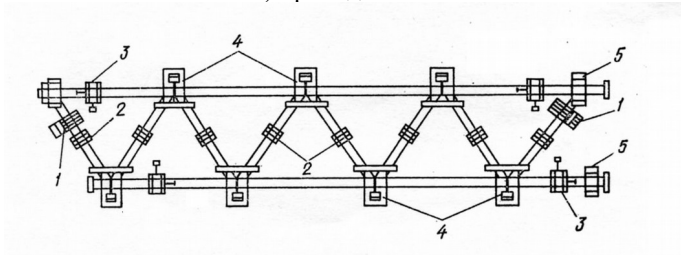


Рис. 8. Кондуктор для сборки ферм

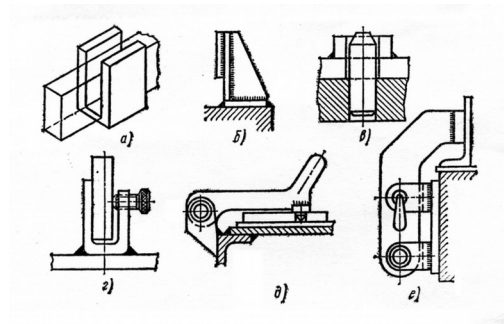


Рис. 9. Элементы сборочных приспособлений

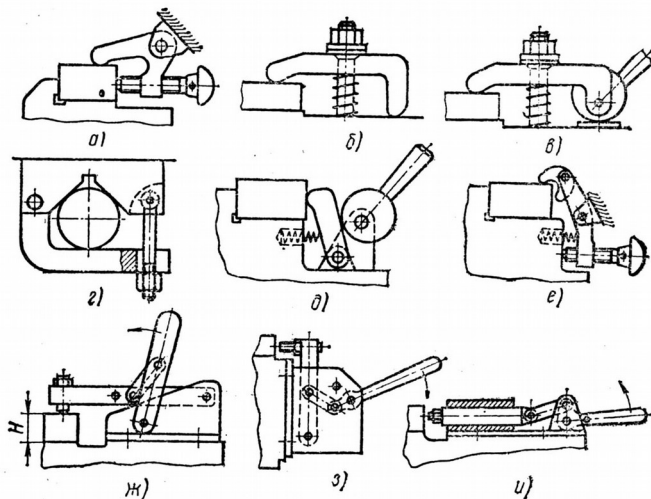


Рис. 10. Конструкции механических зажимных приспособлений

На рис. 8 показан кондуктор для сборки плоских ферм со специальными пневматическими и винтовыми прижимами, фиксаторами и карманами.

Верхний и нижний пояса фермы, ранее собранные с фланцами, укладываются в кондуктор закрепляются винтовыми прижимами. Затем раскладываются с ориентацией по карманам раскосы и прижимают их к поясам пневматическими прижимами. На рис. 9 показаны универсальные элементы сборных приспособлений. На рис. 10 представлены схемы механических зажимных устройств. После сборки производят прихватку соединений, освобождают прижимы и переносят отдельно ферму или вместе с кондуктором в кантователь для сварки.

На рис. 11 дано конструктивное оформление пневматических прижимов.

Сварку металлоконструкций рекомендуется производить ручной дуговой сваркой или механизированной в среде углекислого газа.

Жёсткое закрепление деталей в кондукторах является эффективным мероприятием уменьшения остаточных сварочных деформаций. В кондукторах часто используют приём предварительной дополнительной деформации заготовок, которая должна быть противоположной ожидаемой сварочной деформации.

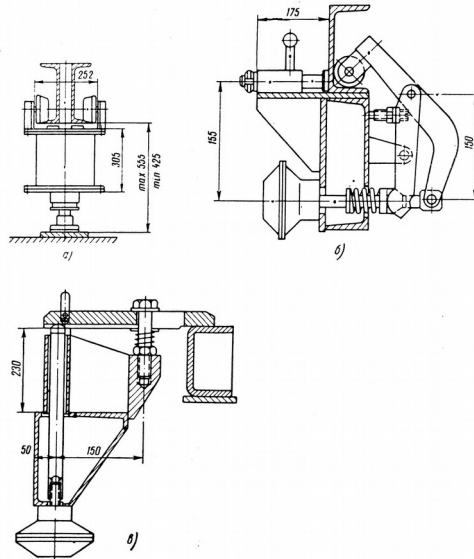


Рис. 11. Конструктивное оформление пневматических прижимов

3.5.1. Требования к прихваткам

Прихватки представляют собой короткие швы с поперечным сечением примерно $1/3$ поперечного сечения полного шва. Длина прихваток от 22 до 100 мм в зависимости от толщины свариваемых элементов и длины основного шва. Расстояние между прихватками зависит от длины шва и устанавливаются техническими условиями (ТУ) на каждую конструкцию.

Прихватки накладываются в местах расположения основного шва, при выполнении которого должны полностью проплавляться. Выполняются прихватки теми же сварочными материалами, что и вся конструкция. Это необходимо для создания в металле шва определённого напряжённого состояния, за счёт однородного состава наплавленного металла и одинаковой усадки.

К выполнению всех сварочных работ (прихваток и основных швов) допускаются только аттестованные сварщики.

3.5.2. Механизация сборки и сварки конструкций

Для удобства выполнения окончательных сварочных работ плоских и пространственных металлоконструкций используют приспособления, получивших название **позиционеры**.

К ним относятся: кантователи, вращатели, манипуляторы и др. механизмы, показанные на рис. 12.

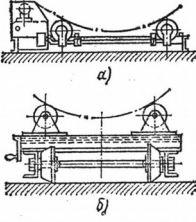
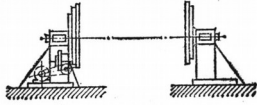
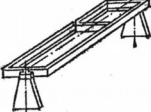
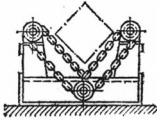
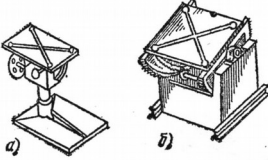
Наименование и вид	Эскиз	Область применения
Роликовые стелы: <i>а</i> — стационарные, <i>б</i> — передвижные (ручные и механические)		Для сварки тяжелых узлов и изделий, цилиндров, балок, сосудов
Кантователь		Для сварки массивных изделий и узлов
Поворотный стел ручной механический		Для сварки средних и крупных узлов и деталей
Цепной кантователь		Для сварки громоздких и длинных изделий
Манипулятор: <i>а</i> — ручной <i>б</i> — механический		Для сварки мелких и средних деталей в крупносерийном и массовом производстве

Рис. 12. Поворотные приспособления для сборки и сварки изделий

Кантователь — приспособление для поворота тяжёлых изделий вокруг одной или нескольких фиксированных осей вращения, с помощью закрепления его в планшайбе, что позволяет установить изделие в удобное для работы положение (например, обеспечить сварку в нижнем положении).

Манипулятор — устройство карусельного типа для вращения заготовки при сборке и сварке с различными углами наклона оси вращения.

В химическом аппаратостроении широко применяются универсальные **роликовые опоры**, состоящие из двух рядов обремененных роликов, один из которых приводной, обеспечивающих вращение изделия при сборке и сварке, а другой ряд роликов может перемещаться по горизонтальной поверхности, чем достигается возможность сборки и сварки сосудов различных диаметров.

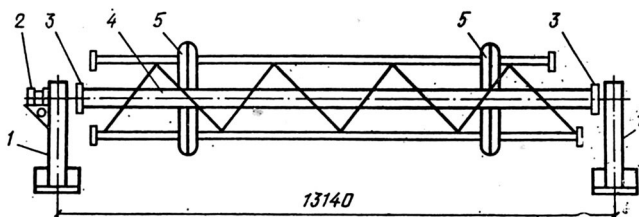


Рис. 13. Кантователь для сварки ферм

На рис. 13 показан кантователь для сварки ранее рассмотренных нами ферм.

Данная конструкция кантователя позволяет производить сварку плоских решётчатых конструкций, сборку и сварку пространственных конструкций с использованием готовых плоских изделий.

Для этого в кантователь устанавливают две ранее сваренные плоские фермы (см. рис. 8), которые будут служить, допустим, боковыми решётчатыми стенками пространственной конструкции. На них по разметке в два приёма с поворотом кантователя на 180° укладываются и прихватываются раскосы верхней и нижней решёток. Собранный таким образом пространственная конструкция сваривается в готовое изделие.

3.5.3. Технология сборки и сварки балок и колонн сплошного сечения

Сварные балки в основном работают на поперечный изгиб. В качестве материала для их изготовления используют малоуглеродистую и низколегированную сталь. Проектирование балок и колонн имеет целью создать лёгкую и технологичную конструкцию, удовлетворяющую требованиям жёсткости, прочности и устойчивости.

Наиболее широкое применение имеют балки двутаврового профиля, хорошо работающие на изгиб (рис. 14).

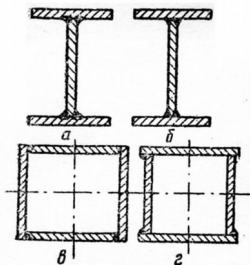


Рис. 14. Сечения балок, выполненные сваркой

Коробчатое сечение целесообразно использовать в тех случаях, когда кроме изгиба балки испытывают кручение и сжатие.

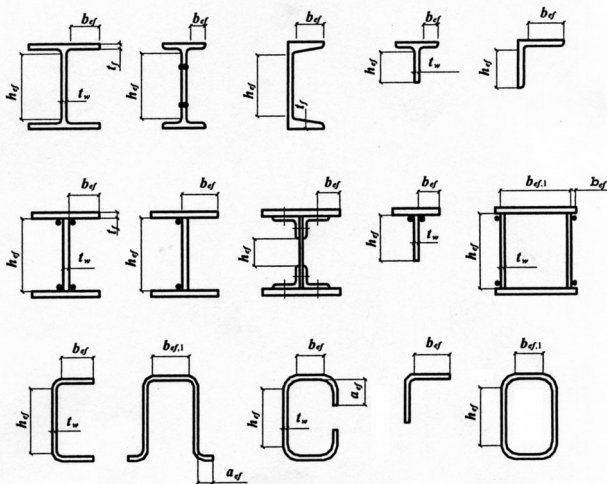


Рис. 15. Прокатные, составные и гнутые профили балок

Размеры балок и величина воспринимаемых ими нагрузок различны. Поэтому для изготовления балок под небольшие нагрузки целесообразно использовать тонкостенные облёгчённые, составные и гнутые из листа призмы, соединённые сваркой (рис. 15). Сварной двутавр под значительные нагрузки состоит из трёх элементов: двух полок, соединяемых стенкой, изготавливаемых из листового проката. Известны случаи изготовления сварных двутавро-

вых балок высотой стенки 3200–3800 мм, шириной полок 600–1000 мм, при толщине листовых заготовок 34–40 мм, длиной 12000 мм.

Если длина балки превышает длину листовых заготовок, то их вначале собирают из требуемого количества листов или полос, соединяют двухсторонним сварным швом механизированной сваркой под флюсом, обеспечивающей соединение, равное по прочности целому сечению листа. Сборка элементов балки должна обеспечивать симметричное расположение и взаимную перпендикулярность полок и стенки. Взаимное центрирование и прижатие элементов при сборке, а также поворот в удобное положение при сварке, выполняется с помощью универсальных или специальных приспособлений.

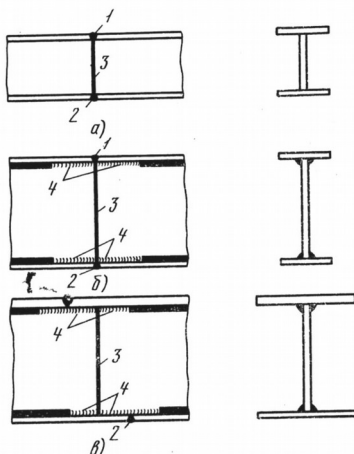


Рис. 16. Порядок сварки стыков балок

Порядок выполнения швов показан на рисунке 16а. В первую очередь сваривают стыковые, а затем угловые швы. Обычно полки сварных двутавровых балок толще стенки. Для обеспечения минимальных напряжений в металле стенки вначале накладывают стыковые швы в более толстых полках, а в последнюю очередь – в стенке.

Соединение двух сварных балок рекомендуется выполнять со смещённым стыком (рис. 16б), в последнюю очередь выполняются угловые швы, желательно одновременно двумя сварщиками от концов к середине.

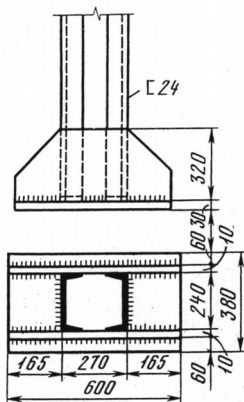


Рис. 17. Швы при изготовлении опоры колонны

На рисунке 17 показана конструкция базы (опоры) вертикально монтируемой коробчатой балки (колонны).

При проектировании нужно учитывать, что:

- 1 – конструкции со смещённой стенкой имеют меньше концентраторов напряжений, чем решётчатые;
- 2 – технологические операции (правка, гибка, гильотинная резка, продавливание отверстий и т.п.) вызывают наклёп в металле и влияют на увеличение концентрации напряжений в узлах конструкций.

На рисунках 18; 19; 20; 21; 22; 23 показаны сопряжения сварных элементов различного профиля.

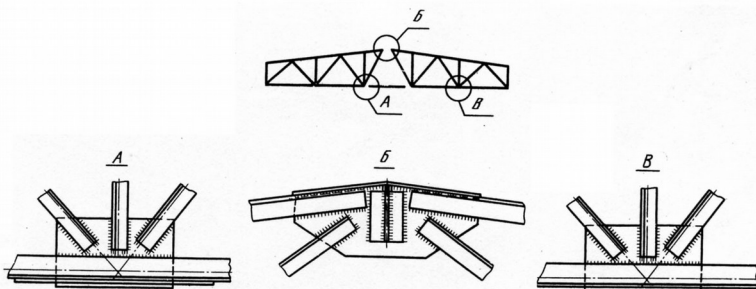


Рис. 18. Узлы стропильных ферм

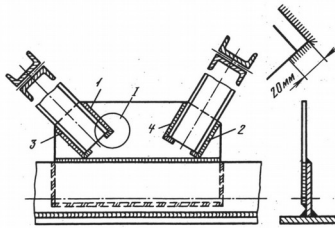


Рис. 19. Порядок выполнения фланговых (продольных) швов

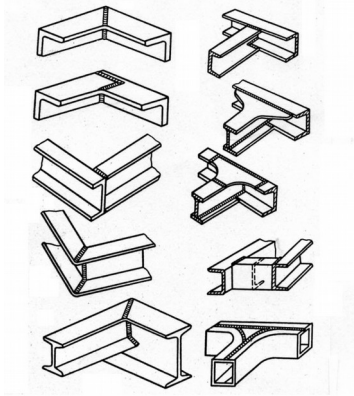


Рис. 20. Схемы сопряжений элементов

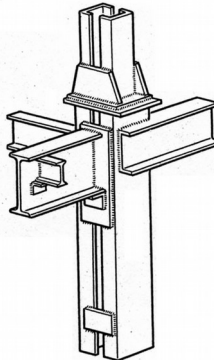


Рис. 21. Сопряжение балок со стойкой различного профиля переменного сечения

- швы должны быть плотными и не иметь видимых прожогов, сужений и перерывов, а также недопустимых по размерам подрезов, непроваров в корне шва, несплавления по кромкам (наплывы), пор;
- металл шва и околошовной зоны не должны иметь трещин любой ориентации и длины;
- кратеры швов в местах остановки сварки должны быть переварены, а в местах окончания сварки – заварены;
- все обнаруженные дефекты сварных швов должны быть зачищены механическим способом и места зачистки снова проварены;
- сварные соединения, для которых требуется контроль с использованием ультразвуковых, радиографических методов, должны быть указаны в проектной документации.

Контроль качества сварного соединения производится до окраски конструкции.

Требования к качеству сварных соединений приведены в Приложении 2.

Измерение размеров швов, зазоров производится с помощью металлических линеек, штангенциркулей, шаблонов, щупов (см. Приложение 3).

Предельные отклонения геометрических размеров (параметров) конструкций (элементов конструкций, сборочных единиц) должны быть приведены в проектной документации.

Например, рекомендуемые предельные отклонения от проектных размеров в конструкциях зданий и сооружений приведены в таблице 12.

Таблица 12.

Предельные отклонения зданий и сооружений от проектных

Интервал номинального размера длины, мм	Значения предельных отклонений, мм; при коэффициентах точности (К):		
	0,25	0,40	0,60
От 2500 до 4000	+/- 2,0	+/- 3,0	+/- 5,0
Св. 4000 до 8000	+/- 2,5	+/- 4,0	+/- 6,0
Св. 8000 до 16000	+/- 3,0	+/- 5,0	+/- 8,0
Св. 1600 до 25000	+/- 4,0	+/- 6,0	+/- 10,0
Св. 25000	+/- 5,0	+/- 8,0	+/- 12,0

При контроле сварных конструкций, изготовленных из проката, следует учитывать дефекты самих заготовок (Приложение 1).

3.5.5. Защитные покрытия для стальных металлоконструкций

В настоящее время основными способами защиты от атмосферной коррозии является нанесение на поверхность металлических конструкций защитных покрытий: лакокрасочных (на органической основе), металлических (алюминием, цинком; кадмием), комбинированных (металлизационно-лакокрасочных).

В практике проведения антикоррозионных работ наибольшее распространение получили лакокрасочные покрытия на органической основе благодаря низкой стоимости материалов.

Основными параметрами агрессивности внешней среды является влажность. В таблице 13 приведены группы агрессивности среды по скорости равномерной коррозии незащищённого металла в зависимости от зоны влажности.

Таблица 13.

Группы агрессивности среды

Группа агрессивности среды	Скорость коррозии, мм в год, при относительной влажности, %		
	До 60	От 60 до 75	Более 75
Слабая	До 0,01	До 0,05	От 0,05 до 0,10
Средняя	От 0,05 до 0,06	От 0,05 до 0,10	От 0,10 до 0,50
Сильная	От 0,05 до 0,10	От 0,10 до 0,50	От 0,50 до 1,0

Неметаллические защитные покрытия производятся на основе природных или синтетических плёнообразующих веществ, таких, как олифа, битумные составы, алкидные, перхлорвиниловые, эпоксидные и другие смолы. Защитные возможности покрытия и срок их службы зависят от его свойств и технологии нанесения, температуры и времени сушки, способа и качества подготовки поверхности под окраску.

Основными требованиями к покрытию являются: хорошая адгезия, непроницаемость к агрессивным средам, долговечность, технологичность к проведению повторной окраски.

Покрытия в большинстве случаев состоят из грунтовки и покрывных слоёв. Грунтовочные составы (обычно первые два слоя), наносимые непосредственно на защищаемую поверхность, улучшают адгезию и антикоррозионные свойства покрытия и выбираются в зависимости от материала защищаемой поверхности и вида покрытия.

В покрывные составы (от 2-х до 7 слоёв), представляющие собой многокомпонентные смеси, могут входить: плёнообразователь, растворитель, отвердители, пигменты, наполнители.

Пигменты – это оксиды или сами металлы (охра, железный или свинцовый сурик, цинковые белила, металлические порошки, алюминиевая пудра, цинковая пыль, сажа, графит), а также органические вещества для цвета. Главное назначение пигментов – придавать плёнке цвет и повышать прочностные свойства.

Наполнители (каолин, мел, тальк и др.) добавляют для удешевления лакокрасочного материала и некоторого улучшения его защитных свойств.

Основой лакокрасочного покрытия являются **лаки**. Они представляют собой прозрачные растворы плёнкообразователя в органических растворителях.

Краски, получаемые на основе лаков, принято называть **эмалями**, а на основе олифы – масляными.

По типу плёнкообразователя лакокрасочные покрытия подразделяются на следующие основные виды:

1. Лаки и краски на основе битумов, обозначаются БТ. Например, краска БТ-177; битумно-масляный лак БТ-783. Характеризуются стойкостью в воде, влажной атмосфере, в слабых растворах кислот, щелочей, а также прочностью плёнки. Недостатки: слабая светостойкость, разрушение под действием солнечных лучей, неустойчивость в среде дымовых газов, охрупчивание на холоде, длительное время высыхания (до 16 часов при температуре 18–20°C).

2. Перхлорвиниловые лаки и эмали (ХВ). Например, эмали: ХВ-1100, ХВ-124, грунтовка ХВ-0050, лак ХВ-724. Характеризуются стойкостью в атмосферах различной степени агрессивности при воздействии солнечной радиации, термостойкостью. Высыхание плёнок происходит через 3-5 часов после нанесения. Недостатки: пониженная сцепляемость с металлом, токсичность. Рекомендуются для слабой и средней агрессивности сред.

3. Эпоксидные эмали (ЭП). Например, эмали: ЭП-733 и ЭП- 575, грунтовка ЭП-0200. Отличаются стойкостью в атмосферах повышенной влажности, хорошей жаростойкостью, масло- и бензостойкостью. Рекомендуются для слабо- и среднеагрессивных сред.

4. Кремнийорганические эмали (КО). Например, эмаль КО-811, краска КО-042 и др. Стойки при перепадах температур от - 60° до + 300°C, влаго- и атмосферостойкие. Рекомендуются для открытых конструкций.

5. Масляные краски (МА). Например, масляная краска МА-011, белила цинковые МА-012, железный сурик на олифе – оксоль. Характеризуются водонабуханием, низкой прочностью, небистойкостью, медленно высыхают. Могут применяться в закрытых помещениях.

6. Глифталевые покрытия (ГФ). Например, грунтовки: ГФ-021, ГФ-017 и др. Применяются для всех видов покрытий. В составе с алюминиевой пудрой обладают высокой термостойкостью, могут эксплуатироваться при температурах до - 40°C.

Основными способами подготовки металлической поверхности под защитные покрытия являются: механическая очистка проволочными щётками, дробе- или пескоструйной обработкой; химическая очистка с помощью травильных паст и растворов.

Производство работ по нанесению лакокрасочных покрытий предполагает использование следующих механизированных способов: пневматическое распыление, безвоздушное распыление, нанесение покрытий в электростатическом поле; ручная окраска: кистями, валиками.

3.5.6. Комплектность, маркировка и упаковка готовых конструкций

После окраски все отдельные детали и сборочные единицы, входящие в состав металлоконструкции маркируются. Цель маркировки:

1. Обеспечить возможность после доставки заказчику лёгкого обнаружения всех входящих в комплект изделий (общая маркировка).
2. Ориентирующая маркировка наносится для получения информации по её сборке (пространственные конструкции).
3. Давать сведения о местах строповки, опирания.

Все поставляемые конструкции должны быть приняты службой технического контроля предприятия-изготовителя.

Допускается наносить маркировку в виде товарного знака или кратко-го наименования изготовителя, или в виде полосы длиной 5 см по шаблону (трафарету) определённого цвета. Маркировка должна наноситься на каждом изделии в двух местах на видном для обзора и прочтения месте. Маркировка может быть набита на специальном закреплённом на изделии ярлыке (табличке).

Упаковку следует осуществлять соблюдая меры, исключаящие деформацию конструкции и повреждения окраски при погрузке, разгрузке и хранении.

