

Т. И. Бендик
Н. И. Урбанович
В. Ю. Середа

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ И ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ

Учебно-методическое пособие
по курсовому проектированию и практическим занятиям
для студентов специальности 1-36 01 06 «Оборудование и технология
сварочного производства»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением Республики Беларусь
по образованию в области металлургического оборудования и технологий*

Минск
БНТУ
2023

УДК 621.791.75, 621.791.9
ББК 30.616
Б46

Р е ц е н з е н т ы:

кафедра автомобильного транспорта УО «Полоцкий государственный университет» (зав. кафедрой, канд. техн. наук., доцент *Т. В. Вигерина*);
начальник бюро ТО ПКЗ ОАО «МАЗ» *Т. Ф. Пинязик*

Бендик, Т. И.

Б46 Технология сварки плавлением и термической резки : учебно-методическое пособие по курсовому проектированию и практическим занятиям для студентов специальности 1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства» / Т. И. Бендик, Н. И. Урбанович, В. Ю. Середа. – Минск : БНТУ, 2023. – 92 с.

ISBN 978-985-583-892-1.

Учебно-методическое пособие включает индивидуальные задания, расчетные методики определения параметров режима сварки, основы нормирования технологических процессов сварки, оформления конструкторской и технологической документации, справочные данные и ссылочную информацию, необходимые для выполнения курсового проекта и практических занятий по дисциплине «Технология сварки плавлением и термической резки» студентами специальности 1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства».

УДК 621.791.75, 621.791.9
ББК 30.616

ISBN 978-985-583-892-1

© Бендик Т. И., Урбанович Н. И.,
Середа В. Ю., 2023
© Белорусский национальный
технический университет, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ	5
1.1. Цели и задачи курсового проекта	5
1.2. Тематика курсового проекта	5
1.3. Содержание расчетно-пояснительной записки	6
1.4. Оформление и содержание графической части курсового проекта.....	6
1.5. Методика выполнения курсового проекта.....	7
1.5.1. Описание конструкции свариваемого изделия и условий его эксплуатации.....	7
1.5.2. Определение химического состава и структуры стали в исходном состоянии. Оценка свариваемости материала изделия	8
1.5.3. Техничко-экономическое обоснование выбора способа сварки изделия.....	12
1.5.4. Выбор листового или профильного сортаментного проката для изготовления деталей сварной сборочной единицы	13
1.5.5. Выбор типов сварных соединений и назначение геометрических параметров сварных швов.....	14
1.5.6. Расчет на прочность сварных соединений	17
1.5.7. Проверка доступности выполнения сварных швов конструкции в заданном положении сварки	19
1.5.8. Технологические особенности сварки основного металла сварной конструкции выбранным способом сварки.....	19
1.5.9. Расчет параметров режима сварки.....	19
1.5.10. Выбор сварочных материалов	21
1.5.11. Выбор сварочного оборудования	21
1.5.12. Выбор и описание способов контроля сборочно-сварочных операций.....	22
1.5.13. Разработка технологического процесса сборки, сварки и контроля и оформление технологической документации на процесс сварки.....	22
1.5.14. Расчет норм времени на выполнение сборочно-сварочных операций.....	24
1.5.15. Расчет расхода сварочных материалов.....	24
1.5.16. Расчет расхода электроэнергии	25
1.5.17. Сравнение базового и проектного вариантов изготовления изделия	25
1.5.18. Заключение	26
1.6. Защита курсового проекта	26
РАЗДЕЛ 2. РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	27
Практическое занятие № 1. Обозначение сварных швов на чертежах.....	27
Практическое занятие № 2. Расчет параметров режима ручной дуговой сварки покрытыми электродами.....	33

Практическое занятие № 3. Расчет параметров режима сварки в защитных газах	35
Практическое занятие № 4. Расчет параметров режима сварки под флюсом.....	40
Практическое занятие № 5. Расчет параметров режима сварки многопроходных швов	42
Практическое занятие № 6. Расчет норм времени и расхода сварочных материалов.....	45
Практическое занятие № 7. Оформление документации на технологические процессы сварки.....	54
Список литературы	57
Приложение А. Примеры заданий на курсовое проектирование	59
Приложение Б. Пример детализовки, сборочного чертежа и спецификации на проектируемую сборочную единицу	79
Приложение В. Пример оформления отчета-сертификата WPQR	84
Приложение Г. Пример оформления комплекта документов на технологический процесс сборки, сварки и контроля	86

РАЗДЕЛ 1. КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

1.1. Цели и задачи курсового проекта

Основной целью курсового проекта является приобретение студентами навыков по практическому применению теоретических знаний, полученных при изучении курса «Технология сварки плавлением и термической резки».