В качестве основного вида упаковки конструкций рекомендуется пакетирование. Масса целого транспортного пакета не должна превышать 20 тонн.

Изделия (комплектующие детали, крепёжные изделия, накладки, сборочные и монтажные приспособления и т.п.) небольшой массы, с габаритами до 1,5 м, надлежит упаковывать в ящичные поддоны.

Отверстия для строповки в деталях, пакетах, поддонах должны быть не менее 70 мм, а для закрепления – 30 мм.

Для средств пакетирования можно применять болтовые соединения и проволоку стальную низкоуглеродистую, отожжённую диаметром не менее 6,0 мм.

4. Сосуды и аппараты химической промышленности

Сосуды и аппараты в химических и нефтехимических производствах работают при различных параметрах: давлениях от вакуума до 30 МПа, температурах от - 250⁰С до 1200⁰С, в них обрабатываются вещества, имеющие различную химическую активность. В зависимости от назначения и условий эксплуатации сосуды и аппараты изготавливаются сварными из разнообразных конструкционных материалов: сталей, сплавов и цветных металлов.

Несмотря на разнообразие условий эксплуатации сосудов и аппаратов в подавляющем числе случаев большая их часть работает под давлением от 0,07 МПа (0,7 кг/см²) до 16 МПа (16 кг/см²), вакуумом не ниже 665 Па (5 мм. рт. ст.), под налив при температуре стенки не ниже 70⁰С и требования, предъявляемые к ним, будут рассматриваться далее.

Сосуды и аппараты с вышеперечисленными параметрами разбиты на группы в соответствии с требованиями [11, 12, 13] и таблицей 14.

Таблица 14

Группа сосуда

сосуда Группа	Расчётное давление, МПа (кг/см ²)	Температура стенки, ⁰ С	Рабочая среда
1	Более 0,07 (0,7)	Независимо	Взрывоопасная или пожароопасная, или 1-го, 2-го класса опасности по ГОСТ 12.1.007
2	Более 0,007 до 2,5 (25) Более 5,0 до (50) Более 5,0 (50) Более 4,0 (40) до 5,0 (50)	Выше + 400 Выше + 200 Независимо Ниже – 40	
3	Более 0,07 (0,7) до 1,6 (16) Более 2,5 (25) до 4,0 (40) Более 4,0 (40) до 5,0 (50)	Ниже – 20 Выше + 200 до + 400; 0 до + 200 От -40 до + 200	Любая, за исключением указанной для 1-ой группы сосудов
4	Более 0,07 (0,7) до 1,6 (16)	От -20 до + 200	Любая, за исключением указанной для 1-ой группы сосудов
5а	До 0,07 (0,7)	Независимо	Взрывоопасная, пожароопасная или 1-го, 2-го, 3-го классов опасности по ГОСТ 12.1.007
5б	До 0,07 (0,7)	Независимо	Взрывоопасная, пожароопасная или 4-го класса опасно-

			сти по ГОСТ 12.1.007
--	--	--	----------------------

Сосуды, работающие под вакуумом или без давления (под наливом), независимо от расчётного давления следует относить к группе 5а или 5б.

С 1 февраля 2014 г. на территории государств-членов Таможенного союза (Российская федерация, Республика Беларусь, Республика Казахстан) вступил в силу Технический регламент Таможенного союза «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением» (ТР ТС 032/ 2013) [Решение № 41 Совета Евразийской экономической комиссии от 02 июля 2013 г., г. Москва]. Он устанавливает на впервые выпускаемое в обращение на территории Таможенного союза оборудование, работающее под избыточным давлением требования безопасности обязательные для применения и исполнения при разработке (проектировании) и производстве (изготовлении) этого оборудования.

Действие регламента распространяется на оборудование (сосуды, аппараты, паровые и водогрейные котлы, трубопроводы, арматуру) с учётом его конструктивных характеристик (емкость V , номинальный диаметр D трубопроводов и арматуры), что соответствует ранее действовавшим «Правилам устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением» – ПБ 03-576-03. Отличие одного документа от другого состоит в том, что с учётом перечисленных характеристик оборудование в ПБ-03-576-03 делится на 4 группы, а в регламенте – на 4 категории.

4.1.Требования к конструкции

4.1.1.Общие требования

Под термином **сосуд** подразумевается конструкция (устройство), имеющее герметичный корпус и внутреннюю полость, предназначенное для ведения химических, тепловых, массообменных, механических и других технологических процессов, а также для хранения и транспортирования газообразных, жидких и других веществ. В зависимости от геометрической формы различают сосуды цилиндрические, конические, сферические (шаровые), шарообразные, призматические и комбинированные, включающие в себя несколько вышеперечисленных форм.

В зависимости от рабочего расположения продольной оси различают сосуды: вертикальные, горизонтальные и наклонные.

Аппарат – сосуд, оборудованный внутренними устройствами, предназначенный для проведения химико-технологических процессов.

В данном пособии будут применяться оба термина (сосуд и аппарат) в зависимости от удобства изложения конкретного материала.

Основной сборочной единицей (узлом) сосуда или аппарата является корпус, к которому присоединяются другие сборочные единицы (узлы), рас-

полагаемые внутри и снаружи. Корпус аппарата собирается из одной или нескольких обечаек или царг.

Обечайка – цилиндрическая или коническая оболочка замкнутого профиля открытая с торцов. Обечайки между собой соединяются сварным кольцевым швом.

Царга – узел, состоящий из обечайки, снабжённой по торцам фланцами, с помощью которых царги собираются между собой болтовыми крепёжными соединениями, образуя корпус аппарата. Царга дороже обечайки, но удобна тем, что во фланцевом соединении могут закрепляться, например, массообменные тарелки, а на наружной стенке царги может размещаться рубашка, в которую подаётся теплоноситель и тем самым в этом локальном месте аппарата имеется возможность оптимально регулировать тепловой режим в объёме одной царги. (рис.24).

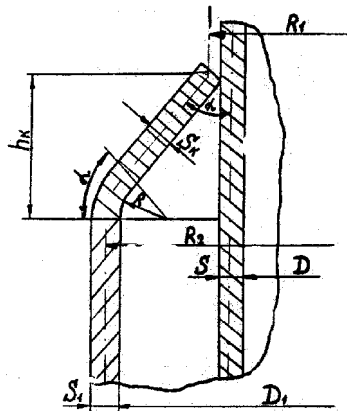


Рис. 24. Схема соединения корпуса с рубашкой

Днище – неотъемлемая часть корпуса сосуда, ограничивающая внутреннюю его полость с торцов.

Крышка – отъёмная часть корпуса аппарата, закрывающая его внутреннюю полость, присоединяется к корпусу с помощью фланцев или других разъёмных соединений.

4.1.2. Изготовление цилиндрических элементов корпусов

Цилиндрические обечайки получили наибольшее распространение. Они отличаются простотой изготовления, рациональным расходом материалов, хорошей сопротивляемостью давлению среды. Обечайки изготавлива-

ются вальцовкой из листового проката, реже из труб или поковок. Обечайки из проката могут вальцеваться как по длинной, так и по короткой стороне листа.

Методы сборки элементов сосудов под сварку должны обеспечивать правильное взаимное расположение сопрягаемых элементов и свободный доступ к выполнению сварочных и контролирующих работ в последовательности, предусмотренной технологическим процессом сборки.

Предельные отклонения размеров обечаек должны быть выдержаны в соответствии с требованиями, указанными в таблице 15.

Таблица 15

Предельные отклонения размеров цилиндрических обечаек

Размер диаметра, мм	Квалитет точности ГОСТ 25347-2013 в системе вала	Квалитет точности ГОСТ 25347-2013 в системе отверстия	Квалитет точности ГОСТ 25347-2013 в остальных
По 500 включительно	H17	h17	$\pm$ JT 17/ 2
Свыше 500 до 3150	H16	h16	$\pm$ JT 16/ 2
Свыше 3150	H15	h15	$\pm$ JT 15/2

Обечайки диаметром до 1000 мм следует изготавливать не более чем с двумя продольными швами.

Все сварочные работы, в том числе и прихватки при изготовлении сосудов 1, 2, 3 и 4-й групп выполняются сварщиками, сдавшими экзамен и имеющими удостоверение установленной формы (аттестованные сварщики). Сосуды в зависимости от конструкции и размеров могут изготавливаться всеми видами дуговой сварки. Применение газовой сварки (ацетилено-кислородной) допускается только для труб диаметром до 80 мм и толщиной стенки не более 4 мм. Для предотвращения образования холодных трещин сварочные работы выполняются при положительных температурах в закрытых отапливаемых помещениях.

Кромки подготовленных под сварку элементов сосудов следует зачищать вручную или механически металлическими щётками на ширину не менее 20 мм от следов ржавчины, окалины, краски, масла и прочих загрязнений. При осмотре кромок выявляются расслоения металла, закаты, трещины, а для двухслойных сталей – отслоение плакирующего слоя (из нержавеющей стали). При толщине листов более 36 мм зону, прилегающую к кромкам, до-

полнительно контролируют ультразвуковым методом на ширине не менее 50 мм для выявления дефектов (трещин, расслоений и т.п.).

При сварке обечаек и труб, приварке к обечайкам следует применять только стыковые швы с полным проплавлением.

Допускается применять угловые и тавровые соединения только для приварки фланцев, штуцеров, люков, трубных решёток, плоских днищ.

Применение нахлёсточных соединений допускается для приварки укрепляющих колец штуцеров, опорных элементов (накладок) для приварки к ним элементов, обслуживающих металлоконструкций (лестниц, площадок, этажерок), а также кронштейнов и бобышек.

В сосудах, выполненных из двухслойных сталей, скос кромок осуществляется со стороны основного слоя (несущего).

Сварные швы сосудов не следует перекрывать опорами. Допускается в вертикальных и горизонтальных аппаратах местное перекрытие кольцевых швов на общей длине не более $0,35 D_n$, где D_n – наружный диаметр сосуда, а при наличии подкладного листа на общей длине не более $0,5 D_n$ при условии предварительного контроля радиографическим или ультразвуковым методами, перекрываемых участков швов.

Перекрытие мест пересечения продольных и кольцевых швов не допускается.

Продольные сварные швы горизонтальных сосудов следует располагать вне центрального угла 140° в нижней части корпуса.

Продольные швы смежных обечаек и швы днищ следует смещать друг относительно друга на величину равную трёхкратной толщине наиболее толстого элемента, но не менее чем 100 мм между осями швов.

При сварке стыковых сварных соединений элементов разной толщины необходимо выполнять плавный переход от одного элемента к другому постепенно скашивая более толстый элемент. Угол скоса должен быть порядка $15\text{--}20^\circ$ (уклон 1:3). Допускается выполнять сварку стыковых элементов без предварительного скоса кромок, если разность в толщинах соединяемых элементов не превышает 30%, но не более 5 мм. При этом форма шва должна обеспечивать плавный переход от толстого элемента к тонкому.

После сборки и сварки обечаек корпуса (без днищ) должен удовлетворять следующим требованиям:

- отклонение по длине не более $\pm 0,3\%$ от номинальной длины корпуса, но не более ± 50 мм;
- отклонение прямолинейности не более 2,0 мм на длине 1000 мм, но не более 90 мм.

С целью уменьшения толщины стенок корпуса и сохранения устойчивости формы корпуса при эксплуатации (как вертикального, так и горизонтального) он может подкрепляться кольцами жёсткости, располагаемыми внутри или снаружи корпуса (рис. 25). Кольца жёсткости должны охваты-

вать обечайки по всей окружности, а соединения колец с обечайкой производится сваркой сплошным или прерывистым соединением, и обеспечивать их совместную работу против наружного давления и других внешних сил, например, ветровой нагрузки.

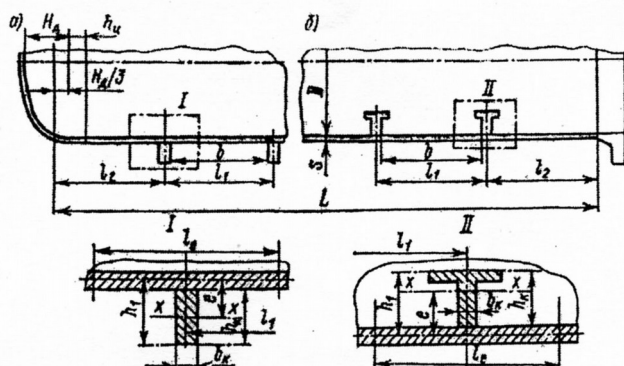


Рис. 25. Конструкция корпуса аппарата с наружным (I) и внутренним (II) кольцами жёсткости

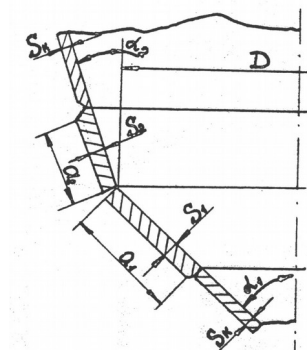


Рис. 26. Узел конической обечайки

Все сварные швы подлежат клеймению, позволяющему установить сварщика, выполнявшего эти швы. Клеймо наносится на расстоянии 20–50 мм от кромки сварного шва с наружной стороны. У продольных швов клеймо следует располагать в начале и конце швов на расстоянии 100 мм от

кольцевого шва. Для кольцевого шва клеймо выбивается в месте пересечения кольцевого шва с продольным и далее через каждые 2 м. при этом должно быть не более двух клейм на каждом шве. Место клеймения заключается в хорошо видимую рамку, выполненную несмываемой краской.

На рис. 26 показан узел сборки из отдельных вальцованных элементов конической обечайки.

4.1.3. Изготовление сварных выпуклых днищ

Днища являются одним из основных элементов сосудов. В аппаратах, работающих под давлением, применяют выпуклые днища следующих форм: эллиптические, полусферические, торосферические (рис. 27).

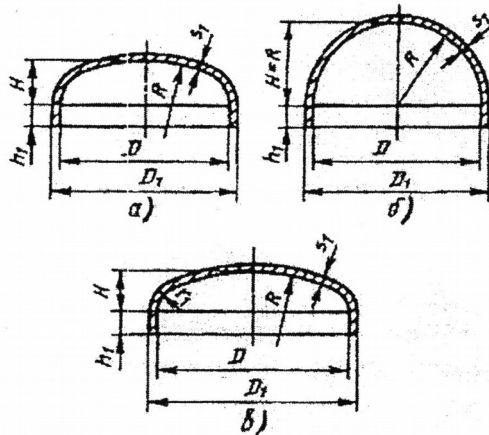


Рис. 27. Выпуклые днища: а) эллиптическое, б) полусферическое, в) торосферическое

Они чаще всего изготавливаются холодной или горячей штамповкой или фланжированием. Для днищ небольших размеров (диаметров) заготовки вырезают из цельных листов. Днища для аппаратов больших диаметров изготавливают из отдельных сварных заготовок. Рекомендуемое расположение сварных швов заготовок выпуклых днищ показано на рис. 28. Расстояния l и l_1 швов до оси заготовки должно быть не более $1/8$ внутреннего диаметра днища [14]

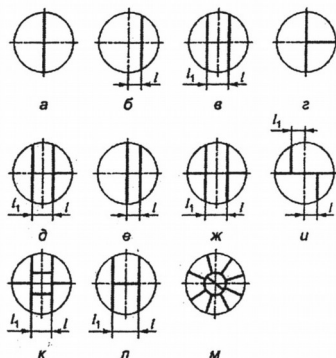


Рис. 28. Расположение сварных швов заготовок выпуклых днищ

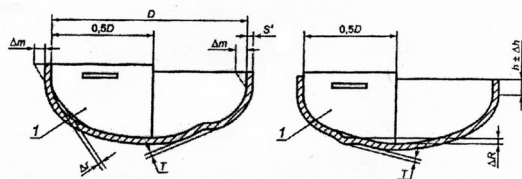


Рис. 29. Отклонение размеров и формы эллиптических днищ

Отклонение размеров и формы эллиптических днищ (рис. 29) не должен превышать значений, указанных в таблицах 16 – 18. Для днищ, изготовляемых штамповкой, допускается утонение в зоне отбортовки до 15% от исходной толщины заготовки.

Контроль формы готового днища следует проводить шаблонами длиной 0,5 от внутреннего диаметра днища. Высоту цилиндрической части следует измерять линейкой по ГОСТ 427-75.

Зазоры $\Delta R \Delta r$ между шаблоном и поверхностью штампованного днища должна быть не более значений, указанных в таблице 18. Контроль формы готового днища проводят шаблоном длиной не менее $1/6$ внутреннего диаметра днища.

Отклонение высоты цилиндрической части отбортованного днища допускается не более + 10 мм и - 5 мм.

Таблица 16.

Допуски высоты цилиндрической части и высоты выпуклости (вогнутости) на эллипсоидной части днища

Внутренний диаметр днища, D, мм	Предельное отклонение высоты цилиндрической части, Δh , мм	Предельная высота отдельной вогнутости (выпуклости) на эллипсоидной части, T, мм
До 720		2
От 800 до 1300	± 5	3
От 1320 и более		4

Примечание:

1. Высота отдельной вогнутости или выпуклости T на эллипсоидной части днища, изготовленного на фланжировочном прессе, допускается до 6 мм.
2. На цилиндрической части днища не допускаются гофры высотой более 2 мм.

Таблица 17.

Допуски наклона цилиндрической части

Толщина днища S, мм	Допуск наклона Δm , мм
До 20	4
От 22 до 25	5
От 28 до 34	6
От 36 и более	8

Таблица 18.

Допуски эллипсоидной поверхности

Диаметр днища D, мм	Зазор между шаблоном и эллипсоидной поверхностью, мм	
	Δr	ΔR
До 530	4	8
От 500 до 1400	6	13
От 1500 до 2200	10	21
От 2400 до 2800	12	31
От 3000 и более	16	41

4.1.4. Изготовление сварных сферических (шаровых) корпусов

Сферические сосуды (резервуары) предназначены для хранения жидкого или газообразного вещества (например, жидкого аммиака) под давлением до 0,8 МПа и изготавливают различных размеров, обычно ёмкостью 600 и 2000 м³. Оболочка таких хранилищ состоит из штампованных или свальцованных элементов-лепестков чаще всего из стали 09Г2С толщиной 16 – 22 мм. На рис. 30 показана сборная схема резервуара варианты раскроя обечайки.

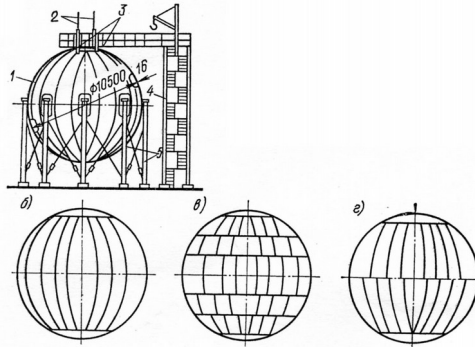


Рис. 30. Схемы сферических резервуаров

Резервуар имеет верхнее и нижнее сферические днища. Подготовка кромок лепестков оболочки зависит от способа сварки, и, как правило, они имеют V-образную разделку кромок с раскрытием их с наружной стороны и зазором 2 – 4 мм. Оболочку собирают из отдельных лепестков, блоками, составленными из нескольких лепестков, в зависимости от количества заказанных резервуаров. При сооружении единичных резервуаров применяют поэлементную сборку обечайки. Для сборки устанавливают опоры резервуара, а в центре временную тумбу-опору, на которую укладывается днище. Затем последовательно монтируют в проектное положение лепестки первого и последующих поясов, скрепляя их монтажными приспособлениями. По окончании первого этапа монтажа и выверки оболочки выполняют прихватку стыков и окончательную сварку, например, электродами марки УОНИ 13/45 в последовательности, указанной на рис.31. При сварке листов из стали 09Г2С толщиной до 28 мм предварительный подогрев не требуется. ■

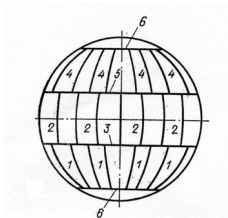


Рис. 31. Схема ручной сварки сферического резервуара

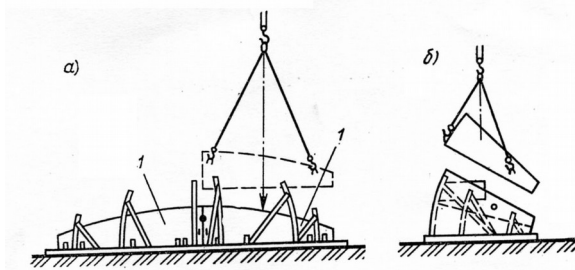


Рис. 32. Сборка лепестков в блоки

Другие способы сборки и сварки сферических оболочек предусматривают предварительное укрупнение лепестков в блоки (рис. 32), что позволяет организовать работу в закрытом помещении с использованием механизированных способов сварки. В зависимости от размеров хранилищ и метода раскроя длины сварных швов могут превышать 500 м.

Установленные, например, на складе жидкого аммиака шаровые хранилища в зависимости от их размеров устанавливаются на 8 – 12 трубчатых опорных стойках, соединённых между собой связями из стального прутка длиной 30 – 40 м. Опорные стойки крепятся к днищу по экваториальному диаметру сваркой через подкладные пластины. Нижние концы трубчатых опор диаметром 300 – 400 мм крепятся к фундаментным железобетонным опорным плитам (рис. 30). Резервуар оснащается приёмно-раздаточными штуцерами для входа и выхода жидкого аммиака, а также люками диаметром 400 мм, которые расположены в верхнем и нижнем сферических днищах. Минимальная температура стенки минус 50°. Наружная изоляция резервуара выполняется из пенопласта с жёсткой оболочкой.

5. Изготовление толстостенных сосудов высокого давления (СВД) с применением сварки

СВД широко используются в различных химических и нефтехимических производствах (аммиака, метанола, карбамида, синтетических жирных спиртов, при получении искусственного кварца, алмазов и других продуктов).

Сосуды и аппараты высокого давления работают под внутренним избыточным давлением свыше 10 до 130 МПа и температуре стенки не ниже минус 40 и не выше плюс 525°C. Они изготавливаются с монолитной стенкой (кованые, кованосварные, штампованосварные), многослойные (с концентрически расположенными слоями, рулонированные, спирально рулонированные, витые).

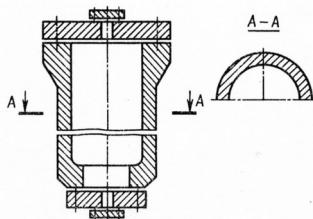


Рис. 33. Кованый СВД

Кованые СВД (рис. 33) имеют монолитный корпус, изготовленный из одной поковки. Это определяет их относительно небольшие размеры (внутренний диаметр не более 600 – 800 мм, длина – до 6 м). Преимущества таких СВД – отсутствие сварных швов, требующих периодической дефектоскопии, и снижающих надёжность. Недостатки – низкий коэффициент использования металла (отношение массы готового изделия к массе поковки), ограниченные размеры, необходимость специального литейного и кузнечно-прессового оборудования, специальных станков для механической обработки

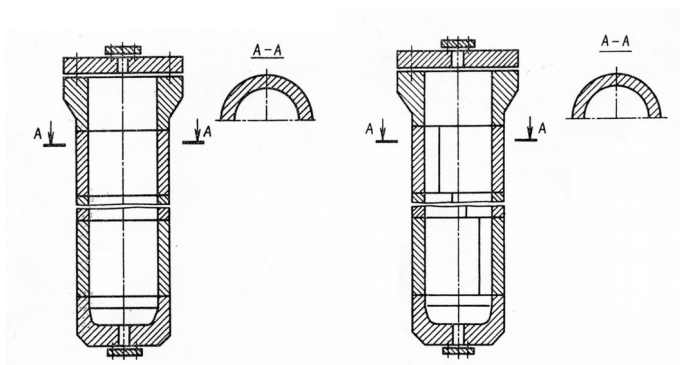


Рис. 34. Кованосварной СВД

Рис. 35. Штампованосварной СВД

Кованосварные СВД (рис. 34) имеют корпус из нескольких механически обработанных кованых обечаек, соединённых между собой кольцевыми сварными швами. Применение сварки значительно расширяет возможности изготовления сосудов больших размеров. Однако такая технология изготовления используется редко, вытеснена технологией изготовления сосудов методом рулонирования.

Штампованосварные и вальцованосварные СВД (рис. 35), корпус которых выполнен из нескольких штампованных (полуобечаек или из двух штампованных корыт) или вальцованных обечаек, соединённых продольными и кольцевыми сварными швами. Поскольку вальцевание и штамповка толстостенных элементов затруднены их применяют на давление не более 20 МПа, продольные швы снижают их надёжность. ■

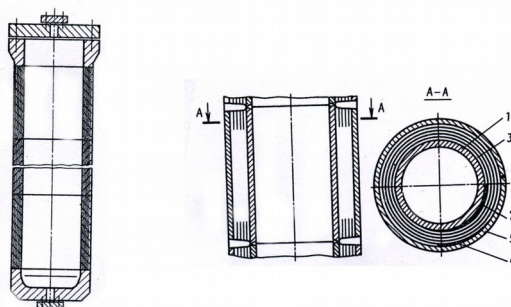


Рис. 36. Рулонированный СВД

Рулонированные СВД (ПСВД) (рис. 36) имеют корпус из нескольких многослойных рулонированных обечайек, сваренных между собой и концевыми элементами кольцевыми сварными швами. Концевые элементы (фланцы, горловины, днища) выполнены из поковок. Обечайку формируют путём наматывания на центральную цилиндрическую гильзу (сердечник) с натяжным усилием листовую прокатную сталь на валковой машине (рис. 37) специализированной линии сборки рулонированных обечайек (рис. 38).

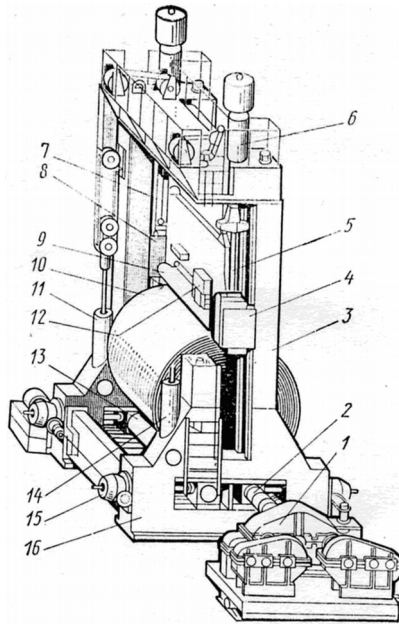


Рис. 37. Машина для изготовления рулонированных обечайек: 1 – привод рабочего вала; 2, 13 – опорные валки; 4, 8 – опоры-траверсы; 5 – сменные проставки; 6 – силовые гидроцилиндры; 7 – траверсы; 9 – рабочий валок; 10 – рулонированная обечайка; 11, 14 – приводы перемещения траверсы; 12 – поджимные опорные ролики; 15 – привод раздвижения валков; 16 – станина

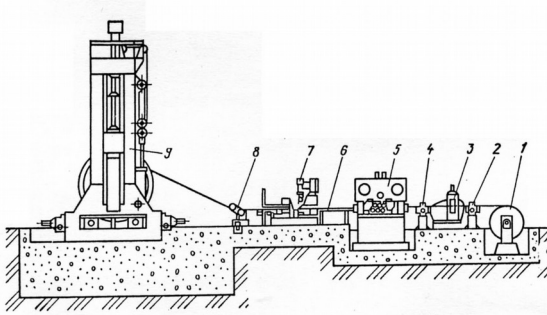


Рис. 38. Технологическая линия для изготовления рулонированных обечаек: 1 – разматыватель; 3 – подающие валки; 2, 4 – роликовые конвейеры; 5 – правильные вальцы; 6 – склизы и проводники полос; 7 – стыковочная машина; 8 – отклоняющие валки; 9 – машина для навивки обечайки

Основные предпочтительные параметры и условия применимости сосудов в зависимости от типа конструктивного исполнения представлены в таблице 19.

Таблица 19.

Основные параметры сосудов высокого давления

Тип сосуда (исполнение)	Рабочее давление, МПа	Температу- ра стен- ки, °С	Диаметр вну- тренний, мм	Толщина стенки, мм
Кованые	Свыше 10 до 130	От минус 40 до 525	Не ограничены	
Кованосварные			Не ограничен	До 300
Вальцованосварные			Более 700	Менее 120
Штамповые			От 600 до 1400	До 160
Многослойные	Свыше 10 до 130	От минус 40 до 420	От 600 до 3600	До 300
Рулонированные			От 600 до 3600	До 300

В зависимости от функционального назначения рулонированные сосуды делятся на две группы (ОСТ 26-01-221-80). Сосуды первой группы без внутренних устройств, у которых имеется доступ к внутренним поверхностям корпуса, и второй группы со встроенными неподвижными внутренними устройствами, не обеспечивающими доступа к внутренним поверхностям корпуса. Для каждой из этих групп при гидравлических испытаниях пробное давление определяется по разным методикам.

Из рассмотренных конструкций сосудов следует, что разные элементы в зависимости от их назначения необходимо изготавливать из разных материалов, но их сочетание должно обеспечивать равнопрочность конструкции.

Поковки для изготовления элементов корпуса крупногабаритных сосудов должны иметь одинаковые механические свойства по сечению, одинаковую кристаллическую структуру. К чистовой механической обработке допускаются поковки после окончательной термической обработки, ультразвуковой дефектоскопии, контроля микроструктуры.

Рулонная сталь для цилиндрической части конструкции сосуда ввиду специфики способа изготовления должна обладать малой чувствительностью к наклёпу и высокой пластичностью, хорошей свариваемостью и иметь заданные механические свойства в зоне термического влияния сварных соединений без последующей высокотемпературной термической обработки. Тонкий слой окалины, а также незначительные поверхностные дефекты в виде рисок и забоин на полосе металла не снижают прочностных качеств конструкции.

Для сосудов с расчётной температурой до 450 – 560°C нагрева корпуса выпускается рулонная полоса теплоустойчивых сталей марок 12ХГНМ, 15ХГНМФТ.

При выборе материалов для изготовления сосудов должны учитываться: расчётное давление; температура стенки (минимальная отрицательная и максимальная расчётная); состав стали (содержание отдельных компонентов и примесей) и характер среды (коррозионноактивная, взрывоопасная, токсичная и т.п.); технологические свойства (свариваемость и коррозионная стойкость).

Рекомендуются следующие стали для отдельных элементов корпуса:

1. Для кованных элементов обечаек, днищ, крышек, горловин, штуцеров, фланцев стали: 22К; 09ГДНФ; 20; 25; 09Г2С; 22Х3М; 20Х3НМ; 30ХМА; 15Х2МФА; 18Х3МВ; 20Х13; 08Х13.

2. Для спиральных слоёв многослойных рулонированных обечаек полосовая сталь шириной 1400 – 1700 мм: 16К; 18К; 10Г2С1; 08Г2СФБ; 12ХГНМ; 12ХГНМФ; 15ХГНМФТ толщиной 4 – 5 мм.

3. Для наружных кожухов рулонированных корпусов: 12ХГНМ; 12ХГНМФ; 15ХГНМФТ.

4. Центральные гильзы обечаек изготавливаются, как правило, из коррозионностойких сталей или двухслойных сталей.

5.1. Требования к обечайкам СВД

На поверхности механически обработанных кованных обечаек, днищ и других изделий не должно быть острых кромок, заусенцев, забоин, вскрытых плён, закатов, вмятин, усадочных рыхлостей и других дефектов. Допускает-

ся устранять выявленные дефекты на глубину до 10% от толщины листа вышлифовкой, вырубкой с последующей заваркой и зачисткой, термообработкой и контролем места заварки ультразвуковой дефектоскопией.

Обечайки, вальцованные и штампованные внутренним диаметром до 1000 мм из толстолистовой стали должны изготавливаться не более чем с двумя продольными швами, и диаметром свыше 1000 мм, из листов, максимально возможной длины. Не допускаются вставки шириной менее 400 мм.

Коррозионностойкая поверхность обечаек двухслойной стали (плакирующий слой), а также внутренняя поверхность центральных обечаек из некоррозионностойких сталей, изготовленных методом горячей штамповки или вальцовки и прошедшие термообработку, должны быть полностью очищены от окалины.

Под рулонированным сосудом понимается корпус в сборе с крышками и затворами без внутренних устройств и трубопроводов. Детали сосудов изготавливают из спокойных углеродистых или легированных сталей, рекомендуемых для применения ОСТ 26-01-1341-75. Прокладку для затворов делают из листового алюминия марок АД1; АД0; АД00; А5; А6; А7 или листовой меди марок М1; М2 (по ГОСТ 495-77) в отожжённом состоянии. Прокладки допускается изготавливать сварными с последующим отжигом швов. Фланцы, горловины, днища, крышки, обтюраторы и основные крепёжные детали изготавливают из поковок, обечайки сворачивают из листовой рулонной стали толщиной до 8 – 11 мм.

Основной частью корпуса является рулонированная обечайка, которая образуется намоткой рулонной листовой стали на сердечник (центральную обечайку или гильзу).

Толщина центральной обечайки (гильзы) для рулонированных сосудов должна быть не менее суммарной толщины трёх слоёв спиральной навивки рулонной обечайки. Изготовление центральной обечайки допускается формировать из нескольких листов, но не более чем из трёх с продольными стыковыми сварными швами. Ширина замыкающего листа должна быть не менее 400 мм.

Центральная обечайка перед навивкой слоёв должна быть откалибрована. Отклонение от округлости обечайки на любом участке окружности длиной не менее 0,25 внутреннего номинального диаметра не должна превышать 1,5 мм.

После сварки валики продольного шва (усиление сварного шва) на внутренней и наружной поверхности обечайки должны быть зачищены заподлицо с поверхностью листа. На рабочей поверхности сердечника не допускаются риски, царапины, вмятины и другие дефекты, если их глубина превышает требования на поставку листа. Шероховатость поверхности мест зачистки не должна превышать $R_a 63$ ($R_z 40$). Отклонение образующей обечайки от прямолинейности не должно быть более 1,5 мм на всей длине.

Отслоение лакирующего слоя от основного по кромкам разделки под сварку двухслойных сталей не допускается.

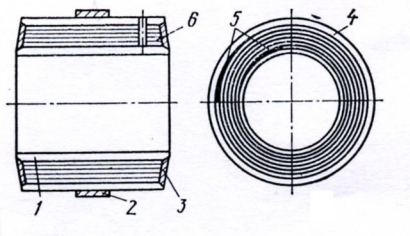


Рис. 39. Рулонированная обечайка

При изготовлении рулонированной обечайки, для получения правильной концентрической формы, в начале наливки (снаружи центральной обечайки) и в конце наливки следует располагать одну над другой клиновые вставки, к которым встык приваривается полоса наливки. Рулонированная обечайка (рис. 39) состоит из центрального сердечника 1, на который навита листовая рулонная полоса 3. Начальный конец рулонной полосы крепится сваркой к центральной обечайке 1 через клиновую вставку 5, а замыкающий – к предыдущему слою наливки через клиновую вставку 5. При изготовлении рулонной обечайки из двух и более рулонных полос сварной шов, соединяющий концы рулонных полос, должен быть стыковым и выполнен без прихватки к нижележащему слою. Валик этих швов (усиление сварного шва) должен быть зачищен до толщины полосы. К начальному и замыкающему торцам полосы приваривают клиновые вставки 5, которые взаимно должны быть расположены так, чтобы в любом сечении толщина стенки навитой обечайки была одинаковой. Наружная часть обечайки – кожух 4.

Клиновые вставки получают методом фрезерования плоской листовой заготовки или точением из вальцованной заготовки.

При первом методе заготовку устанавливают на столе фрезерного станка в специальном приспособлении, обеспечивающем снятие клинового припуска, а затем придают соответствующую кривизну на вальцах или гибочном станке.

По второму способу – методом круговой гибки изготавливают обечайку из узкой полосы для наливки сосуда. Эту заготовку плотно насаживают на цанговую оправку и, установив в центрах токарного станка, протачивают на конус. Затем кольцо разрезают по образующей и разгибают в плоскую заготовку, которой в продольном направлении придётся изгиб заданного радиуса.

Клиновые вставки должны соответствовать требованиям:

- 1) ширина по окружности обечайки не менее 300 мм для обечайек с внутренним диаметром до 1400 мм и не менее 600 мм при диаметре свыше 1400 мм;
- 2) длина – на всю длину обечайки; допускается изготовление из отдельных частей, не сваренных между собой;
- 3) более толстый конец вставки должен быть равен толщине листа рулонной стали, тонкий – не более 0,3 мм;
- 4) поверхность не должна иметь неровностей, уступов, подрезов размерами более 0,3 мм.

Клиновую вставку прихватывают к сердечнику ручной дуговой сваркой, к толстому концу вставки приваривают конец рулонной ленты. Зазор под сварку между кромками рулонной полосы и клиновой вставкой должен быть $10^{+4,0}$ мм. Зазор по торцам обечайки между клиновой вставкой и первым слоем намотки не должен превышать 0,3 мм.

Число спиральных слоёв в многослойной рулонированной обечайке должно быть не менее семи без учёта клиновых вставок.

Процесс намотки должен осуществляться с одновременным контролем её плотности и выявления дефектов расслоения. Зазоры проверяют щупом с торцов между слоями.

В конце намотки устанавливают замыкающую клиновую вставку с соблюдением тех же требований, которые предъявлялись к начальной клиновой вставке.

С внешней стороны на рулонированную обечайку устанавливают наружную обечайку 4(кожух), которая состоит из двух или более вальцованных секторов, изготовленных из листовой стали толщиной не менее суммарной толщины двух слоёв спиральной полосы.

Наружную обечайку с помощью стяжных приспособлений плотно накладывают на последний слой намотки, при этом её продольные швы должны быть смещены относительно замыкающего продольного шва рулонированной обечайки не менее чем на 30° по дуге, но не менее чем на значение величины наружного диаметра. Зазор между кромками, разделку которых при толщине листа до 12 мм не производят должен быть равен $10^{-2,0}$ мм. При этом допускается изготовление кожуха из нескольких листов, но не более чем тремя продольными швами. Продольные швы сваривают вручную или механизированной сваркой под слоем флюса. Качество сварки продольных швов наружной обечайки проверяют внешним осмотром, магнитной или цветной дефектоскопией 100% длины швов, механическими испытаниями образцов.

Для крепления к аппарату металлоконструкций (лестниц, площадок, этажерок и т.п.) после его монтажа на фундаменте на наружной части кожуха при его изготовлении могут крепиться бандажки или накладки.

После полной сборки рулонированной обечайки перед сваркой кольцевых швов её торцы подвергают механической обработке и наплавке торцевых поверхностей с толщиной наплавляемого слоя не менее 8 мм ручной или механизированной под слоем флюса сваркой для обечайек с внутренним диаметром до 1400 мм включительно, и не менее 10 мм – для обечайек с внутренним диаметром более 1400 мм, и вновь механически обрабатываются для получения нужного профиля кромок. Механическая обработка торцов должна обеспечивать их перпендикулярность к образующей внутреннего диаметра не более 1 мм на метр длины. Для создания дренажной системы, выхода диффундирующих газов и контроля качества швов при эксплуатации до наплавки должны быть равномерно по длине наружной окружности просверлены отверстия на расстоянии 50 – 130 мм от торцов и глубину на всю толщину многослойной части до первого слоя навивки. Отверстия следует располагать равномерно с шагом не более одного метра. Число отверстий должно быть не менее 4 с каждого торца, но не более 8 (рис. 41). Диаметр отверстий должен быть не менее 8 мм. Сверление и механическую обработку торцов под наплавку, врезку штуцеров следует выполнять без смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), чтобы она не попадала и оставалась в зазорах между слоями навивки. Качество наплавки контролируют внешним осмотром с применением лупы, увеличивающей размеры дефектов не менее чем в 4 раза.

На рис. 40 показан узел сборки клиновой вставки и начала рулонной полосы с центральной обечайкой. Клиновая вставка – 2 и начало рулонной полосы – 3 прикрепляются сваркой к центральной обечайке 1. Для обеспечения качественной сварки всех трёх элементов между торцами полосы и вставки оставляется зазор δ в пределах 2 – 12 мм. При этом угол α между этим зазором и продольным швом центральной обечайки должен быть не менее 30° .

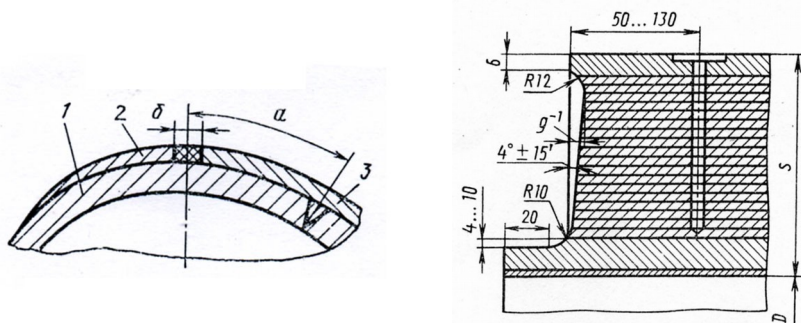


Рис.40. Схема крепления клиновой вставки Рис.41. Вариант разделки кромки

5.2. Сварка сосудов высокого давления

Сварка – один из ведущих технологических процессов при изготовлении СВД. Основной тип сварных соединений в СВД – стыковые. Угловые соединения применяют для присоединения штуцеров.

В зависимости от конструкции и размеров сосудов, способа их изготовления могут применяться следующие виды сварки:

- 1) ручная электродуговая покрытыми электродами;
- 2) механизированная под слоем флюса;
- 3) электрошлаковая для сварки плоских заготовок, кольцевых и продольных швов обечаек;
- 4) механизированная под слоем флюса с подачей в зону горения дуги металлической крошки с поперечными колебаниями электрода для наплавки торцов рулонированных обечаек и монолитных деталей.

Сварка кольцевых швов – одна из наиболее ответственных технологических операций, составляющая около 50% всей трудоёмкости изготовления рулонированных сосудов, выполняемая при соблюдении всех требований Ростехнадзора.

В настоящее время самой прогрессивной технологией изготовления СВД является рулонирование. Анализируя перечисленные виды сварки, наиболее экономично было бы применение электрошлаковой сварки (ЭШС) и в первую очередь кольцевых швов. Однако ЭШС в силу специфики процесса требует для получения требуемой пластичности сварного соединения последующей высокотемпературной обработки (нормализации), которая для многослойных конструкций не допускается.

Известны способы механизированной сварки в среде защитных газов по узкой разделке кромок без предварительной наплавки. Однако при этих способах для исключения дефектов требуется особо высокая точность сборки свариваемых элементов, поэтому эти способы сварки для изготовления рулонированных СВД пока не применяются.

В дальнейшем при рассмотрении работ, связанных со сваркой и наплавкой, речь будет идти только о ручной дуговой сварке покрытыми электродами или механизированной под слоем флюса.

Свариваемые торцы поковок и рулонированных обечаек перед сборкой должны быть механически обработаны (со снятием стружки), очищены от загрязнений и не должны иметь подрезов, трещин и вмятин. Подготовка кромок для монолитных деталей из углеродистых и кремнемарганцовистых сталей допускается производить газовой или плазменной резкой с последующей зачисткой поверхности реза до чистого металла с параметрами шероховатости $R_z \leq 80$.

Форма подготовки кромок под сварку должна соответствовать требованиям ГОСТ 5264-80; ГОСТ 8713-79; ГОСТ 14771-76; ГОСТ 15164-78. Кромки, подготовленные под сварку, должны быть обезжирены растворителем (ацетоном).

Форма и размеры разделки кромок свариваемых элементов толсто-стенных сосудов выбирают из условия обеспечения высокого качества сварного соединения и минимального объёма наплавленного металла, что является важным фактором, обеспечивающим качество сварного соединения при изготовлении сосудов больших размеров с толщиной стенки до 300 мм. Должны быть обеспечены также свободный доступ и манипулирование электродом в разделке кромок и удобное удаление шлака.

При ручной и механизированной сварке под слоем флюса в толсто-стенных сосудах применяют стыковые соединения с общим углом разделки кромок от 6 до 15°. Электрошлаковую сварку выполняют без скоса кромок свариваемых элементов.

Сварка рулонированных СВД отличается от сварки сосудов из одно-слойных элементов. Конструкция сварного соединения и технология сварки кольцевых швов определяются конструктивными особенностями рулонированных обечаек: многослойной стенкой, наличием межслойных зазоров и меньшей, по сравнению со сплошной стенкой, жёсткостью в осевом и радиальном направлениях. Межслойные зазоры могут привести при сварке к образованию подрезов, шлаковых включений, «усов» (продолжение зазоров в металле шва, примыкающего к зазорам рулона). Недостаточная жёсткость многослойной стенки приводит к уменьшению деформаций в области сварного шва. Для предупреждения образования дефектов и уменьшения деформаций торцы многослойных обечаек предварительно наплавливают. При этом рекомендуется широкослойная наплавка с поперечными колебаниями электрода по слою металлической крошки (сечение 1,6 × 2 мм; 2 × 2 мм; 3,0 × 1,5 мм под сварочную проволоку) или без крошки. При наличии кромки наплавку выполняют за один проход, без использования крошки – за два прохода. Как отмечалось ранее, для выхода газов из многослойных зазоров в рулонированных обечайках сверлят дренажные отверстия (см. рис. 41).

В качестве примера приводим сочетание сварочных материалов для механизированной сварки под флюсом для некоторых марок рулонной стали:

- для сталей: 09Г2С; 08Г2СФБ; 10Г2С1 применяется сварочные проволоки Св-08ГА; Св-10ГА с крошкой и без неё, флюсы: АН-348А; АН-60;
- для сталей: 12ХГМ; 12ХГНМФ; 12ХГНМФТ – сварочная проволока: Св-10ХГСН2МТ и флюс: АН-17М.

Для ручной сварки используют электроды с основным покрытием. Ручную сварку применяют при незначительном объёме работ или при невозможности использовать механизированную.

На рисунке 42 показаны некоторые варианты разделки кромок под сварку кольцевых швов рулонированных сосудов.