При выполнении курсового проекта студенты должны:

- разработать технологичную сварную конструкцию, состоящую из нескольких деталей. Осуществить выбор типов сварных соединений, исходя из эксплуатационных требований, предъявляемых к сборочно-сварочной единице, и минимизации массы наплавленного металла;
- выбрать экономически целесообразный способ сварки, соответствующие сварочные материалы;
- рассчитать технологические параметры режима сварки, подобрать сварочное оборудование, при необходимости дать рекомендации по термической обработке изделий;
- провести расчет норм времени на выполнение сборочно-сварочных операций, затрат на сварочные материалы, основной металл и оценить целесообразность предложенных в курсовом проекте технических решений;
- оформить технологическую документацию на процесс сварки и контроля готового изделия: операционную и/или маршрутную карту по ГОСТ 3.1407-86, инструкцию WPS по СТБ ISO 15609-1, отчет-сертификат WPQR по СТБ ISO 15614-1, СТБ ISO 15614-8.

1.2. Тематика курсового проекта

Для выполнения курсового проекта студентам выдаются индивидуальные задания (прил. А), в которых предлагается разработать технологический процесс изготовления изделия способами сварки плавлением (ручной дуговой покрытыми электродами, дуговой сваркой в среде защитных газов, дуговой сваркой под флюсом и т. д.).

В качестве объектов для разработки технологического процесса сборки, сварки и контроля выступают детали общего машиностроения (стойки, оси, корпуса, а также трубы и трубопроводная арматура).

Исходные данные для выполнения курсового проекта: чертеж литого изделия с указанием марки основного металла, условия эксплуатации или ТУ на его изготовление, годовая программа выпуска, конкретные геометрические параметры и внешние нагрузки (при их наличии), прикладываемые к изделию.

Данное литое изделие требуется заменить на сварную конструкцию, разбив его на отдельные детали с учетом обеспечения технологичности сварных соединений.

1.3. Содержание расчетно-пояснительной записки

Задание на курсовой проект.

Введение.

1. Общая часть.

1.1. Описание конструкции изделия и условий его эксплуатации.

1.2. Определение химического состава и структуры стали в исходном состоянии. Оценка свариваемости материала изделия.

1.3. Техничко-экономическое обоснование выбора способа сварки изделия.

2. Конструкторская часть.

2.1. Выбор листового или профильного сортаментного проката для изготовления деталей сварной сборочной единицы.

2.2. Выбор типов сварных соединений и назначение геометрических параметров сварных швов.

2.3. Расчет на прочность сварных соединений.

2.4. Проверка доступности выполнения сварных швов конструкции в заданном положении сварки.

3. Технологическая часть.

3.1. Технологические особенности сварки материала сварной конструкции выбранным способом сварки.

3.2. Расчет параметров режима сварки.

3.3. Выбор сварочных материалов.

3.4. Выбор сварочного оборудования.

3.5. Выбор и описание способов контроля сборочно-сварочных операций.

3.6. Разработка технологического процесса сборки, сварки и контроля и оформление технологической документации на процесс сварки.

4. Экономическая часть.

4.1. Расчет норм времени на выполнение сварочных операций.

4.2. Расчет расхода сварочных материалов.

4.3. Расчет расхода электроэнергии.

4.4. Сравнение базового и проектного вариантов изготовления изделия.

Заключение.

Список литературы.

Приложение А. Спецификация к сборочному чертежу.

Приложение Б. Технологический процесс сварки.

1.4. Оформление и содержание графической части курсового проекта

Курсовой проект содержит расчетно-пояснительную записку и графическую часть. Объем расчетно-пояснительной записки составляет 20–30 страниц. Расчетно-пояснительная записка оформляется на листах формата А4 с текстовыми полями следующих размеров: слева – 30 мм, сверху и снизу – 20 мм, справа – 10 мм. Страницы пояснительной записки (кроме титульного листа

и приложений) должны иметь основные надписи текстовой документации по ГОСТ 2.104 форма 2 (для заглавных листов) и ГОСТ 2.104 форма 2а (для последующих листов).

Все страницы записки, включая задания по курсовому проектированию и приложения, подлежат сквозной нумерации (на титульном листе номер страницы не проставляется) и подшиваются в скоросшиватель.

В пояснительной записке следует применять стандартизованные единицы физических величин, их наименования и обозначения в соответствии с системой СИ. Применение в одном документе разных систем обозначения физических величин не допускается.

При обосновании нового положения необходимо приводить ссылки на источники литературы, а при изложении расчетов – расчетную формулу с указанием всех величин в нее входящих и последующей подстановкой в нее числовых величин. Все приведенные в пояснительной записке рисунки, схемы и таблицы должны быть пронумерованы и снабжены надписями с расшифровкой обозначений.

В расчетах и описаниях необходимо давать ссылки на использованную литературу и ТНПА по тексту пояснительной записки. Список литературных источников оформляется по ГОСТ 7.1.

При оформлении сборочных чертежей сварных конструкций следует обратить внимание на условное изображение и обозначение сварных соединений по ГОСТ 2.312–72. Требования к заполнению и оформлению технологических документов на процессы и операции по сварке устанавливаются п. 1.5.13 настоящих методических указаний.