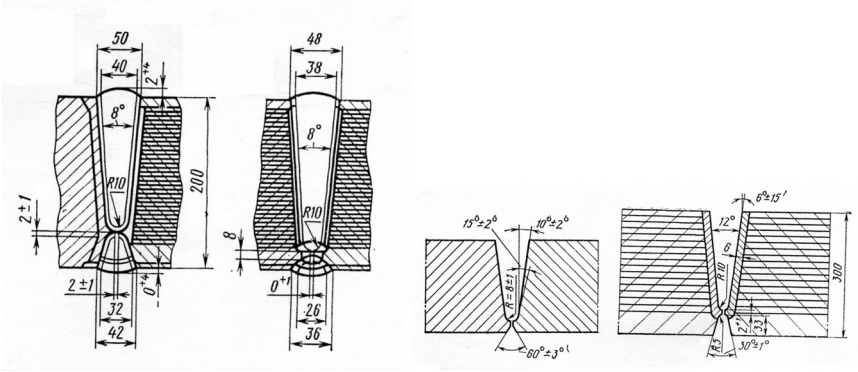


Рис. 42. Варианты разделки кромок рулонированных обечаек

Операции сборки корпуса под сварку кольцевых швов производят на сборочном роликовом стенде. Для сборки отдельных обечаек между собой применяют временные технологические скрепляющие и регулирующие зазоры приспособления: сборочные скобы, планки, клинья, технологические проставки, наружные поверхности которых копируют форму разделки кромок и т.п. (рис. 43).

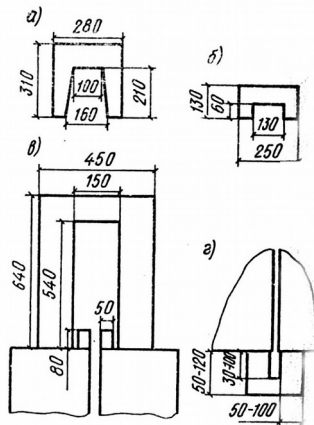


Рис. 43. Сборочные приспособления для сварки

Прихватки этих временных технологических приспособлений производятся аттестованными сварщиками с использованием сварочных материалов (электродов), соответствующих маркам свариваемых сталей корпусных деталей. Затем подваривают с внутренней стороны кольцевой шов. Удаляются технологические проставки, а места приварки временных технологических креплений после их удаления зачищают заподлицо с основным металлом. Приступают к сварке кольцевых швов с наружной стороны.

При сборке корпусов сосудов под сварку кольцевых швов продольные швы смежных монолитных обечаек должны быть смещены относительно друг друга на расстояние равное не менее чем трёхкратной толщине наиболее толстого элемента, но не менее чем на 100 мм, а соседних многослойных обечаек (швов центральных обечаек) смещают не менее чем на 30° по дуге.

Радиальное смещение кромок по внутреннему диаметру монолитных смежных обечаек и концевых деталей, собранных под сварку не должны превышать 5 мм, а многослойных обечаек – 3 мм. Отклонение длины корпуса от номинального размера допускается в пределах $\pm 0,3\%$ общей его длины, но не более ± 75 мм.

Искривление внутреннего цилиндра корпуса должно находиться в пределах: 0,6 мм на 1 м длины, но не более 6 мм на всю длину для корпусов, в которых устанавливают внутренние устройства; 2 мм на 1 м длины, но не более 30 мм на всю длину для корпусов, не имеющих сопряжённых внутренних устройств.

Наружные поверхности многослойных обечаек должны быть предохранены от возможного наклёпа при сварке кольцевых швов на металлических роликоопорах.

Для обечаек из двухслойных сталей значение смещения не должно превышать толщины плакирующего слоя.

Качество кольцевых сварных соединений проверяют внешним осмотром; магнитной дефектоскопией 100%-ной длины швов с наружной стороны; цветной дефектоскопией 100%-ной длины швов с внутренней стороны; просвечиванием проникающими излучениями; механическими испытаниями образцов; металлографическими исследованиями, проводимыми на образцах, вырезанных из контрольной кольцевой пробы; гидравлическим испытанием.

Корпуса, предназначенные для работы с агрессивными средами, с внутренней стороны должны быть защищены антикоррозионным слоем. Сердечники (внутренние обечайки) таких корпусов выполняют из листовой коррозионностойкой аустенитной стали типа 12X18H10T и др. Из этих же ста-

лей футеруют днища, крышки, штуцера, фланцы (горловины). На этих элементах допускается производить антикоррозионную защитную наплавку.

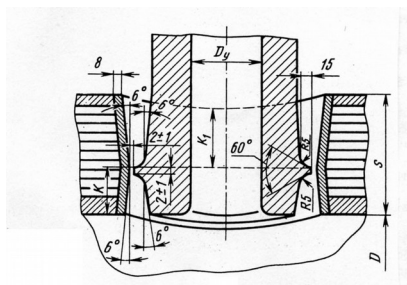
Качество футеровки проверяется аналогично контролю качества кольцевых швов. После сварки корпуса перед гидравлическим испытанием сварные соединения футеровки с фланцем и днищем для обнаружения местных дефектов проверяют на плотность галоидным течеискателем.

5.3. Варка штуцеров в корпус СВД

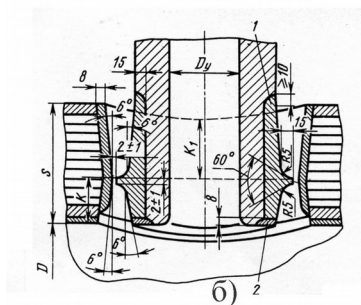
В стенках корпусов СВД, независимо от способа изготовления, проделывать отверстия для установки штуцеров, карманов термопар и других целей не рекомендуется, так как это потребует обязательной операции укрепления отверстия, что связано с определёнными трудностями. Поэтому все необходимые отверстия следует выполнять в съёмных крышках и приварных кованых днищах. Изготовление отверстий в монолитных концевых элементах сосуда, также как присоединение трубопроводов, по которым подаются и отводятся вещества в стенках высокого давления, никаких трудностей не представляют.

Совсем другое дело, когда штуцера для присоединения к ним трубопроводов необходимо выполнять в многослойных обечайках. Так вырезка отверстий в рулонированных обечайках должна производиться механическим способом: свёрлами, резцами или фрезами. Все отверстия, начиная с диаметров более 100 мм должны наплавляться ручной дуговой сваркой или механизированной под слоем флюса, после чего наплавленный слой в отверстии должен подвергаться механической обработке, в результате толщина наплавленного слоя не должна быть менее 8 мм.

Варка штуцеров в многослойную стенку производится на всю толщину стенки, с полным проваром при условии сопутствующего подогрева до температуры не ниже 150°C открытым пламенем непосредственно в разделку. При вварке штуцеров необходимо обеспечить с наружной стороны разделки плавный переход наплавленного металла (по радиусу) от корпуса к штуцеру. Конструктивные элементы разделки кромок под варку штуцеров показаны на рисунке 44.■



а)



б)

Рис. 44. Вариант разделки кромок под варку штуцера

При сборке зазор между кромками отверстия и штуцером в диаметрально расположенных местах должны быть не более 3 мм.

На штуцера из сталей 20Х3М и 20Х2МА, ввариваемых в многослойную стенку, производится технологическая низколегированная наплавка свариваемых поверхностей для обеспечения нужных пластических свойств металла шва.

При вварке штуцеров в многослойную обечайку с центральным сердечником из двухслойной стали предварительно должна производиться антикоррозионная наплавка торца штуцера на толщину не менее 8 мм.

Ввариваемые штуцера не должны располагаться на продольных швах наружного кожуха и центральной обечайки многослойного сосуда, а располагаться от них на расстоянии не менее половины внутреннего диаметра штуцера, но не менее толщины стенки сосуда. При размещении штуцеров остальные швы рулонной обечайки не учитывают.

Варка штуцеров внутренним диаметром 200 мм и более в многослойную обечайку должна производиться только после приварки к ней смежных элементов сосуда (обечаек, днищ, фланцев).

Сварные соединения вварных штуцеров должны быть термообработаны.

При варке штуцеров на обечайках, днищах и крышках смещение штуцеров от оси проектного положения должно быть не более 10 мм, перекося штуцера не более $\pm 1^\circ$.

Все сварные швы корпусов сосудов подлежат клеймению.

5.4. Электрошлаковая сварка (ЭШС) в химическом аппаратостроении

ЭШС – сварка плавлением, при которой для нагрева и плавления металла используется теплота, выделяющаяся при прохождении электрического тока через расплавленный электропроводный шлак. Шлак одновременно служит защитой от вредного воздействия окружающей среды и средством металлургического воздействия на расплавленный металл. Температура расплавленного шлака составляет около 2000°C , что обеспечивает плавление основного и электродного металла.

По ГОСТ 19521-74 – электрошлаковая сварка классифицируется:

- по виду электрода: проволочным; пластинчатым; плавящимся мундштуком;
- количеством электродов с общим подводом сварочного тока – одно; двух – и многоэлектродная;
- наличием колебания электрода – без колебания и с колебаниями.

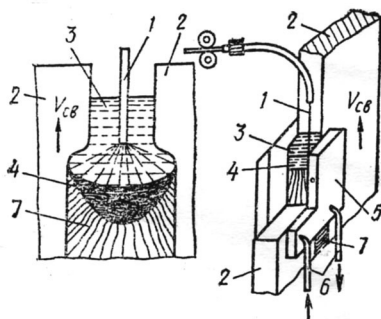


Рис.45. Схема процесса электрошлаковой сварки

Схема электрошлаковой сварки одним проволочным электродом показана на рис. 45. Электрод 1 и основной металл 2 связаны электрически через расплавленный шлак 3. За счёт теплоты, выделяемой в шлаковой ванне при прохождении электрического тока, металл электрода и кромки основного

металла оплавляются и стекают на дно расплава, образуя металлическую ванну 4. В начале процесса сварки возбуждается электрическая дуга, после расплавления флюса под действием дуги и образовавшейся шлаковой ванны жидкий флюс заливает дугу и дуговой процесс переходит в электрошлаковый.

Свариваемые детали собирают вертикально без скоса кромок с зазором 20 – 40 мм.

Для формирования шва и удержания жидкого металла и шлака от вытекания применяют специальные формирующие устройства – подвижные или неподвижные медные полые ползуны, через которые протекает охлаждающая вода 6. Кристаллизующийся в нижней части металлической ванны расплавленный металл образует шов 7.

ЭШС имеет следующие особенности:

- кромки практически любой толщины можно сваривать за один проход, поэтому производительность сварки в 5 – 15 раз выше, чем при многослойной механизированной под слоем флюса;
- повышенная температура расплава способствует удалению газов и неметаллических включений из металла шва;
- небольшой расход флюса, обычно не более 5% от массы наплавленного металла.

Недостатком ЭШС является значительный перегрев металла околошовной зоны, что приводит снижению пластических свойств и необходимости последующей термической обработки для получения требуемых механических свойств сварного соединения.

ЭШС экономически выгодна при сварке металла толщиной более 25 мм. Этот вид сварки позволяет выполнять только вертикальные швы. ЭШС применяют для сварки алюминиевых и титановых сплавов.

Выполнение угловых и тавровых швов этим видом сварки затруднительно.

К основным параметрам ЭШС относятся: скорость сварки, сварочный ток, скорость подачи электродов, напряжение сварки, толщина свариваемого металла, расстояние между электродами, зазор между кромками, глубина шлаковой ванны, сечение электродной проволоки, вылет электродов и др.

Так, при сварке металла толщиной 100 мм сварочный ток на один электрод составляет 600 – 620 А, напряжение на шлаковой ванне 42 – 46 В, количество электродов – 2, диаметр проволоки 3 мм, расстояние между электродами 45 – 50 мм, скорость подачи электрода 300 м/ч, сухой вылет электрода 60 – 80 мм, глубина шлаковой ванны 50 – 70 мм.

Для электрошлаковой сварки используют обычные флюсы: АН 348А; ФЦ 7 и специальные: АН-8; АН-22.

Сварку пластинчатым электродом применяют для коротких швов высотой до 1,5 м. Можно также применять стержни круглого, квадратного и др. сечений. В этом случае упрощается аппаратура для сварки.

Сварка плавящимся мундштуком как бы объединяет способы сварки проволочным и пластинчатым электродами. В пластинчатом электроде делают пазы или к нему приваривают трубки для подачи электродной проволоки. При сварке пластина остаётся неподвижной и является плавящимся мундштуком, по которому подаётся проволока (рис. 46).

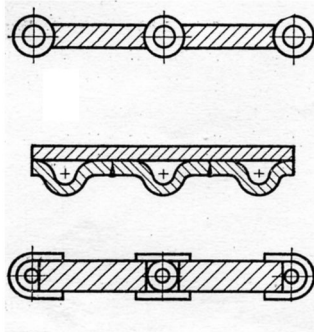


Рис. 46. Конструкции мундштуков

Этим способом можно сваривать швы сложного криволинейного профиля.

Заготовки под сварку собирают с зазором 30 мм. Для плотного прилегания ползунов кристаллизатора и формирующих устройств к кромкам стыка последние зачищают от заусенцев и окалины шириной до 100 мм. Для вывода за пределы шва усадочной раковины в конце шва приваривают выходные планки, а в начале шва – входные планки для создания кармана, в который засыпается флюс, возбуждается дуговой процесс до получения жидкой ванны требуемой величины. После этого дуга шунтируется расплавленным шлаком, и процесс переходит в бездуговой – электрошлаковый. Такой процесс сварки называется сухим стартом.

В производстве находит применение и жидкий старт, когда в пространство, образуемое свариваемыми деталями и формирующими водоохлаждающимися устройствами (ползунами или кристаллизаторами) заливают жидкий флюс, который предварительно расплавляют в отдельной печи.

После окончания сварки входные и выходные планки отрезают.

Электрошлаковую сварку осуществляют специальными аппаратами, которые обеспечивают подачу в зону сварки электрода, флюса, металлической крошки, поддержание устойчивого электрошлакового процесса и перемещение вдоль шва.

При электрошлаковой сварке применяют установки, в состав которых входят: бункер с флюсом; кассеты с электродной проволокой; источники питания, аппаратура управления.

Установки разделяются на подвесные и самоходные, рельсового и безрельсового типов. При вертикальном перемещении установку необходимо снабжать сцепляющими механизмами, удерживающими их на вертикальной плоскости за счёт сил трения с пружинным или магнитным прижимом, перемещающимся вдоль шва вместе с автоматом со скоростью образования шва.

5.5. ЭШС кольцевых швов СВД

Сборка и сварка кольцевых швов толстостенных обечаек производится на горизонтальных роликовых стендах с большой точностью. Случайные смещения кромок по высоте не должны превышать 1 – 2 мм. Максимальная разность диаметров стыкуемых элементов не должна превышать $\pm 0,5$ мм. Достигается такая точность сборки с помощью фиксирующих скоб (см. рис. 43) толщиной 50 – 60 мм привариваемых к внутренним стенкам обечаек через 500 – 800 мм. В промежутках между скобами с таким же шагом в зазор между кромками вводят и прихватывают в корне шва расплавляемые монтажные пластины длиной 50 – 100 мм, шириной, равной зазору, и толщиной 4 – 8 мм из металла, близкого по химическому составу металлу свариваемых кромок.

Кроме того, в зазор между свариваемыми элементами могут загоняться для регулирования его величины, удаляемые монтажные кольцевые вставки, изогнутые по среднему радиусу толщины стенки сосуда.

Одновременно со сборочными приспособлениями к наружной стенке привариваются технологические вводные и выводные планки обычно размером 100 × 100 мм и толщиной до 60 мм.

Электродная проволока – наиболее распространённый тип электродов. Прямолинейные стыковые соединения толщиной до 50 мм выполняют одним неподвижным электродом; толщиной 50 – 150 мм – одним электродом с колебательным движением; толщиной 100 – 300 мм – двумя электродами и толщиной 150 – 450 мм – тремя электродами.

Кольцевые стыки до 150 мм сваривают одним электродом, толщиной 100 – 250 мм – двумя электродами и толщиной 150 – 450 мм – тремя электродами.

Для формирования обратного валика в корне шва по всему внутреннему диаметру закрепляют медное кольцо, охлаждаемое проточной водой или,

иногда, остающееся стальное подкладное кольцо шириной 80 – 100 мм и толщиной 25 – 30 мм.

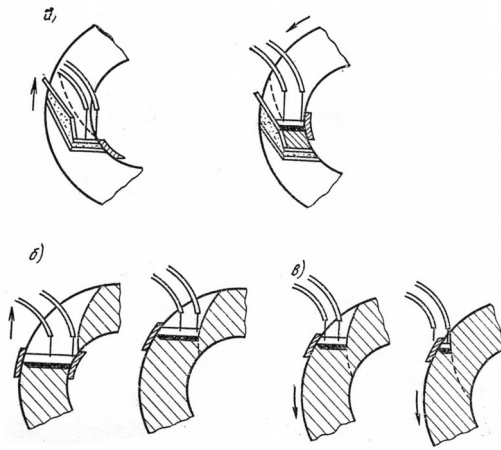


Рис. 47. Схема проведения сварки кольцевого шва

Цикл сварки кольцевого шва состоит из трёх этапов. На первом этапе (рис. 47а) сваривают начальный участок шва или большую часть кармана до подъёма металлической ванны до уровня оси кольцевого стыка при подъёме аппарата без вращения изделия, а конец кармана сваривают при неподвижном аппарате и вращении изделия. После неведения шлаковой ванны по мере заполнения кармана электроды раздвигают и увеличивают амплитуду их колебаний.

На втором этапе процесс сварки ведут так же, как при сварке прямолинейных швов. После поворота изделия на $1/3$ окружности газовой резкой отрезают карман и готовят данный участок к сварке.

На третьем этапе выполняют сварку замыкающего участка стыка. Вращение изделия прекращают и выключают подъём сварочного аппарата, когда прямолинейная часть начала шва занимает вертикальное положение (см. рис. 47б). По мере сужения сварочного пространства мундштуки сближаются. После заварки вертикальной части замыкающего участка (см. рис. 47в) подъём аппарата прекращают и включают вращение изделия, постепенно уменьшая амплитуду колебания электродов. При амплитуде колебания 30 мм выводят из работы нижний электрод и сварку заканчивают одним электродом.

5.6. Термическая обработка сварных соединений

Основной целью термической обработки сварных соединений является снижение или полная ликвидация остаточных напряжений и деформаций.

Из многообразия видов термической обработки при изготовлении сосудов высокого давления (СВД) используются в основном высокий отпуск, нормализация и аустенизация, а иногда – термический отдых и стабилизирующий отжиг.

Высокий отпуск заключается в нагреве сварного соединения до температур, близких к нижней критической точки диаграммы «железо-углерод» A_{c1} свариваемой углеродистой стали (600 – 700°C, в зависимости от марки стали), выдержке при этой температуре в течение 1 – 5 ч (в зависимости от толщины) и последующим медленным охлаждением. При этом из закалочных структур получается структура мелкодисперсного зернистого сорбита, уменьшается и выравнивается твёрдость околошовной зоны, повышается её пластичность и ударная вязкость.

Нормализация включает нагрев сварного соединения до закалочных температур (на 30 – 50°C выше точки A_{c3}) для углеродистой и низколегированной стали (850 – 900°C), небольшую выдержку и последующее охлаждение на спокойном воздухе. При нормализации удаётся получить в околошовной зоне структуру пластинчатого сорбита, снизить остаточные напряжения и деформации, повысить пластичность и ударную вязкость по сравнению с закалочными структурами.

Аустенизация (фиксация аустенитной структуры, т.н. «закалка на аустенит») проводится для сварных соединений из аустенитных сталей. При этой термической обработке сварных соединений изделие нагревают до 1075–1125°C, выдерживают при этой температуре около 1 часа и затем быстро охлаждают. Аустенизация приводит к получению однородной структуры шва и околошовной зоны, повышению пластичности и коррозионной стойкости.

Термический отдых заключается в нагреве изделия до 250 – 300°C с последующей выдержкой в течение нескольких часов. После такой термической обработки уменьшается содержание водорода в сварных швах, а также снижается уровень остаточных сварочных напряжений. Термический отдых обычно применяют для сварных соединений толстостенных сосудов, для которых трудно выполнять термическую обработку по режиму высокого отпуска.

Стабилизирующий отжиг проводится при нагреве изделия до 950 – 970°C, выдержке в течение 2 – 3 ч. И последующем охлаждении на воздухе. Стабилизирующий отжиг приводит к выравниванию структуры, снижению остаточных напряжений на 70 – 80%, обеспечивая стабильную структуру ме-

талла, повышение коррозионных свойств аустенитных сталей, в том числе стойкости к межкристаллитной коррозии (МКК). Этот вид термообработки применяют для сварных соединений высоколегированных сталей аустенитного класса взамен аустенизации.

Швы монолитных конструкций толщиной свыше 30 мм, независимо от формы разделки кромок под сварку и соответственно объема наплавленного металла, подлежат термической обработке. Это связано тем, что остаточные сварочные напряжения вследствие жёсткости монолитной конструкции, препятствующей существенным деформациям, могут превысить предел прочности металла и вызвать его разрушение.

Многослойная конструкция в отличие от монолитной имеет повышенную податливость. В процессе сварки силы, вызывающие при остывании усадку сварного шва, не встречая значительного сопротивления окружающих гибких элементов, не препятствуют их деформации. Деформация снижает уровень остаточных напряжений, приближая их к значениям предела текучести наплавленного металла.

Для уменьшения остаточных деформаций и получения сварного соединения требуемого качества сварку рулонированных сосудов (РС) следует вести с сопутствующим подогревом при 130 – 150°C при условии увеличения толщины наплавки торцов до 10 мм.

Исходя из вышеизложенного, кольцевые соединения РС из низколегированных сталей термической обработке не подвергаются из-за отсутствия закалочных структур. Тем более что, как установлено опытом, при опрессовке РС в ходе гидравлических испытаний, остаточные сварочные напряжения уменьшаются до допустимого уровня.

Целесообразно обрабатывать термически лишь кольцевые сварные стыки, соединяющие многослойную стенку с монолитной при толщине свыше 160 мм.

Обязательной термической обработке, независимо от толщины стенки, подлежат РС изготовленные из теплоустойчивых рулонированных сталей марок: 12ХГНМ, 12ХГНМФ, 15ХГНМФТ.

Сварные соединения, выполненные ЭШС, независимо от марки стали и толщины свариваемых элементов, должны подвергаться нормализации или закалке с отпуском по режиму для основного металла.

Объёмной термической обработке после сварки продольных швов подвергаются:

- 1) монолитные обечайки, в том числе и центральные обечайки рулонированных элементов, штуцера, патрубки, изготовленные вальцовкой из углеродистых и кремнемарганцовистых сталей с плакирующим слоем или без него, если толщина стенки превышает 30 мм.

- 2) центральные обечайки независимо от диаметра и толщины стенки при отсутствии доступа вовнутрь рулонированных сосудов для осмотра и контроля продольных швов этих обечаек.

Термическая обработка необходима для коррозионностойких сталей (в том числе и двухслойных), в виде стабилизирующего отжига или аустенизации, эксплуатируемых при температуре свыше 350°C в средах, вызывающих межкристаллитную коррозию или коррозионное растрескивание.

Приварка внутренних и наружных устройств к корпусам сосудов, подвергаемых термической обработке, должна производиться до термической обработки.

Число высокотемпературных обработок (нормализация, закалка, отжиг) сварного соединения должно быть не более трёх, число отпусков не ограничивается.

При проведении термической обработки сварных соединений должны применяться меры, исключаящие деформацию элементов и корпусов сосудов под действием собственной массы.

5.7. Контрольная сборка рулонированного сосуда

Предприятие – изготовитель сосуда обязано выполнять его контрольную сборку, после которой проводят гидравлические испытания сосуда.

Корпус сосуда в горизонтальном положении собирают с крышками, фланцами, другими съёмными элементами, в разъёмы устанавливают металлические прокладки (обтюраторы) и фиксируют крепёжными деталями (шпильками). Резьбовые соединения, опорные поверхности гайка-шайба, уплотнительные поверхности прокладок (обтюраторов), корпусов, крышек смазывают противозадирными смазками ВНИИНП – 239 ($t_{\text{раб.}}$ до 100°C), ВНИИНП – 269 ($t_{\text{раб.}}$ до 350°C).

Аппарат в собранном виде помещается на стенд для гидравлических испытаний таким образом, чтобы он занимал устойчивое положение и был обеспечен доступ для осмотра наружной поверхности. ▮

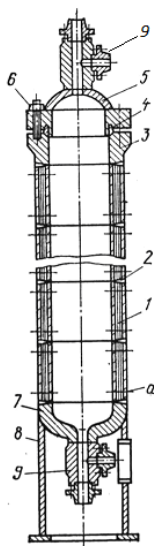


Рис. 48. Рулонированный сосуд высокого давления (СВД)

На рис. 48 показан рулонированный сосуд высокого давления в сборе. Типовая конструкция аппарата включает ряд рулонированных обечайек 1, сваренных между собой кольцевыми стыковыми соединениями 2, фланца 3 и днища 7. У торцов каждой рулонированной обечайки имеются дренажные отверстия 10, которые во время эксплуатации служат для выхода диффундирующего водорода, а при наплавке торцов – для выхода газов, контроля целостности центральной обечайки или футеровки внутренней полости сосуда как при эксплуатации, так и для обнаружении течи при гидроиспытаниях.

Съёмная крышка 5 соединяется с фланцем 3 шпильками 6 с шайбами и гайками. Герметичность соединения обеспечивается obtюратором 4. Сосуд снабжается технологическими штуцерами 9 и устанавливается на опору 8. Внутренняя поверхность корпуса при необходимости защищается от воздействия агрессивной рабочей среды коррозионностойким металлическим слоем – футеровкой.

5.8. Подготовка РСВД к гидравлическим испытаниям

Все промышленные сосуды и аппараты химических производств, предназначенные для работы под давлением более 0,07 МПа, после изготовления должны подвергаться гидравлическим испытаниям пробным давлением – $P_{пр}$.

Многослойные рулонированные сосуды после изготовления до проведения испытаний пробным давлением однократно подвергаются гидравлической опрессовке повышенным давлением:

$$P_{\text{опр.}} = 1,25 P [\sigma]_{20} / [\sigma]_t,$$

где P – расчётное давление, МПа;

$[\sigma]_{20}$, $[\sigma]_t$ – допускаемые напряжения для материала стенки корпуса или его элементов при 20°C и расчётной температуре t .

Исследования на промышленных сосудах показали, что при нагружении рулонированных сосудов внутренним давлением в зоне сварных швов имеют место локальные всплески напряжений в кольцевом и осевом направлениях как на внутренней, так и наружной поверхностях. Это объясняется действием дополнительных изгибающих моментов, возникающих на стыке жёсткого кольцевого шва и более податливой многослойной обечайки.

Опрессовкой сосудов при повышенном давлении позволяет снизить пики изгибных локальных напряжений за счёт их перераспределения вследствие местного упругопластического деформирования металла и повышения плотности навивки в зонах, где эти неплотности между слоями имеются, существенно снижается уровень остаточных сварочных напряжений в толсто-стенных кольцевых швах.

Правильно выбранное давление опрессовки вызывает пластическую деформацию внутренней части стенки СВД, сохраняя упругие свойства его наружной части [15], [16].

Значение давления опрессовки $P_{\text{опр.}}$ для многослойных рулонированных сосудов, у которых имеется доступ к сварным соединениям центральной обечайки (первая группа сосудов), определяется по формуле:

$$P_{\text{опр.}} = 2S / D_n \times \sigma_T^{20},$$

где S – общая толщина стенки (центральная обечайка, навивка, кожух) сосуда, МПа;

D_n – наружный диаметр сосуда, мм;

σ_T^{20} – средний предел текучести материала стенки сосуда при температуре 20°C.

Средний предел текучести определяется по формуле:

$$\sigma_T^{20} = \sigma_T^u u_T S_u + \sigma_T^H S_H + \sigma_T^K S_K / S,$$

где σ_T^u , σ_T^H и σ_T^K – нормальные пределы текучести материалов центральной обечайки, навивки (слоёв), наружного кожуха, МПа;

$S_{\text{ц}}, S_{\text{н}}, S_{\text{к}}$ – толщины центральной обечайки, наливки и кожуха, мм.

В двухслойных сталях плакирующий слой учитывается как слагаемое.

Многослойные рулонированные сосуды с внутренними устройствами (вторая группа СВД), не обеспечивающие доступ к сварным соединениям центральных обечаек, должны подвергаться гидравлическому испытанию повышенным давлением опрессовки, определяемым по формуле:

$$P_{\text{опр.}} = 1,375 \sigma_T^{20} / \sigma_T^t \times P,$$

где σ_T^{20} , σ_T^t – средние пределы текучести материала стенки обечайки при температуре 20°C и расчётной температуре;

P – расчётное давление, МПа.

5.9. Гидравлические испытания аппарата

Гидравлические испытания следует проводить при температуре стенки сосуда, исключающей возможность хрупкого разрушения, горячей водой нагретой до 70 – 90°C. Контроль температуры ведётся с помощью измерительных устройств, установленных на дне дренажных отверстий не менее чем у трёх рулонированных обечаек, расположенных в середине корпуса.

Давление в испытуемом корпусе следует повышать и понижать плавно со скоростями не более 1,0 МПа/мин.

При давлении опрессовки сосуд выдерживается в течение трёх часов, затем давление снижается до пробного и выдерживается в течение одного часа. После снижения давления до расчётного должен производиться тщательный внешний осмотр в доступных местах всех сварных соединений и прилегающих к ним участков корпуса.

РСВД признаются выдержавшими гидравлическое испытание, если при наблюдении не было обнаружено: видимого падения давления по манометрам; пропуска жидкости через контрольные отверстия (дренажные), сварные швы и уплотнения; потения стенок.

После гидравлических испытаний сосуд вскрывают, протирают насухо, измеряют внутренний диаметр каждой рулонированной обечайки в двух взаимно перпендикулярных плоскостях и сравнивают эти значения с замерами, выполненными до опрессовки. Увеличение внутреннего диаметра не должны превышать 0,6% (как показал опыт, превышения диаметра бывает не более чем на 0,2%). Если в нормативно-технической документации есть указания, то проводят контроль сварных соединений магнитопорошковой или цветной дефектоскопией.

Во избежание травмирования обслуживающего персонала во время подъёма давления до пробного в течение времени выдержки под давлением, обозначается опасная зона на расстоянии не менее 10 м от аппарата.

6. Контроль качества изготовления сосудов и аппаратов химических производств и стальных конструкций

В процессе изготовления деталей, сборочных единиц строительных и технологических конструкций необходимо осуществлять систематический контроль качества выполненных работ, который заключается в организации и проведении предварительного контроля, послеоперационного и контроля готовых изделий.

При предварительном контроле подлежат проверке квалификация сварщиков, термистов, дефектоскопистов; качество сварочных материалов; наличие утверждённых технологических процессов; состояние сварочного оборудования; сборочно-сварочных приспособлений, термического оборудования, приборов для дефектоскопии.

При пооперационном контроле проверяют:

- 1) соответствие марки материала свариваемых деталей и сварочных материалов требованиям чертежа и технических условий на изготовление;
- 2) качество подготовки материалов для сварки;
- 3) качество сборки элементов перед сваркой;
- 4) режимы предварительного и сопутствующего подогревов для сварки, последующей термообработки.

Готовые сварные соединения и изделия проверяют на соответствие требованиям стандартов, технических условий и чертежам.

Результаты контроля заносятся в паспорт сосуда.

6.1. Контроль качества сварных соединений и наплавов

Студенты должны уяснить и запомнить, что все методы контроля сварных соединений проводятся, во-первых, на предприятиях, изготавливающих сварные металлоконструкции и химическую аппаратуру и, во-вторых, в процессе эксплуатации во время плановых освидетельствований изделий, производимых в соответствии с графиками.

6.1.1. Общие требования к качеству соединений сварных конструкций

Контроль качества сварных соединений должен производиться до нанесения антикоррозионных покрытий следующими методами:

- 1) визуальный и измерительный для всех видов швов в соответствии с таблицей 7 в объёме 100%;

- 2) ультразвуковой или радиографический для швов 1 и 2 типов в объёме 100%, 4 типа – 5%, и 5 и 6 типов – в объёме 1% – по результатам визуального осмотра и в местах пересечения швов;
- 3) механические испытания образцов, изготовленных из контрольных пластин, если есть указания в технических требованиях.

Сварные соединения, не удовлетворяющие требованиям к их качеству, должны быть исправлены и повторно проконтролированы.

6.1.2. Контроль качества сварных соединений сосудов

Сварные соединения сосудов и их элементов должны подвергаться контролю следующими методами:

- 1) внешним осмотром (визуально) и измерениями;
- 2) ультразвуковым (УЗК) или радиографическим;
- 3) проведением механических испытаний образцов;
- 4) проведением металлографических исследований;
- 5) измерением твёрдости;
- 6) капиллярной (цветной) дефектоскопией или магнитопорошковым методом (магнитография);
- 7) стилоскопированием;
- 8) испытанием на стойкость против межкристаллитной коррозии (МКК);
- 9) гидравлическими испытаниями;
- 10) другими методами (акустической эмиссии; люминесцентным; определением ферритной фазы (α – фазы и др.)), если они предусмотрены нормативными документами (НД).

Контроль изделия, сборочных единиц и сварных соединений должен выполняться после всех технологических операций, связанных с термической обработкой, деформированием и наклёпом металла.

Последовательность контроля отдельными методами должна соответствовать требованиям НД. Визуальный и измерительный контроль, а также стилоскопирование должны предшествовать другим методам.

Большинство перечисленных методов контроля выполняются непосредственно на сосудах или его элементах. Разрушающие методы контроля: механические испытания; металлографические исследования и испытания на МКК проводятся на образцах, вырезанных из контрольных пластин.

6.1.2.1. Визуальный и измерительный контроль

Этот вид контроля проводится с целью выявления дефектов выходящих на поверхность:

- трещин всех видов и направлений;
- пористости, свищей, раковин;

- подрезов;
- наплывов, прожогов, незаплавленных кратеров;
- смещений и совместных уводов кромок свариваемых элементов свыше норм;
- непрямолинейностей соединяемых элементов;
- несоответствия формы и размеров швов требованиям технических условий (смотри приложение).

Перед внешним осмотром поверхности сварного шва и прилегающих к нему участков основного металла шириной не менее 20 мм в обе стороны от шва должны быть очищены от шлака, брызг металла и других загрязнений. Это также необходимо для проведения последующей ультразвуковой дефектоскопии сварного соединения. При ЭШС очистке подвергаются участки металла шириной не менее 100 мм.

Осмотр и измерения сварных соединений должны производиться с наружной и внутренней стороны по всей протяжённости швов.

Визуальный и измерительный контроль проводят невооружённым глазом и с применением оптических приборов до 20 – кратного увеличения (лупы; микроскопы; эндоскопы; зеркала и т.п.).

Измерения проводят после осмотра или одновременно с ним. Для этих операций применяют:

- штрих-линейки измерительные металлические, рулетки;
- угольники поверочные 90° лекальные;
- штангенциркули, штангенрейсмасы, штангенглубиномеры;
- щупы;
- угломеры с нониусом;
- стенкомеры и толщиномеры, индикаторы часового типа;
- микрометры;
- нутромеры микрометрические (штихмасы) и индикаторные;
- калибры;
- шаблоны, в том числе специальные и универсальные (например, типа УШС), радиусные, резьбовые и др. (смотри приложение).

После проведения визуального и измерительного контроля составляются акты.

Дефекты, выявленные при контроле, должны быть устранены.

6.1.2.2. Физические методы контроля

Ультразвуковая дефектоскопия (УЗК) и рентгенографический контроль производятся с целью выявления в сварных соединениях внутренних (скрытых) дефектов: трещин, непроваров, пор, шлаковых и металлических включений (сколов вольфрама) и др.

К контролю сварных соединений физическими методами допускаются только специалисты – дефектоскописты, прошедшие подготовку и аттестацию.

Каждый из физических методов контроля или их сочетания выбирается исходя из возможности обеспечения более полного и точного выявления невидимых дефектов.

Объём контроля физическими методами стыковых, угловых, тавровых и нахлесточных соединений должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 20.

Таблица 20.

Объём контроля сварных соединений физическими методами

Группа сосуда	Длина контролируемых сварных соединений от общей длины, %
1	100
2	100
3	не менее 50
4; 5а	не менее 25
5б	не менее 10

Примечание. Места пересечения сварных соединений подлежат обязательному контролю

Для сосудов 3,4 и 5 групп места контроля устанавливаются по результатам визуального контроля отделом технического контроля предприятия – изготовителя сосудов.

Перед контролем соответствующие участки шва должны быть замаркированы так, чтобы их можно было легко обнаружить на картах УЗК и радиографических снимках.

При обнаружении недопустимых дефектов в сварных соединениях подвергнутых УЗК и радиографическому контролю в объёме менее 100% (для сосудов 3,4 и 5 групп), обязательному контролю тем же методом подлежат однотипные швы изделия, выполненные данным сварщиком, по всей длине соединения.

Сварные соединения сосудов, снабжённых быстросъёмными крышками, подлежат контролю физическими методами в объёме 100%.

6.1.2.3. Стилоскопирование сварных соединений

Стилоскоп – спектроскоп для быстрого качественного анализа химического состава сталей и сплавов визуальным наблюдением спектров излучения легирующих элементов.

Контроль стилоскопированием должен проводиться с целью подтверждения соответствия легирования металла деталей, сварных швов и наплавов требованиям чертежа и нормативной документации (НД).

В процессе стилоскопирования следует определять в металле шва наличие хрома, молибдена и др. элементов, определяющих марку использованных сварочных материалов.

Стилоскопированию подвергаются:

- все свариваемые детали (части конструкций), которые по чертежу должны изготавливаться из легированных сталей;
- металл шва всех сварных соединений и наплавов;
- сварочные материалы (каждая партия электродов, порошковой проволоки, каждая бухта легированной сварочной проволоки).

При проведении стилоскопирования металла швов устанавливают следующий объем контроля:

- каждый сварной шов в одной точке через 2 метра длины шва;
- наплавку не менее чем в одной точке;
- места исправления дефектов сварного соединения.

В случае получения неудовлетворительных результатов стилоскопирование проводится на удвоенном количестве точек. Отрицательный результат в этом случае требует выбраковки сварного соединения.

6.1.2.4. Механические испытания

Механическим испытаниям подвергаются образцы сварных соединений с целью проверки соответствия их механических свойств, требованиям стандартов или технических условий.

Обязательные виды механических испытаний:

- на статическое растяжение – для всех групп сосудов;
- на статический изгиб или сплющивание – для всех групп сосудов;
- на ударный изгиб – для сосудов, работающих под давлением более 5,0 МПа (50 кгс/см²) или температуре выше 450°C, и сосудов, изготовленных из сталей, склонных к подкалке при сварке;
- на ударный изгиб для сосудов 1, 2 и 3 групп, предназначенных для работы при температуре ниже 20°C.

Контроль механических свойств, металлографические исследования, испытания на стойкость к МКК должны проводиться на образцах, изготовленных сваркой из контрольных пластин и контрольных стыков трубчатых элементов сосудов.

Контрольные сварные соединения должны воспроизводить одно из стыковых соединений сосуда, определяющих его прочность.

Контрольные сварные соединения должны быть идентичны контролируемым производственным сварным соединениям (по марке стали, толщине

листа или размерам труб, форме разделки кромок, методу сварки, сварочным материалам, положению шва режимам и температуре нагрева, термообработке) и выполнены тем же сварщиком и на том же сварочном оборудовании в одно и тоже время с контролируемым объектом.

При сварке контрольных соединений (пластин) их следует прихватывать к свариваемым элементам сосуда (торцам обечаек) так, чтобы шов контрольных пластин являлся продолжением шва свариваемого изделия. Это является обязательным при механизированной сварке под слоем флюса.

Если прихватка контрольных пластин к изготавливаемому сосуду невозможна, то сварка контрольных пластин может производиться отдельно, но с соблюдением всех условий сварки контролируемого изделия.

Размеры контрольных пластин должны быть достаточными для изготовления из них образцов для всех видов испытаний и исследований, а также для повторных испытаний.

Контрольные сварные соединения до изготовления из них образцов должны подвергаться УЗК или радиографическому контролю по всей длине. Если при этом будут обнаружены недопустимые дефекты, то все производственные сварные соединения подвергают физическим методам контроля по всей длине.

Из каждого стыкового соединения должно быть изготовлено:

- два образца на статическое растяжение;
- два образца для испытания на статический изгиб;
- три образца для испытания на ударный изгиб.

Испытания на статический изгиб для контрольных стыков трубных элементов сосудов с диаметром условного прохода менее 100 мм и толщиной стенки менее 12 мм могут быть заменены испытанием на сплющивание.

Временное сопротивление разрыву металла швов при температуре 20°C должно соответствовать значениям, установленным в нормативной документации на основной металл.

Испытания образцов на ударный изгиб производятся с надрезом по оси шва со стороны его раскрытия. Испытания проводятся на образцах типа KCU или KCV.

Испытания на ударный изгиб сварных соединений из сталей аустенитного класса не производятся.

При получении неудовлетворительных результатов по каким-либо видам механических испытаний допускается проведение повторного испытания на удвоенном количестве образцов, вырезанных из того же контрольного соединения, по тому виду испытаний, которые дали неудовлетворительные результаты. Если при повторном испытании будут получены неудовлетворительные результаты, хотя бы на одном образце, сварное соединение считается непригодным.

6.1.2.5. Металлографические исследования

Металлографические исследования проводятся с целью обнаружения в сварных соединениях внутренних дефектов: трещин, непроваров, пор, шлаковых включений и др., а также для выявления структуры металла, отрицательно влияющей на свойства сварных соединений.

Металлографическим исследованиям необходимо подвергать стыковые соединения сосудов:

- 1, 2, 3 групп, работающих под давлением более 5,0 МПа (50 кгс/см²) или при температуре ниже минус 40°C;

- 1, 2 групп, работающих при температуре выше 450°C;

- из сталей, склонных к термическому воздействию (марок: 12ХМ, 12МХ, 15Х5М и др.), из сталей аустенитного класса без ферритной фазы (марок: 06ХН28МДТ, 08Х17Н16М3Т и др.) и из двухслойных сталей.

Металлографические исследования допускается не производить для сосудов с толщиной стенки до 20 мм, изготовленных из сталей аустенитного класса.

Образцы для металлографических исследований (шлифы) вырезаются поперёк шва и включают всё сечение шва, обе зоны термического влияния сварки и, прилегающие к ним, участки основного металла.

При получении неудовлетворительных результатов исследований допускается проведение повторных на двух образцах, вырезанных из того же контрольного соединения. В случае получения неудовлетворительных результатов швы считаются дефектными.

Если при металлографических исследованиях в контрольном сварном соединении, даже проверенным УЗК или радиографическими методами, будут обнаружены недопустимые дефекты, то все производственные сварные соединения, выполненные конкретным сварщиком и проверенные данным дефектоскопистом, подлежат 100% проверке тем же методом дефектоскопии, но более квалифицированным дефектоскопистом.

6.1.2.6. Измерение твёрдости металла

Измерение твёрдости металла шва сварного соединения проводится в целях проверки качества выполнения его термообработки.

Измерению твёрдости подлежит металл шва сварных соединений, выполненных из легированных теплоустойчивых сталей перлитного и мартенсито-ферритного классов методом и в объёме, установленными нормативной документацией.

6.1.2.7. Цветная (капиллярная) и магнитопорошковая дефектоскопия

Капиллярный и магнитопорошковый контроль являются дополнительными методами контроля сварных соединений в целях определения поверхностных или подповерхностных дефектов.

Этими методами дефектоскопии следует контролировать швы, недоступные для осуществления контроля УЗК или радиографическим методом. Цветная дефектоскопия, например. Используется для контроля несплавления между отдельными валиками и слоями при механизированной сварке под слоем флюса элементов сосудов высокого давления до наплавления следующего слоя многослойного шва.

Эти методы контроля применяются также для проверки сварных соединений сталей, склонных к образованию трещин при сварке.

Цветную или магнитопорошковую дефектоскопии сварных соединений проводят в соответствии с ГОСТ 18442-80 и ГОСТ 21105-87.

6.1.2.8. Гидравлические испытания сосудов

Гидравлические испытания – проверка прочности и плотности металла сосуда и сварных соединений. На герметичность проверяются и разъёмные соединения.

Гидравлическому испытанию подвергаются все сосуды после их изготовления. Сосуды, имеющие наружный кожух, защитное покрытие (футеровку) или тепловую изоляцию подвергаются контролю до наложения покрытий. Допускается подвергать гидравлическому испытанию эмалированные сосуды рабочим давлением после нанесения эмали.

Гидравлические испытания следует проводить с крепежом и прокладками, предусмотренными проектом.

Пробное давление $P_{пр}$ при гидравлическом испытании для сварных сосудов определяется по формуле:

$$P_{пр} = 1,25 P_p [\sigma]_{20} / [\sigma]_t,$$

где P_p – расчётное давление, МПа;

$[\sigma]_{20}$ и $[\sigma]_t$ – допускаемые напряжения для материала при 20°C и расчётной температуре t соответственно.

Отношение $[\sigma]_{20} / [\sigma]_t$ принимается по тому из используемых материалов элементов сосуда ((обечайки, днища, фланцы, крепёж, патрубки и др.), для которого оно является наименьшим.

Предельное отклонение значений пробного давления не должно превышать $\pm 5\%$.

Гидравлические испытания сосудов, устанавливаемых вертикально, допускается проводить в горизонтальном положении при обеспечении прочности корпуса сосуда при его укладке на опоры в процессе испытания. Пробное давление в этом случае следует принимать с учётом гидростатического давления столба жидкости в сосуде в процессе эксплуатации.

Для гидравлических испытаний следует использовать воду. Температура воды принимается не ниже температуры критической хрупкости материалов сосуда и указывается в проекте. При отсутствии указаний температура воды должна быть от 5° до 40°С и выбирается такой, чтобы во время испытаний не происходила конденсация влаги из воздуха на стенке аппарата.

При заполнении сосуда водой из его полости должен быть удалён воздух через специальный штуцер (воздушник). Давление воды в сосуде следует поднимать плавно до достижения пробного. Скорость подъёма давления не должна превышать 0,5 МПа в минуту.

Время выдержки при пробном давлении должно быть не менее, указанного в таблице 21.

Таблица 21.

Время выдержки сосуда под пробным давлением
при гидравлическом испытании

Толщина стенки сосуда, мм	Время выдержки, мин
До 50	10
Свыше 50 до 100	20
Свыше 100	30
Для многослойных, литых и неметаллических независимо от толщины стенки	60

После выдержки под пробным давлением оно снижается до расчётного, при котором проводится осмотр наружной поверхности сосуда, сварных и разъёмных соединений.

Обстукивание стенок корпуса, сварных и разъёмных соединений сосуда во время испытания не допускается.

Сосуд считается выдержавшим гидравлическое испытание, если не обнаружилось:

- падение давления по манометрам;
- течи в разъёмных соединениях;
- разрывов, трещин, слёзок, потения в сварных соединениях и на основном металле;
- видимых остаточных деформаций.

Слёзки, потение на основном металле свидетельствует о его неплотности, то есть – проницаемости.

Сосуд и его элементы, в которых при испытании выявлены дефекты, после их устранения подвергается повторным гидравлическим испытаниям.

Гидравлическое испытание допускается заменить пневматическим при условии контроля этого испытания методом акустической эмиссии. Пневматические испытания должны проводиться по инструкции, предусматриваю-

щей необходимые меры безопасности. Пневматические испытания проводятся воздухом или инертным газом.

6.1.2.9. Исправление дефектов в сварных соединениях

Сварные соединения с недопустимыми дефектами подлежат исправлению. Исправление одного и того же дефектного места допускается не более трёх раз, а на аустенитных сталях не более двух раз, после чего шов бракуется.

Удаление дефектов следует проводить механическим способом (со снятием стружки резцами или абразивными инструментами) с обеспечением плавных переходов в местах выборок металла. Допускается для удаления дефектов в монолитных сварных соединениях из углеродистых и кремнемарганцовистых сталях использовать воздушно-дуговую строжку, с последующей механической обработкой поверхности реза на глубину не менее 1,5 мм. Полнота удаления дефекта должна быть проверена визуально и методами капиллярной или магнитопоршковой дефектоскопии, либо травлением.

Отремонтированные дефектные участки шва должны быть подвергнуты тем же видам контроля, что и сварные соединения.

Список литературы

1. ГОСТ 29273-92 Свариваемость.
2. ГОСТ 2601-87 Сварка металлов.
3. ГОСТ 5264-80 Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы. Конструктивные элементы и размеры.

4. ГОСТ 8713-79 Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы, размеры.
5. ГОСТ 11533-75 Автоматическая и полуавтоматическая дуговая сварка под флюсом. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
6. ГОСТ 11534-75 Ручная дуговая сварка. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
7. ГОСТ 14771-76 Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
8. ГОСТ 23518-79 Дуговая сварка в защитных газах. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
9. СП 16. 13330. 2011 Стальные конструкции. Москва. 2011. – 172 с.
10. СНиП 2.03.11-85 Защита строительных конструкций от коррозии.
11. ПБ 03-576-03 Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. Москва. 2007. – 77 с.
12. ГОСТ Р 52630-2006 Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия.
13. Лукьяница А.И., Сафонов Б.П. Основные правила проектирования сосудов и аппаратов химических производств. Учебное пособие. Новомосковск, 2012. – 120 с.
14. ГОСТ 6533-78 Днища эллиптические отбортованные стальные. Основные размеры.
15. Макаров В.М., Зисельман Б.Г. Рулонированные сосуды высокого давления. М. Машиностроение, 1985. – 240 с.
16. ОСТ 24.201.03-90. Сосуды и аппараты стальные высокого давления. Общие технические требования
17. Сухотин А.М., Зотиков В.С. Химическое сопротивление материалов: Справочник. Л. Химия, 1975, – 408 с.
18. Лашинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник. Л. Машиностроение, 1981, – 383 с.
19. Антикайн Л.А., Зыков А.К. Изготовление объектов котлонадзора. М. Металлургия, 1980, – 320 с.
20. Поплавский Ю.В. Технология химического аппаратостроения. М. Машгиз. 1961, – 287 с.
21. Никифоров А.Д., Беленький В.А., Поплавский Ю.В. Типовые технологические процессы изготовления аппаратов для химических производств. Атлас. Учебное пособие для ВУЗов. М. Машиностроение. 1079. – 280 с.
22. Справочник сварщика. Под ред. В.В. Степанова. – Машиностроение. 1982. – 560 с.

23. Должанский П.Р. Контроль надежности металла объектов котлонадзора. Справочное пособие. – М. Недра. 1985, – 263 с.
24. Корольков П.М, Нахапетов М.В. Современные методы термической обработки сварных соединений: Учебное пособие для сред. ПТУ – М. Высшая школа. 1987, – 112 с.
25. Механизация технологических процессов изготовления химических машин и аппаратов. М. Машиностроение. 1978, – 159 с.
26. Рыморов Е.В. Новые сварочные приспособления. – Л. Стройиздат. Ленинградское отд. – 125 с.
27. Электроды для ручной дуговой сварки в химическом аппаратостроении. Учебное пособие для студентов дневной и заочной формы обучения по специальности «Машины и аппараты химических производств» / ГОУ ВПО РХТУ Д.И. Менделеева. Новомосковский институт (ф-л). Составители: Лукьяница А.И., Козлов А.М., Афанасьева Г.А. Новомосковск. 2009 – 52 с.
28. Хромченко Ф.Д. Справочное пособие электросварщика. – М.: Энергоатомиздат. 1989. – 144

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

1.1. Извлечения из ГОСТ 5264-80

Таблица 22

Размеры, мм

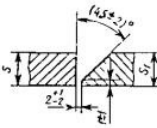
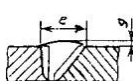
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		$s = s_1$	b		G			
	подготавливаемых кромок свариваемых деталей	сварного шва		Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.		
С8			От 3 до 5	8	+0,5	1,0	±0,5		
			Св. 5 до 8	12	±2	0,5	±1,5 -0,5		
			Св. 8 до 11	16					
			Св. 11 до 14	20					
			Св. 14 до 17	24					
			Св. 17 до 20	28	±3		+2,0 -0,5		
			Св. 20 до 24	32					
			Св. 24 до 28	35					
			Св. 28 до 32	38					
			Св. 32 до 36	41					
			Св. 36 до 40	44					
			Св. 40 до 44	49					
			Св. 44 до 48	53	±4				
			Св. 48 до 52	56					
			Св. 52 до 56	60					
			Св. 56 до 60	64					

Таблица 23

Размеры, мм

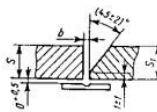
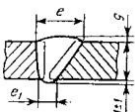
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		$s = s_1$	$b \pm 1$	e		$e_1 \pm 2$	G		
	подготавливаемых кромок свариваемых деталей	сварного шва			Номин.	Пред. откл.		Номин.	Пред. откл.	
С9			От 3 до 5	3	10	±2	4	0,5	+1,5 ±0,5	
			Св. 5 до 8		14					
			Св. 8 до 11	4	18					
			Св. 11 до 14		22					
			Св. 14 до 17	5	26	±3	6			
			Св. 17 до 20		30					
			Св. 20 до 24		34					
			Св. 24 до 28		38					
			Св. 28 до 32		41		8			
			Св. 32 до 36		44					
			Св. 36 до 40		49					
			Св. 40 до 44		53					
			Св. 44 до 48		56	±4				
			Св. 48 до 52		60					
			Св. 52 до 56		64					
			Св. 56 до 60		68					

Таблица 24

Размеры, мм

Условное обозначение	Конструктивные элементы	$s = s_1$	E	G
----------------------	-------------------------	-----------	-----	-----

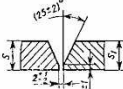
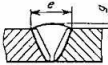
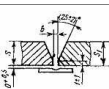
ние свар- ного со- единения	подготовлен- ных кромок свариваемых деталей	сварного шва		Но- мин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	
C17			От 3 до 5	8	±2	0,5	+1,5 -0,5	
			Св.5 до 8	12				
			Св.8 до 11	16				
			Св.11 до 14	19				
			Св.14 до 17	22				
			Св.17 до 20	26				
			Св.20 до 24	30	±3		+2,0 -0,5	
			Св.24 до 28	34				
			Св.28 до 32	38				
			Св.32 до 36	42				
			Св.36 до 40	47				
			Св.49 до 44	52				
			Св.44 до 48	54	±4			
			Св.48 до 52	56				
			Св.52 до 56	60				
			Св.56 до 60	65				

Таблица 25

Размеры, мм

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		$s = s_1$	$b \pm 1$	E		$e_1 \pm 1$	G	
	подготовленных кромок свариваемых деталей	сварного шва			Номин.	Пред. откл.		Номин.	Пред. откл.
C18			От 3 до 5 Св.5 до 8 Св.8 до 11 Св.11 до 14 Св.14 до 17 Св.17 до 20 Св.20 до 24 Св.24 до 28 Св.28 до32 Св.32 до36 Св.36 до 40 Св.40 до 44 Св.44 до 48	3 					

			Св.48 до 52		60	±4			
			Св.52 до 56		63				
			Св.56 до 60		68				

Таблица 26

Размеры, мм

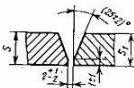
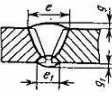
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		$s = s_1$	e		$e_{\pm 2}$	$g = g_1$	
	подготовленных кромок свариваемых деталей	сварного шва		Номин.	Пред. откл.		Номин.	Пред. откл.
C21			От 3 до 5	8	±2	8	0,5	+1,5 -0,5
			Св.5 до 8	12				
			Св.8 до 11	16				
			Св.11 до 14	19				
			Св.14 до 17	22				
			Св.17 до 20	26				
			Св.20 до 24	30				
			Св. 24 до 28	34	±3	10		+2,0 -0,5
			Св. 28 до 32	38				
			Св.32 до 36	42				
			Св.36 до 40	47				
			Св.40 до 44	52				
			Св.44 до 48	54				
			Св.48 до 52	56	±4	12		
			Св.52 до 56	60				

Таблица 27

Размеры, мм

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		$s = s_1$	$c + 2 - 1$	$h + 2 - 1$	$f + 2 - 1$	e		$e_{\pm 2}$	$g = g_1$	
	подготовленных кромок свариваемых деталей	сварного шва					Номин.	Пред. откл.		Номин.	Пред. откл.
C 45			От 8 до 11	4	6	12	14	±2	18	0,5	+1,5 -0,5
			Св. 11 до 14				16				
			Св.14 до 17				20				

			Св.17 до 20	7	9	14	24	±3	20	+2,0 -0,5
			Св.20 до 24				27			
			Св.24 до 28				30			
			Св.28 до 32				34			
			Св.32 до 36	10	12	16	36		22	
			Св.36 до 40				38			
Размеры, мм										

Таблица 28

Условное обозначение сварного элемента	Конструктивные элементы		$s = s_1$	$h \pm 1$	e		G	
	подготовлен-ных кромок свариваемых деталей	сварного шва			Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.
С27			От 30 до 34	8	17	± 3	+ 2,0 - 0,5	
			Св. 34 до 38		18			
			Св. 38 до 42		20			
			Св. 42 до 46		21			
			Св. 46 до 50		22			
			Св. 50 до 54		23			
			Св. 54 до 60		25			
			Св. 60 до 66	12	28	± 4	0,5	
			Св. 66 до 72		30			
			Св. 72 до 78		32			
			Св. 78 до 84		34			
			Св. 84 до 90		36			
			Св. 90 до 96		38			
			Св. 96 до 100		40			
			Св. 100 до 108		42			
			Св. 108 до 116	20	44	± 5	+ 3,0 - 0,5	
			Св. 116 до 124		46			
			Св. 124 до 132		50			
			Св. 132 до 140		54			
			Св. 140 до 148		57			
			Св. 148 до 156		60			
			Св. 156 до 164		64			
			Св. 164 до 170		68			
			Св. 170 до 175		72			

Таблица 29

Размеры, мм

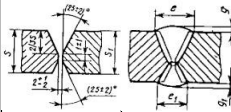
Условное обозначе- ние свар- ного эле- мента	Конструктивные элементы		$s=s_1$	e		e_1		$g=g_1$		
	подготов- ленных кромки сваривае- мых дета- лей	сварного шва		Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	
С39			От 12 до 14	16	± 2	11	± 2	0,5	+ 1,5 - 0,5	
			Св. 14 до 17	18	± 3	12			± 3	+ 2,0 - 0,5
			Св. 17 до 20	20		13				
			Св. 20 до 24	22		14				
			Св. 24 до 28	25		16				
			Св. 28 до 32	28		18				
			Св. 32 до 36	30		20				
			Св. 36 до 40	32		22				
			Св. 40 до 44	35		24				
			Св. 44 до 48	38		25				
			Св. 48 до 52	41		26				
			Св. 52 до 56	44		27				
			Св. 56 до 60	47		28				
			Св. 60 до 64	49	± 4	29	± 3		+ 3,0 - 0,5	
			Св. 64 до 70	51		30				
			Св. 70 до 76	53		31				
			Св. 76 до 82	55		32				
			Св. 82 до 88	57		33				
			Св. 88 до 94	60		34				
			Св. 94 до 100	63		35				
			Св. 100 до 106	66		36				
			Св. 106 до 112	69		38				
			Св. 112 до 118	72		40				
			Св. 118 до 120	75		42				

Таблица 30

Размеры, мм

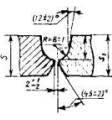
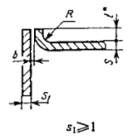
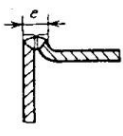
Условное обозначение сварного элемента	Конструктивные элементы		$s=s_1$	e		e_1		$g=g_1$	
	подготовлен- ных кромок свариваемых деталей	сварного шва		Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.
C40			От 12 до 14	20	± 2	10	± 2	0,5	+ 1,5 - 0,5
		Св. 14 до 17	22	± 3	11	+ 2,0 - 0,5			
		Св. 17 до 20	23		12				
		Св. 20 до 24	24		13				
		Св. 24 до 28	25		14				
		Св. 28 до 32	26		15				
		Св. 32 до 36	27		16				
		Св. 36 до 40	28		18				
		Св. 40 до 44	29		20				
		Св. 44 до 48	30		21				
		Св. 48 до 52	31		23				
		Св. 52 до 56	32		25				
		Св. 56 до 60	33		27				
		Св. 60 до 64	34	± 4	29		± 3	+ 3,0 - 0,5	
		Св. 64 до 70	36		30				
		Св. 70 до 76	38		31				
		Св. 76 до 82	40		32				
		Св. 82 до 88	42		34				
		Св. 88 до 94	44		36				
		Св. 94 до 100	47		38				
		Св. 100 до 106	50		40				
		Св. 106 до 112	52		42				
		Св. 112 до 118	54		44				
		Св. 118 до 120	56		46				

Таблица 31

Размеры, мм

Условное обозначение свар-	Конструктивные элементы		s	b		R	i	e , не более

ного со- единения	подготовлен- ных кромок свариваемых деталей	сварного шва		Номин.	Пред. откл.			
У1			От 1 до 2	0	+ 0,5	От s до 2s	От s До 3s	2s+3
			Св. 2 до 4		+ 1,0			

* Размер для справок.

Таблица 32

Размеры, мм

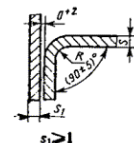
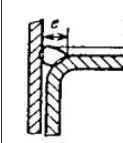
Условное обозначе- ние сварива- емого со- единения	Конструктивные элементы		s	R	e, не бо- лее	G	
	подготовлен- ных кромок свариваемых деталей	сварного шва				Но- мин.	Пред. откл.
У2			От 1 до 2	От s до 2s	5	0	+ 1
			Св. 2 до 6		7		+ 2
			Св. 6 до 9		13		
			Св. 9 до 12		17		

Таблица 33

Размеры, мм

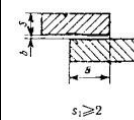
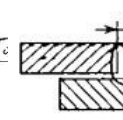
Условное обозначе- ние сварива- емого со- единения	Конструктивные элементы		s	B	B	
	подготовлен- ных кромок свариваемых деталей	сварного шва			Но- мин.	Пред. откл.
Н1			От 2 до 5	3 - 20	0	+ 1,0
			Св. 5 до 10	8 - 40		+ 1,5
			Св. 10 до 29	12 - 100		+ 2,0
			Св. 29 до 60	30 - 240		

Таблица 34

Размеры, мм

Условное обозначение свариваемого соединения	Конструктивные элементы		s	B	B	
	подготовленных кромок сварива- емых деталей	сварного шва			Но- мин.	Пред. откл.

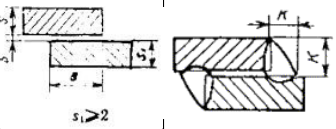
Н2			От 2 до 5	3 - 20	0	+ 1,0
			Св. 5 до 10	8 - 40		+ 1,5
			Св. 10 до 29	12 - 100		+2,0
			Св. 29 до 60	30 - 240		

Таблица 35.

Предел текучести свариваемой стали, МПа	Размеры, мм Минимальный катет углового шва для толщины более толстого из свариваемых элементов							
	От 3 до 4	Св.4 до 5	Св.5 до 10	Св.10 до 16	Св.16 до 22	Св.22 до 32	Св.32 до 40	Св.40 до 80
До 400	3	4	5	6	7	8	9	10
Св.400 до 450	4	5	6	7	8	9	10	12

Примечание. Минимальное значение катета не должно превышать 1,2 толщины более тонкого элемента.

Таблица 36.

Размеры, мм Катет углового шва для отношения временного сопротивления разрыву металла шва к временному сопротивлению разрыву основного металла				
1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
4	4	4	3	3
5	5	4	4	4
6	6	5	5	4
7	7	6	6	5
8	7	7	6	6
9	8	8	7	7
10	9	9	8	7
11	10	9	9	8
12	11	10	9	9
13	12	11	10	9
14	13	12	11	10
15	14	13	12	11
16	15	14	13	12
17	16	14	13	12
18	17	15	14	13
19	17	16	15	14

20	18	17	16	14
----	----	----	----	----

1.2.Дефекты проката

Трещины травильные	Разрывы, образовавшиеся при травлении металла с внутренними напряжениями, вызванными структурными превращениями, напряжениями или деформацией. Травильные трещины иногда образуют поверхностную сетку, подобную сетке шлифовочных трещин, но значительно более грубую
Рванины	Раскрытые разрывы, расположенные перпендикулярно или под углом к направлению наибольшей вытяжке металла
Прокатные плены	Отслоения металла языкообразной формы, соединенные с основным металлом и образованные вследствие раскатки или расковки рванин
Чешуйчатость	Отслоения или разрывы в виде сетки, образовавшиеся при прокатке из-за перегрева (пережога) или пониженной пластичности металла периферийной зоны
Прижоги	Дефекты, образующиеся при локальном перегреве металла (шлифование, электрохимическое клеймение, спектральный анализ) структурными концентраторами напряжений, в зоне которых может возникнуть растрескивание
Ус	Продольный выступ с одной стороны прутка или с двух диаметрально противоположных его сторон
Подрез	Продольное углубление по всей длине прутка или на отдельных участках его поверхности, образовавшееся из-за неправильной настройки валковой арматуры или одностороннего перекрытия калибра. Прокатный подрез может иметь волнистый или зазубренный край
Морщины	Группа чередующихся продольных углублений и выступов
Риска	Прямоугольное продольное углубление с закругленным или плоским дном, образовавшееся из-за царапания поверхности металла наварами и другими выступами
Отпечатки	Углубления или выступы, расположенные по всей поверхности металла или на отдельных его участках
Рябизна	Углубление от вдавленной окалины, образовавшееся при ковке, прокатке или правке металла с толстым слоем окалины
Заусенец	Острый в виде гребня выступ на конце прутка, образовавшийся при резке металла
Остатки окалины	Окалина, не удаленная с отдельных участков прутков
Перетрав	Местное или общее разъедание поверхности металла при травлении
Царапина	Канавка неправильной формы и произвольного направления, образовавшаяся в результате механических повреждений, в том числе при складировании и транспортировке металла

Раковины от вдавлившей окислы	Отдельные углубления, иногда частично вытянутые вдоль направления прокатки, образующихся при выпадении и вытравливании вкатанной окислы
Вкатанный кусок металла	Приварившийся кусок инородного металла к металлу основы

ПРИЛОЖЕНИЕ 2



Рисунок 2. 1. Стыковое соединение

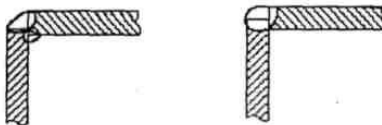


Рисунок 2. 2. Угловое соединение



Рисунок 2. 3. Нахлесточное соединение



Рисунок 2. 4. Тавровое соединение

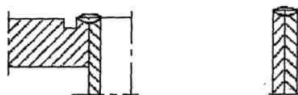


Рисунок 2. 5. Торцевое соединение

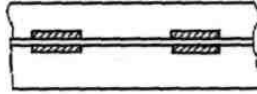


Рисунок 2. 6. Цепной прерывистый шов

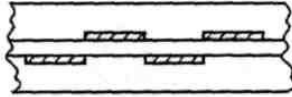


Рисунок 2. 7. Шахматный прерывистый шов



Рисунок 2. 8. Корень шва

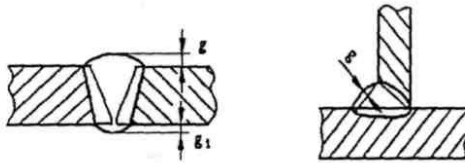


Рисунок 2. 9. Выпуклость сварного шва

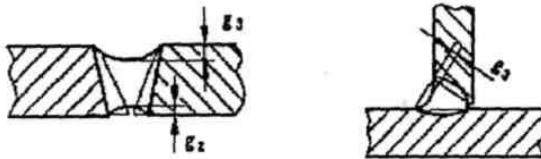


Рисунок 2. 10. Вогнутость сварного шва

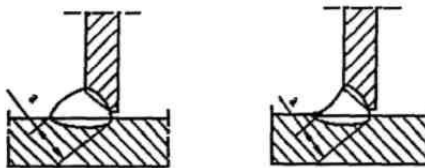


Рисунок 2. 11. Толщина углового шва

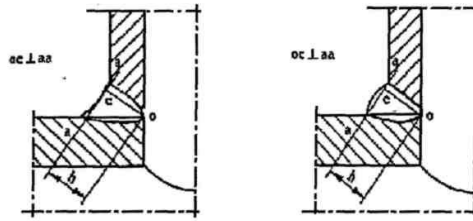


Рисунок 2. 12. Расчетная высота углового шва (Л) (расчетная высота двухстороннего углового шва определяется как сумма расчетных высот его частей, выполненных с разных сторон)



Рисунок 2. 13. Катет углового шва

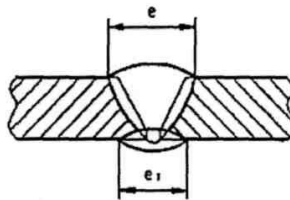


Рисунок 2. 14. Ширина сварного шва

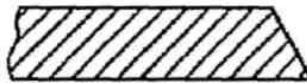
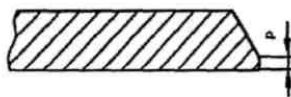


Рисунок 2. 15. Скос кромки



ПРИЛОЖЕНИЕ 3

В выполненном сварном соединении визуально следует контролировать:

- отсутствие (наличие) поверхностных трещин всех видов и направлений;
- отсутствие (наличие) на поверхности сварных соединений дефектов (пор, включений, скоплений пор и включений, отслоений, прожогов, свищей, наплывов, усадочных раковин, подрезов, непроваров, брызг расплавленного металла, западаний между валиками, грубой чешуйчатости, а также мест касания сварочной дугой поверхности основного материала);
- качество зачистки металла в местах приварки временных технологических креплений, гребенок индуктора и бобышек крепления термоэлектрических преобразователей (термопар), а также отсутствие поверхностных дефектов в местах зачистки;
- качество зачистки поверхности сварного соединения изделия (сварного шва и прилегающих участков основного металла) под последующий контроль неразрушающими методами (в случае, если такой контроль предусмотрен ПТД);
- наличие маркировки (клеймения) шва и правильность ее выполнения.

В выполненном сварном соединении измерениями необходимо контролировать:

- размеры поверхностных дефектов (поры, включения и др.), выявленных при визуальном контроле;
- высоту и ширину шва, а также вогнутость и выпуклость обратной стороны шва в случае доступности обратной стороны шва для контроля;
- высоту (глубину) углублений между валиками (западания межваликовые) и чешуйчатость поверхности шва;
- подрезы (глубину и длину) основного металла;
- отсутствие непроваров (за исключением конструктивных непроваров) с наружной и внутренней стороны шва;
- размеры катета углового шва;
- отсутствие переломов осей сваренных цилиндрических элементов.

Измеряемые параметры и требования к выполнению измерительного контроля сварных швов приведены на рисунках 3.1 и табл.3.1.

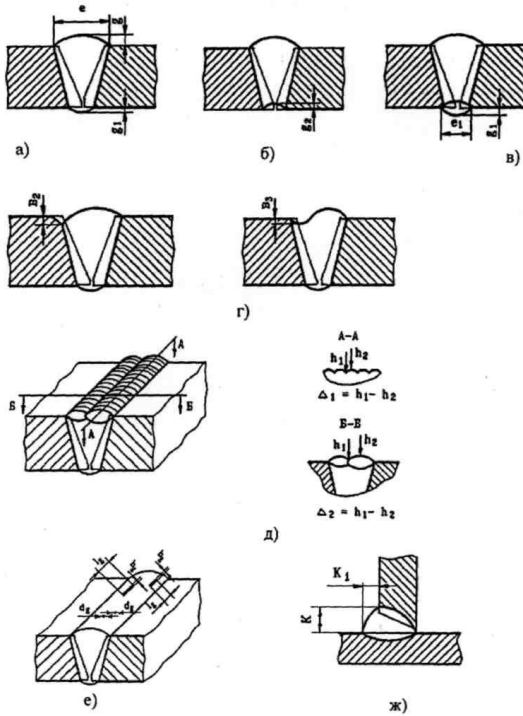


Рисунок 3.1. Конструктивные элементы, подвергающиеся измерениям: а), б) размеры (ширина, высота) стыкового одностороннего шва с наружной и внутренней стороны; в) то же двухстороннего сварного шва; г) подрез и неполное заполнение разделки кромок; д) чешуйчатость (A_1) шва и западание между валиками шва (A_2); е) размеры

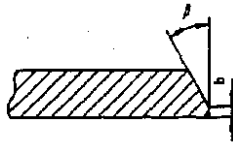


Рисунок 3. 2. Угол скоса кромки

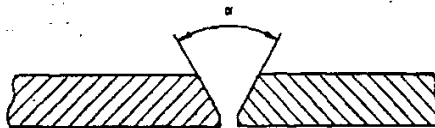


Рисунок 3. 3. Угол разделки кромок

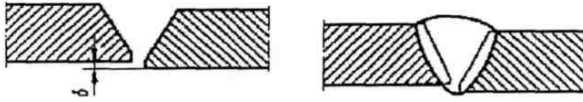


Рисунок 3. 4 Смещение кромок

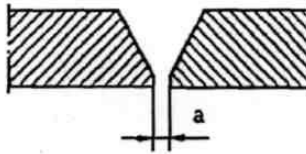


Рисунок 3. 5. Зазор в соединении

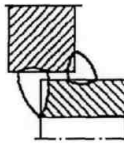


Рисунок 3. 6. Конструктивный непровар (зазор)

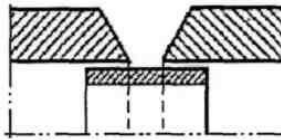


Рисунок 3. 7. Остающаяся подкладная пластина (кольцо)

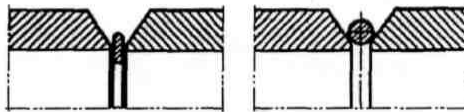


Рисунок 3. 8. Расплавляемая вставка

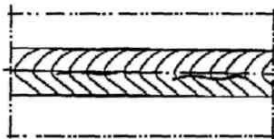


Рисунок 3. 9. Продольные трещины сварного соединения

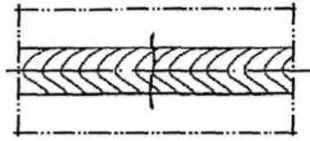


Рисунок 3. 10. Поперечная трещина сварного соединения

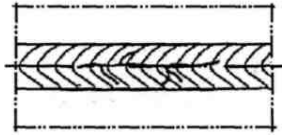


Рисунок 3. 11. Разветвленная трещина сварного соединения

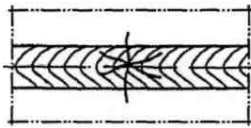


Рисунок 3. 12. Радиальные трещины сварного соединения

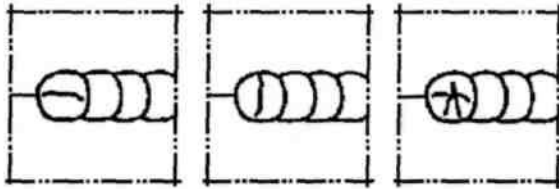


Рисунок 3. 13. Кратерные трещины сварного соединения

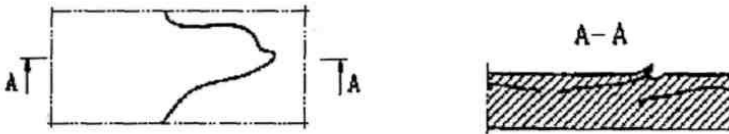


Рисунок 3. 14. Отслоение

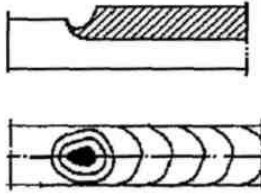


Рисунок 3. 15. Кратер

Рисунок 3. 16. Свищ в сварном шве



Рисунок 3. 17. Подрезы

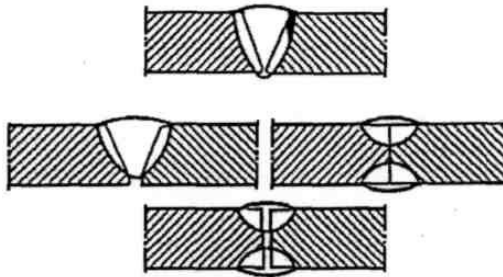


Рисунок 3. 18. Непровары

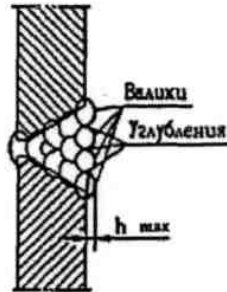


Рисунок 3. 18. Углубления (западания) между валиками шва

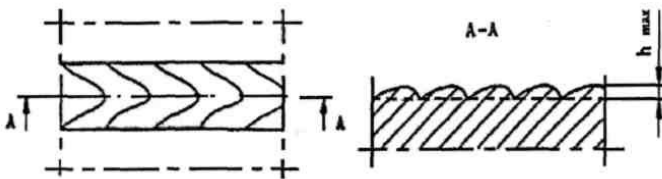


Рисунок 3. 19. Чешуйчатость сварного шва

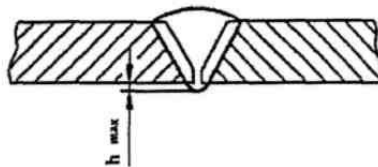


Рисунок 3. 20. Выпуклость корня шва

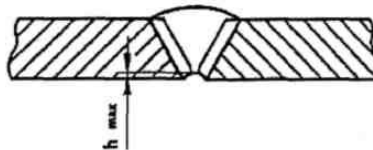


Рисунок 3. 21. Вогнутость корня шва

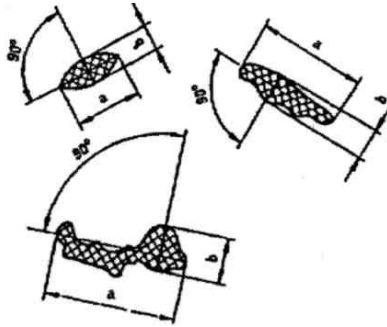


Рисунок 3. 22. Максимальная ширина включения

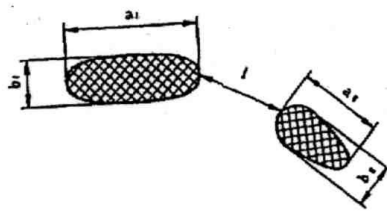


Рисунок 3. 23. Включение одиночное

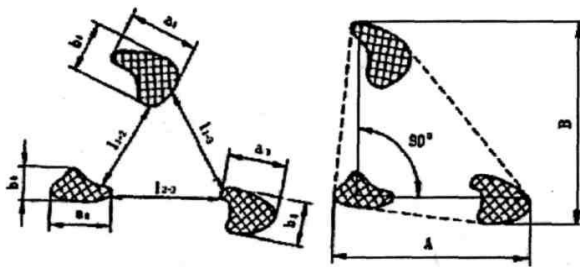


Рисунок 3. 24. Скопление включений

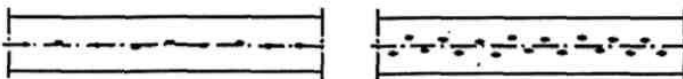


Рисунок 3. 25. Цепочка пор

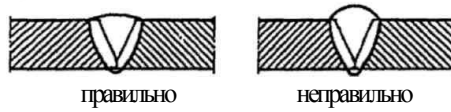


Рисунок 3. 26. Превышение усиления сварного шва

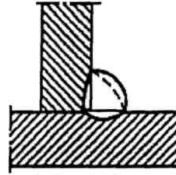


Рисунок 3. 27. Превышение выпуклости

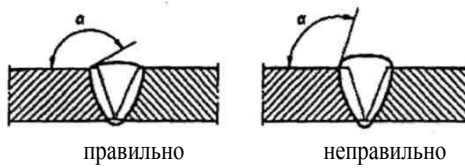


Рисунок 3. 28. Неправильный профиль сварного шва

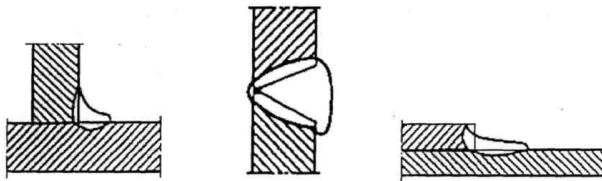


Рисунок 3. 29. Наплывы



Рисунок 3. 30. Перелом осей деталей



Рисунок 3. 31. Не полностью заполненная разделка кромок

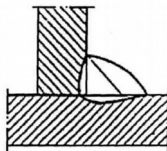


Рисунок 3. 32. Асимметрия углового шва

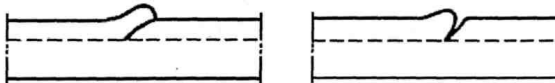


Рисунок 3. 33. Плохое возобновление шва

Измерение параметров сварных швов

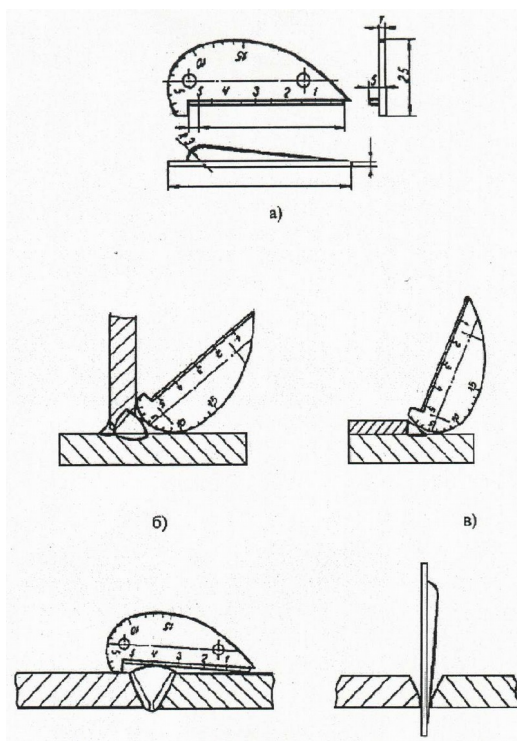


Рисунок 3.34. Контроль шаблоном конструкции А.И. Красовского: а) общий вид шаблона; б), в), г) контроль стыковых, тавровых и нахлесточных сварных соединений; д) измерение зазора между кройками

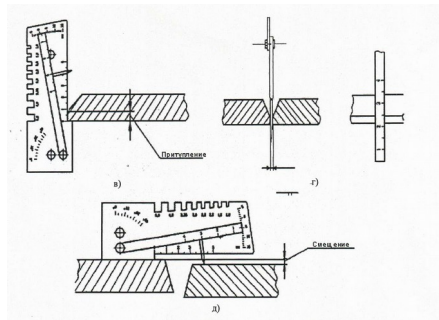


Рисунок 3.35. Контроль универсальным шаблоном сварщика УШС: а) общий вид шаблона УШС; б) измерение угла скоса разделки "а"; в) измерение размера притупления кромки "р"; г) измерение зазора в соединении "а"; д) измерение смещения наружных кромок деталей "F"

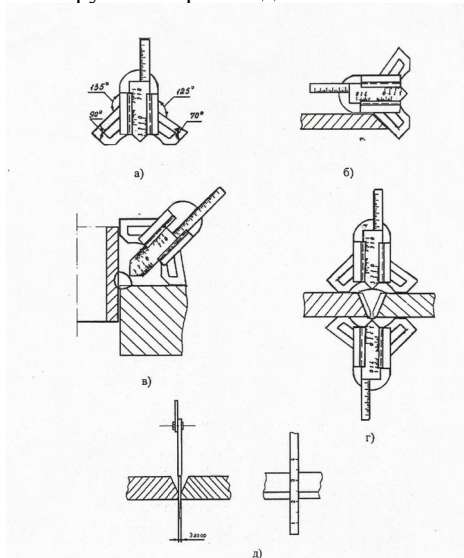


Рисунок 3.36. Контроль шаблоном конструкции В.Э. Ушерова-Маршака: а) общий вид шаблона; б) измерение угла скоса разделки "а"; в) измерение высоты катета углового шва V; г) измерение высоты валика усиления "g" и выпуклости корня шва "g_i" стыкового сварного соединения; д) измерение зазора V в соединении при подготовке деталей к сварке поверхностных включений (диаметр – d_g ; длина – l_g ; ширина – b_g включения); ж) размеры катета шва углового (таврового, нахлесточного) соединения

Таблица 3.1.

Требования к измерениям сварных швов

Контролируемый параметр	Условное обозначение (рис. 8)	Номер рисунка	Средства измерений. Требования к измерениям
1. Ширина шва	$-e, e^1$	8 а, в	Штангенциркуль или шаблон универсальный. Измерение - см. п. 7.5.5
2. Высота шва	$<7, <7i$	8 а, в	То же
3. Выпуклость обратной стороны шва	$9\backslash$	8 а, в	Штангенциркуль. Измерение согласно п. 7.5.5.
4. Вогнутость обратной стороны шва	42	8б	Штангенциркуль, в т.ч. модернизированный (рисунок 9). Измерения в 2-3 местах в зоне максимальной величины
5. Глубина подреза (неполного заполнения разделки)	$7b, 7b^1$	8 г	Штангенциркуль, в т.ч. модернизированный (рисунок 9). Приспособление для измерения глубины подрезов (рисунок 10)
6. Катет углового шва	K, K^1	8 ж	Штангенциркуль или шаблон. Измерение согласно п. 7.5.5
7. Чешуйчатость шва	Ai	8 д	Штангенциркуль, в т.ч. модернизированный (рисунок 9). Измерения не менее чем в 4 точках по длине шва
8. Глубина западин между валиками	A_2	8 д	То же
9. Размеры (диаметр, длина, ширина) одиночных несплошностей	d_g, l_g, b_g	8 е	Лупа измерительная. Измерению подлежит каждая несплошность

Измерительный контроль геометрических размеров сварного соединения (конструктивных элементов сварных швов, геометрического положения осей или поверхностей сваренных деталей, углублений между валиками и чешуйчатости поверхности шва, выпуклости и вогнутости корня односторонних швов и т.д.) следует проводить в местах, указанных в рабочих чертежах, НД, ПТД или ПДК, а также в местах, где допустимость указанных пока-

зателей вызывает сомнения по результатам визуального контроля.

При контроле стыковых сварных соединений труб наружным диаметром до 89 мм включительно с числом однотипных соединений более 50 на одном изделии, допускается определение размеров шва выполнять на 10–20% в соединениях в одном-двух сечениях, при условии, что при визуальном контроле, которому подвергают все соединения, нет сомнений в части отклонения размеров (ширина, высота) шва от допуска.

При измерительном контроле наплавленного антикоррозионного покрытия его толщину на цилиндрических поверхностях проводить не менее чем через 0,5 м в осевом направлении и через каждые 60° по окружности при ручной наплавке и 90° при автоматической наплавке.

На плоских и сферических поверхностях проводят не менее одного замера на каждом участке размером до 0,5 м х 0,5 м при автоматической наплавке.

При контроле угловых швов сварных соединений катеты сварного шва измеряют с помощью специальных шаблонов. Определение размеров высоты, выпуклости и вогнутости углового шва выполняется расчетным путем.

7. ВЫБОР

ВАРИАНТА ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЗАДАНИЯ

СРЕДЫ, ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ВЫБОРА МАТЕРИАЛА
ХИМИЧЕСКОГО АППАРАТА

(выбираемый вариант соответствует порядковому номеру из таблицы, определяемого по сумме последних трех цифр шифра студента)

№п п	Г-газ Среда Ж-жидкость	T, °C	P, атм	№п п	Г-газ Среда Ж-жидкость	T, °C	P, атм
1	Азота четырехокись (г)	600	150	20	Кислота малеиновая (ж) 45%	40	5
2	Азота четырехокись (г)	100	20	21	Кислота малеиновая (ж) 45%	90	1,0
3	Альдегид уксусный (ж)	190	15	22	Кислота серная (ж) 60%	20	1,0
4	Альдегид уксусный (ж)	20	5	23	Кислота серная (ж) 90%	50	1,0
5	Алюминий хлористый (ж)	150	25	24	Кислота серная (ж) 10%	80	1,0
6	Алюминий хлористый (ж)	20	5	25	Кислота соляная(ж) 0,5%	70	1,0
7	Аммиак (влажн.) (ж)	20	10	26	Кислота уксусная (ж) 80%	20	5,0
8	Аммиак (влажн.) (ж)	-30	3	27	Кислота уксусная (ж) 5,0%	140	12
9	Аммиак (влажн.) (г)	50	5	28	Кислота фосфорная (ж) 85%	кипение	1,6
10	Аммиак (водн. р-р) (ж)	50	10	29	Кислота фосфорная (ж) 100%	140	2,5
11	Аммиак (водн. р-р) (ж)	25	25	30	Моноэтаноламин (ж)	120	1,5
12	Аммиач. селитра (ж)	35	1,5	31	Моноэтаноламин (г)	50	5,0
13	Аммиач. селитра (ж)	90	1,5	32	Мочевина (ж)	190	200
14	Вода дистиллир. (ж)	200	150	33	Мочевина (ж) 20%	50	1,5
15	Вода дистиллир. (ж)	100	50	34	Сероводород (г) 20%	450	12
16	Вода дистиллир. (ж)	90	1,0	35	Сероводород (ж)	550	1,0
17	Вода морская (ж)	20	1,0	36	Натрия гидроокись 20%	200	25
18	Диметиламин (ж)	120	70	37	Натрия гидроокись 50%	140	7,0
19	Диметиламин (ж)	20	50	38	Натрия гидроокись 8%	350	3,0

7.1.ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЗАДАНИЯ

по изготовлению цельносварного химического аппарата

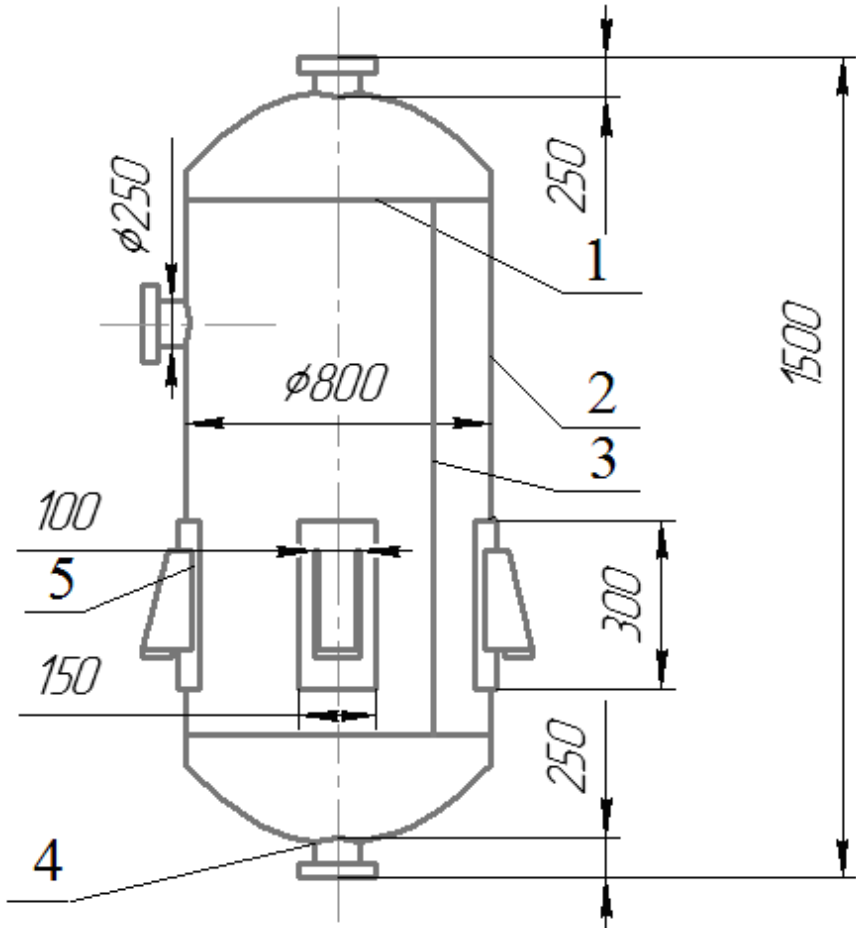


Рис.7.1. Схема емкостного аппарата

1- кольцевой шов; 2-продольный шов; 3- нахлесточный шов; 4-угловой шов;
5- тавровый шов.

Студенту требуется выбрать материал с хорошей свариваемостью для изготовления цельносварного химического аппарата, разработать техно-

логию изготовления отдельных элементов сосуда и его сборки, выбрать и обосновать способ сварки, необходимое оборудование, сварочные материалы, режимы процесса сварки, способы контроля качества изготовления аппарата.

Задание на изготовление аппарата включает чертёж, состав среды, находящейся в его объёме, параметры химического процесса (концентрация, давление, температура, состояние вещества).

Выбор конструкционного материала осуществляется по справочнику [17], расчёт толщины стенки аппарата [18], выбор сварочного оборудования, режимов процесса и контроль качества изготовления [18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26], особенности изготовления обечайки, днищ, штуцеров и опор – по справочникам [19, 20].

Технологический маршрут изготовления аппарата представляется в произвольной форме в виде технологической последовательности выполнения основных операций.

В отдельных случаях текст пояснительной записки желательно сопровождать схемами работы технологического оборудования по изготовлению и сборке основных элементов аппарата.

Обязательным элементом пояснительной записки является таблица сварных швов.

7.2. Содержание индивидуального задания

1. Чертёж (схема) цельносварного химического аппарата.
2. Обоснование выбора конструкционного материала.
3. Расчёт толщины стенки обечайки и днища.
4. Выбор полуфабрикатов для изготовления элементов аппарата.
5. Маршрутная технология изготовления основных элементов аппарата с указанием основного оборудования, подготовки кромок под сварку, сборки под сварку, сварочных материалов, режимов сварки и термообработки сварных швов, расход сварочных материалов для продольного или кольцевого шва.
6. Перечень методов контроля качества сварных соединений (таблица сварных швов).
7. Методы испытания на прочность и плотность сварных соединений. Параметры процесса.

7.3. Контрольные вопросы к защите индивидуального задания

1. Расконсервация листового проката.
2. Дефекты листового проката.
3. Способы правки листового проката.

4. Разметка развёртки обечайки.
5. Способы разделительной резки листового проката и их сравнительная характеристика..
6. Подготовка кромок листового проката под сварку.
7. Особенности сборки развёртки обечайки. Основные способы и приспособления.
8. Способы формирования цилиндрических обечаек. Схемы гибки и штамповки.
9. Дефекты гибки цилиндрических обечаек и способы их устранения.
10. Классификация днищ химических аппаратов и способы их изготовления.
11. Изготовление штуцеров и лап химического аппарата.
12. Изготовление фланцев, борт-шайб и трубных решёток.
13. Изготовление деталей из труб. Способы гибки труб.
14. Промышленные методы сварки, используемые при изготовлении химических аппаратов.
15. Технологические процессы сборки корпусов химических аппаратов.
16. Приспособления, применяемые при сборке корпусов химических аппаратов.
17. Расположение отверстий в стенках корпусов.
18. Контроль качества сборки корпусов.
19. Классификация сосудов высокого давления.
20. Сборка стальных многослойных рулонированных обечаек.
21. Особенности сварки кольцевых швов многослойных рулонированных обечаек.
22. Сборка корпусов рулонированных обечаек.
23. Методы испытаний сосудов высокого давления.
24. Основные дефекты сварных соединений и способы их выявления и контроля.
25. Термическая обработка сварных соединений.

7.4. Пример выполнения индивидуального задания.

1. Условия эксплуатации аппарата: Аммоний фтористый (жидкий), температура: 50°С, Р=0,5 МПа (5 ати).

2. Выбор конструкционного материала и заготовки

Для указанных условий эксплуатации аппарата выбираем материал корпуса сталь Ст.3 пс5 ГОСТ 380-94[17], с глубинным показателем общей коррозии $k=0,8$ мм/год.

В качестве заготовки выбираем листовой прокат нормальной точности (Б), нормальной плоскостности (ПН), с необрезанными кромками (НО), размером, соответствующем развёртке обечайки корпуса аппарата: 1020х2530

мм из стали марки Ст.3пс5, категории 4, очищенной от окалины (ОП), нормализованной (Н).

В соответствии с чертежом днище выбираем готовое эллиптическое отбортованное диаметром $D_n = 800$ мм ГОСТ 6533-78.

Расчёт толщины стенки цилиндрической обечайки согласно ГОСТ 14249-89

$$S = P D / 2[\sigma] \varphi - P + C$$

где S – толщина стенки расчётная, мм;

P – внутреннее давление в аппарате, МПа;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение при расчётной температуре, МПа;

φ – коэффициент прочности сварного шва = 0,95;

C – комплексная прибавка к толщине стенки $= k \tau$;

$C = C_1 + C_2 + C_3$ – сумма прибавок к расчётной толщине:

$C_1 = 0,2$ см – прибавка для компенсации коррозии;

$C_2 = 0$ – прибавка на минусовый допуск;

$C_3 = 0,08$ см – технологическая прибавка.

τ – срок службы аппарата = 15 лет

Допускаемое напряжение:

$$[\sigma] = \eta \min\{\sigma_t / n_t; \sigma_v / n_v\}$$

где η – поправочный коэффициент к допускаемым напряжениям;

σ_t – предел текучести стали 225 МПа;

σ_v – предел прочности стали 390 МПа;

n_t и n_v – коэффициенты запаса прочности 1,5 и 2,4 соответственно;

$$[\sigma] = 1 \{225 / 1,5; 390 / 2,4\} = \{150; 162,5\} = 150 \text{ МПа}$$

$$S = 5,0 \cdot 800 / 2 \cdot 0,95 \cdot 150 - 5,0 + 0,031 = 7,02 \text{ мм}$$

Округляем до ближайшего большего значения толщины листа согласно сортаменту ГОСТ56810-57 горячекатанного листового проката Ст3 ГОСТ 380-2005, толщина $S = 8$ мм ГОСТ 5520-79:

$$\text{Лист} \frac{B - ПН - О - 8 \times 2000 \times 6000 \text{ ГОСТ } 1903 - 74}{Cm3nc5 \text{ ГОСТ } 380 - 2005}$$

3. Маршрутная карта изготовления обечайки

(Нумерация операций цифрами, кратными пяти, переходов - арабскими в технологической последовательности)

5 Подготовительная.

1. Править заготовку Многовалкавая листопрямительная машина
2. Разметить заготовку Разметочная плита
3. Разрезать заготовку Гильотинные ножницы
4. Произвести разделку кромок под сварку Кромкострогальный станок
10. Штамповочная
 1. Подогнуть кромки радиусом 38мм на длине дуги 250мм с одной стороны.
 15. Листогибочная.
 1. Зажать заготовку между валками.
 2. Вальцевать заготовку до диаметра 800мм, обеспечивая допуски на диаметр и перпендикулярность к образующей согласно чертежу на трёхвалковой листогибочной машине.
 15. Слесарно-сборочная.
 1. Установить заготовку на роликовый стенд.
 2. Собрать продольный стык обечайки Стенд сборочный. Стяжные трубины.
 3. Подогнать диаметр 800мм сварочный зазор 2мм.
 4. Разметить места прихваток длиной 30-40мм и шагом 250-300мм.
 5. Прихватить кромки продольного стыка и контрольной пластины ручной дуговой сваркой по типовому технологическому процессу.
 6. Зачистить места прихваток от шлака и брызг.
 7. Разметить места скоса кромок торцов обечайки и центров отверстий под штуцера согласно чертежу.
 8. Сверлить два отверстия под штуцера. Острые кромки притупить.
 9. Резать отверстия под штуцера газовой резкой.
 10. Зачистить абразивным кругом поверхности реза до полного удаления следов газовой резки.
 20. Сварочная.
 1. Приварить затравочную и выводную планки по концам продольного стыка обечайки.
 2. Установить сварочный трактор.
 3. Варить продольный шов обечайки.
 4. Удалить шлак.
 5. Отрезать затравочную и выводную планки.
 25. Токарно-карусельная.
 1. Установить деталь в патроне станка.
 2. Точить торец обечайки согласно требованиям чертежа.
 30. Контрольная.
 1. Проверить размеры обечайки, волнистость, коробоватость, маркировку и состояние поверхностей согласно чертежу.

2. Проверить размеры, смещение и шероховатость кромок и чистоту околошовной зоны.

3. Проверить зазоры под сварку, качество прихваток.

35. Калибровочная.

1. Установить деталь на трёхвалковой листогибочной машине.

2. Калибровать деталь до диаметра 800 мм $\pm$ 8мм без повреждения сварного шва, выдерживая допуски согласно чертежу.

40 Слесарно-сборочная.

1. Установить днища и обечайку на сварочный кантователь.

2. Собрать кольцевые стыки обечайки и днищ.

3. Установить по 4 установочные планки между обечайкой и днищами размером 250x100x10, обеспечивая кольцевые зазоры не более 3мм.

4. Разметить места прихваток длину и расстояние между ними.

5. Прихватить кромки кольцевых стыков обечайки и днищ ручной дуговой сваркой по типовому технологическому процессу.

5. Зачистить места прихваток от шлака и брызг.

6. Удалить установочные планки газовой резкой, поверхность в местах сварки зачистить.

45. Контрольная.

1. Проверить размеры корпуса аппарата, смещение и шероховатость кромок, чистоту околошовной зоны.

2. Проверить зазоры под сварку и качество прихваток.

50. Сварочная.

1. Установить заготовку корпуса на роликовый стенд.

2. Установить сварочный трактор на платформе манипулятора.

3. Варить кольцевые швы согласно типовой технологии сварки.

4. Удалить шлак. Зачистить швы и околошовную зону сварных швов.

55. Слесарно-сборочная.

1. Установить готовые узлы штуцеров в монтажном приспособлении.

2. Разметить места прихваток длиной 10-15мм на расстоянии 100-120мм.

3. Прихватить патрубки штуцеров к корпусу аппарата ручной электро-дуговой сваркой.

4. Зачистить места прихваток от шлака и брызг.

5. Проверить перпендикулярность оси штуцера к обазующей корпуса, зазор между патрубком и кромкой отверстия.

6. Варить кольцевые швы штуцеров ручной электродуговой сваркой.

7. Зачистить швы от шлака и брызг.

60. Контрольная.

1. Проверить отклонение по длине сосуда, не должно превышать + 75 мм, непрямолинейность не должна превышать 2мм на длине 1м, овальность цилиндрической части допускается в пределах 0,8 мм.

2. Проверить сварные швы визуально-измерительным методом.
3. Провести 100% ультразвуковую диагностику сварных швов.
4. Проверить правильность нанесения маркировки.
5. Провести гидравлические испытания аппарата на прочность и плотность сварных швов пробным давлением 0,75 МПа.

6. Провести механические испытания образцов, сваренных механизированной сваркой под флюсом. 4. Таблица сварных швов

ОХЭИ		ТАБЛИЦА СВАРНЫХ ШВОВ			
ГОСТ		ШВЫ		КРОМКИ	
ГОСТ 11533 -75 С17					
ГОСТ 11533 - 75 С21					
ГОСТ 5264- 80 Н1					
ГОСТ 16037- 80 У-5					
ГОСТ 5264- 80 Т3					
Изм. Лист № докум. Подп. Дата		ПСХО		Лист	
Копировал		Формат А4			

5. Особенности выполнения технологических операций изготовления аппарата.

Правка. Рихтуется прокат для удаления дефектов в виде волнистости, коробоватости, залама кромки т.п. Правка осуществляется в холодном состоянии на многовалковой листопрямильной машине, ограничивая остаточное удлинение наиболее деформированных волокон величиной не более 1%. Дефекты проката устраняются путём многократного знакопеременного изгиба при пропускании листовой заготовки между верхними и нижними рядами валков листопрямильной машины.

Разметка. Листовой прокат по ГОСТ 5681-57 в состоянии поставки имеет размеры: 8х200х800мм. Необходимо получить развёртку обечайки с размерами: 8х100х2512мм, с припусками на механическую обработку (резка на гильотинных ножницах, строгание) 6мм с допуском +3,3мм. Общий размер заготовки составит 8х110х2522 мм. При разметке используются чертилки, кернер, молоток, рулетка. Точность разметки составляет $\pm 0,3$ мм. При разметке наносятся и прокерниваются: базовая линия, контрольные контуры детали, линии припусков и фасок. Расстояние между кернами 20 мм при расстоянии 5-10 мм. Линия реза дополнительно обозначается проставлением мелом знака V, обращённым острым концом к линии реза.

В правом угле раскроенного листа на расстоянии порядка 400 мм от кромок наносится маркировка с указанием: марки стали, номера плавки, толщины листа, номера чертежа.

Резка. Разделительная резка листового проката по прямолинейной траектории осуществляется на гильотинных ножницах типа Н- 3121 ГОСТ 6282-76 при одновременном образовании скошенных кромок с нормой точности по ГОСТ 6766-73 $\pm 2,0$ мм.

Удаление дефектного слоя металла, повреждённого при резке и обработку кромок под сварку произведём на кромкострогальном станке 7806, у которого строгальная каретка – суппорт перемещается относительно неподвижно закреплённого на столе листа с помощью гидравлических прижимов. Контроль качества подготовки кромок и величины притупления проводить универсальным шаблоном сварщика УШС-3. Визуальным осмотром выявляются возможные расслоения и другие дефекты механической обработки.

Гибка (вальцовка). Обечайка изготавливается методом круговой гибки на листогибочных вальцах И2220А с горизонтальной регулировкой нижних валков и вертикальной регулировкой верхнего вала, причём нижние валки приводные, а опоры верхнего вала перемещаются как совместно, так и раздельно, что позволяет установить верхний валок наклонно для гибки конических обечаек. Вальцевание осуществляется в холодном состоянии до пределов, не вызывающих явления наклёпа и роста зерна в результате рекристаллизации. Гибка является пластической деформацией металла путём

непрерывного перемещения заготовки-это обработка деформирующим (верхним) валком при напряжении более предела текучести. Неперпендикулярность торца обечайки к её образующей допускается в пределах 1мм на 1м диаметра, предельное отклонение внутреннего диаметра-в пределах JT16, овальность не выше 0,5% номинального внутреннего диаметра ОСТ 26-291-79.

Сборочно-сварочные операции. Сборка продольного стыка свальцованной обечайки под сварку должна обеспечить : надёжное и удобное положение под сварку, необходимый зазор в месте стыка, качественную подготовку стыкуемых кромок по длине и по торцам, прямолинейность стыкуемых кромок между собой, положение торцов и образующей, качественное выполнение прихваток продольного стыка.

Обечайка устанавливается на приводных роликоопорах или плиточном стенде. При этом подольный стык должен находиться в верхнем положении. На торцах обечайки устанавливают крюки винтовых или гидравлических стяжек для выравнивания торцов и выравнивания зазора под сварку. Размечают места прихваток, очищают стык от следов коррозии, масел, грязи и обезжиривают. Длина прихваток 30-40 мм шагом 250-300мм. Производят прихватку ручной электродуговой сваркой ГОСТ 5264-80 электродом типа Э42А маркой ВСП-1 (ГОСТ9467-75) диаметром 5 мм на постоянном токе прямой полярности сварочным выпрямителем ВСУ-300 Сварочный ток определяем по формуле:

$$I_{св} = (20 + 6d_s) d_s, \text{ тогда: } (20 + 6 \times 5) \times 5 = 250 \text{ A.}$$

Режим прихватки: при толщине металла 8 мм, число проходов – 1, диаметр электрода 5 мм, сила тока – 250А.

Места прихваток зачистить от шлака и брызг с помощью электрошлифовальной машинки абразивным кругом или металлической щёткой. Стяжные приспособления снять.

Подготовить кромки в местах прихваток по типовому процессу на сварку. Прихватить затравочную и концевую пластины к торцу обечайки симметрично относительно продольного шва. Зачистить места прихваток.

Калибровать обечайку до диаметра 800 мм с допуском ± 8 мм, без повреждения сварного шва, выдерживая допуски согласно чертежу.

Сварочное оборудование для формирования продольного стыка обечайки.

Сварку продольного стыка выполнить механизированной сваркой под слоем флюса с использованием двухдугового самоходного автомата подвесного типа А-1412 для сварки сплошной проволокой на постоянном токе с силовым блоком ВДУ-1250. Основным преимуществом многодуговой сварки является уменьшение сварочных деформаций и более компактное размещение источников питания.

Технические характеристики автомата представлены в таблице 7.1.

Таблица 7.1.

Техническая характеристика многодугового автомата А-1412:

Но- мин. сва- рочн ток, А	Число элек- тродов, шт	Диа- метр элек- тродн. пров, мм	Ск-ть по- дачи эл. пров.,м/ч	Ск-ть свар- ки, м/ч	Габаритн. р-ры, мм	Масса, кг
2 х 1600	2	2 - 5	53 – 532	24 – 240	1388х845х1820	390

Для сварки внутренних швов (коренных) цилиндрической обечайки применим устройство с флюсовой подушкой. Для сбора и подачи флюса в зону сварки используем передвижной флюсоаппарат Р-895А.

Сварочные материалы.

Сварочная проволока должна соответствовать требованиям ГОСТ 2246-70, что должно быть подтверждено сертификатом изготовителя включающем следующее: товарный знак организации-изготовителя; условное обозначение проволоки; номер плавки и партии; состояние поверхности проволоки; химический состав; содержание α -фазы в пробе в %; результаты испытания на растяжение; массу погонного метра проволоки, кг.

Для механизированной сварки под флюсом выбираем сварочную низкоуглеродистую проволоку Св – 08А ГОСТ 2246-70, состав которой представлен в таблице 7.2.

Таблица 7.2.

Химический состав сварочной проволоки по ГОСТ 2246-70

Марка про-ки	Массовое содержание элементов, %						
	С	Si	Mn	Cr	Ni	S,P	Проч.
Св-08А	≤ 0,10	≤ 0,03	0,35- 0,60	≤ 0,10	≤ 0,25	0,03	-

Флюсы. Для механизированной сварки применим высоко кремнистый марганцевый флюс марки АН-348А ГОСТ 9087-81, который обеспечивает плотные швы, стойкие против образования горячих трещин, выделяет малое количество вредных фтористых соединений, однако чувствителен к газовой коррозии. Химический состав ялюса приведён в таблице 7.3.

Mar	SiO ₂	Mn	CaF	Mg	Ca	Al ₂ O	K ₂	Fe ₂ O	S	P
-----	------------------	----	-----	----	----	-------------------	----------------	-------------------	---	---

ка флю са		О	2	О	О	3	О	3		
АН- 348 А	41,0- 34,0 3	34,0 - 38,0	4,0- 5,5	5,0- 7,5	>6, 5	>4,5	-	>2,0	>0,1 5	>0,1 2

Расход сварочных материалов при изготовлении продольного шва обечайки

Расход сварочных материалов определяем по формуле: $H_p = K Q_n [28]$
 где Q_n – масса наплавленного металла, кг;

K – коэффициент расхода сварочного материала на 1 кг наплавленного металла; для механизированной сварки под слоем флюса $K = 1,1$ [28]

Масса наплавленного металла определяется по уравнению: $Q_n = F L \rho$

где F_n – площадь наплавленного металла в поперечном сечении шва, см^2 ;

L – длина сварного шва, см;

ρ – плотность металла, г/см^3 ; расход сварочных материалов для продольного шва обечайки при V – образной разделке кромок составит:

$$H_p = 0,08 \times 0,095 \times 1,1 \times 100 \times 7,9 = 6,6 \text{ кг}$$

Контроль качества сварных соединений

Контроль качества сварных соединений включает:

- проверку аттестации персонала;
- проверку сборочно-сварочного, термического и контрольного оборудования, аппаратуры, приборов и инструментов;
- контроль качества основных материалов;
- контроль качества сварочных материалов и материалов для дефектоскопии;
- операционный контроль технологии сварки;
- неразрушающий контроль качества сварных соединений;
- разрушающий контроль качества сварных соединений;
- контроль исправления дефектов.

Методы и объём контроля сварных соединений зависят от группы сосуда в зависимости от расчётного давления, температуры стенки и характера среды. Отнесём данный аппарат к 1 группе сосудов.

Визуальный и измерительный контроль. Обязательному визуальному и измерительному контролю подлежат все сварные швы в соответствии с картой швов ГОСТ 3242-79 и РД 03-606-03, для выявления следующих дефектов:

- трещин всех видов и направлений;
- свищей и пористой наружной поверхности шва;
- наплывов, прожогов, незаплавленных кратеров;
- смещения и совместного увода кромок свариваемых элементов;
- непрямолинейность соединяемых элементов;

- несоответствие формы и размеров швов требованиям технической документации.

Для контроля используем: штангенциркуль с пределом измерения 0 – 150мм ГОСТ 166-80; универсальный шаблон сварщика УШС-3 ТУ 102.338-83.

Визуальный контроль и измерения сварных швов необходимо проводить после очистки швов и прилегающих к ним поверхностей основного металла от шлака, брызг и других загрязнений. Проверку вести с двух сторон по всей протяжённости шва.

Механические испытания. Механические испытания провести согласно карте контроля сварных соединений и ПБ 03-584-03. Обязательные виды механических испытаний образцов сварных соединений:

- испытание на растяжение;
- на статический изгиб и сплющивание;
- на ударный изгиб.

Механические испытания проводят на контрольных стыковых сварных соединениях на универсальной машине УММ-20.

Ультразвуковая дефектоскопия или радиографический контроль. Для выявления в сварных соединениях внутренних скрытых дефектов (трещин, непроваров, пор, шлаковых включений и т.д.) проводят приборную дефектоскопию согласно карте контроля сварных швов, с учётом требований ПБ 03-584-03; ГОСТ 14782-86; ГОСТ 7512-82; ОСТ 26-2044-91; ОСТ 26-11-10.

Перед контролем сварные соединения должны быть промаркированы так, чтобы их можно было легко обнаружить на картах контроля и радиографических снимках.

Контроль провести ультразвуковым дефектоскопом «Гаммрид 192/120» или рентгеновским аппаратом «Шмель 250».

Цветная дефектоскопия. Цветную дефектоскопию сварных швов провести согласно ПБ 03-584-03, ОСТ 26-01-84; ОСТ 26-5 в объёме, указанном в карте сварных швов.

Карта контроля сварных соединений

Гидравлические испытания. Для проверки сварных соединений на прочность и плотность, а также всех элементов сосуда, проводим гидравлические испытания на испытательном стенде «Sigma hranice», оснащённом:

- насосом с электроприводом;
- трубопроводами;
- запорной арматурой и заглушками;
- приборами для измерения давления (два манометра МТ-160, класс точности 1,5);
- предохранительными устройствами.

Для гидравлических испытаний применять воду с температурой 20°C. Разность температур стенки аппарата и окружающей среды во время испытания не должна вызывать конденсации влаги на поверхности стенок аппарата. При заполнении сосуда водой воздух должен быть удалён полностью.

Давление в испытываемом сосуда необходимо повышать плавно. Скорость повышения давления не должна превышать 0,5 МПа (5 кгс/см²) в минуту. Величина пробного давления составляет 0,75 МПа (7,5 кгс/см²). Время выдержки под пробным давлением не менее 10 минут, после чего давление плавно снизить до рабочего и выдержать в течение времени, необходимого для осмотра наружной поверхности и всех разъёмных и сварных соединений аппарата.

Сосуд считается выдержавшим испытание, если не обнаружено:

- течи, трещин, слёзок, потения в сварных соединениях и на основном металле;
- течи в разъёмных соединениях;
- видимых остаточных деформаций;
- падения давления по манометру.

После проведения испытания необходимо плавно снизить давление до атмосферного, отсоединить аппарат от испытательного стенда, слить воду и продуть сжатым воздухом. Значения пробного давления и результаты гидравлических испытаний занести в паспорт сосуда.