Графическая часть курсового проекта содержит:

- сборочный чертеж сварной конструкции с указанием обозначения сварных швов и позиций деталей – до 1 листа формата А1 (841 × 594 мм);
- детализовку (выполняется на листах разных форматов с суммарной площадью не менее площади формата А2);
- технологический лист, поясняющий последовательность сборки, сварки деталей в заданной последовательности сварки на трехмерной модели – 1 лист формата А1;
- отчет-сертификат на технологический процесс сварки WPQR – 1 лист формата А1.

Полный объем графической части курсового проекта составляет 3–4 листа формата А1.

1.5. Методика выполнения курсового проекта

1.5.1. Описание конструкции свариваемого изделия и условий его эксплуатации

В пояснительной записке отмечаются основные конструктивные и габаритные особенности изделия, его назначение и масса. Характеризуются условия работы: скорости и нагрузка, рабочие температуры, требования к жесткости и герметичности, наличие агрессивной среды и др.

1.5.2. Определение химического состава и структуры стали в исходном состоянии. Оценка свариваемости материала изделия

Важным этапом выполнения курсового проекта является определение структурного класса свариваемой стали. Он зависит от химического состава и влияет на технологические особенности сварки (необходимость выполнения термообработки, предварительного подогрева, ограничение погонной энергии, выбор защитной газовой среды и типа покрытия электродов).

Химический состав стали определяется по марочникам и справочникам. При поиске информации в сети Интернет необходимо обращать внимание на безопасность и достоверность источников публикаций. К наиболее достоверным источникам можно отнести ресурсы, содержащие электронные версии книг, базы нормативных и патентных документов, учебные издания [1–7].

В пояснительной записке должны быть приведены таблицы, содержащие информацию о химическом составе и механических свойствах свариваемой стали согласно ГОСТ (или ТУ):

– ГОСТ 380–2005 для углеродистой стали обыкновенного качества (марки Ст3, Ст2);

– ГОСТ 1050–2013 для нелегированных конструкционных качественных сталей (марки сталь 08, 10, 20);

– ГОСТ 19281–2014 для проката повышенной прочности из низколегированных сталей (марки 17ГС, 10ХСНД, 09Г2С, 14Г2АФ);

– ГОСТ 20072–74 для теплоустойчивых сталей (марки 12ХМ, 12Х1МФ, 15Х5М);

– ГОСТ 5632–2014 для высоколегированных сталей со специальными свойствами (нержавеющие стали и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные марок 08Х13, 20Х13, 11Х11Н2В2МФ, 15Х11МФ, 15Х12ВНМФ, 08Х17Т, 15Х25Т, 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т, 20Х23Н13, 08Х17Н13М2Т, 12Х18Н10Т, 08Х18Н10).

Исходя из химического состава, предела текучести и условий термообработки по стандарту СТБ ISO/TR 15608 [8] студентом должна быть установлена группа свариваемой стали (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Группировка сталей по СТБ ISO/TR 15608

Группа	Маркировка стали
1	Стали с установленным минимальным пределом текучести $\sigma_T \leq 460$ МПа и химическим составом в %: $C \leq 0,25$; $S \leq 0,6$; $Mn \leq 1,8$; $Mo \leq 0,7$; $S \leq 0,045$; $P \leq 0,045$; $Cu \leq 0,4$; $Ni \leq 0,5$; $Cr \leq 0,3$; $Nb \leq 0,06$; $V \leq 0,1$; $Ti \leq 0,05$
1.1	Стали с установленным $\sigma_T \leq 275$ МПа: Ст2, Ст3, 08, 10, 15, 20
1.2	Стали с установленным $275 < \sigma_T \leq 360$ МПа: 25, 15ГФ, 16ГС, 17ГС, 10Г2С1, 09Г2С ¹
1.3	Нормализованные мелкозернистые стали с установленным $\sigma_T > 360$ МПа: 09Г2С, 14Г2АФ, 16Г2АФ, 15Г2СФ, 10Г2ФБ, 10Х2ФБЮ ²

Группа	Маркировка стали
1.4	Стали с улучшенной коррозионной стойкостью по отношению к кислороду воздуха, химический состав которых может превышать граничные значения содержания отдельных элементов, приведенных для группы 1: 16Д, 09Г2Д, 09Г2Д-1, 10ХСНД, 14ХГНДЦ
¹ Классы прочности 295, 315, 325, 345, 355 по ГОСТ 19281-2014	
² Класс прочности 375 по ГОСТ 19281-2014	
2	Термомеханически обработанные мелкозернистые стали и литейные стали с $\sigma_T > 360$ МПа
2.1	Термомеханически обработанные мелкозернистые стали и литейные стали с $360 < \sigma_T \leq 460$ МПа: 16Г2АФ, 18Г2АФ ³
2.2	Термомеханически обработанные мелкозернистые стали и литейные стали с $\sigma_T > 460$ МПа: 08Г2МФБ, 09Г2ФБ, 16Х2ГСБ ⁴
³ Классы прочности 390, 440, 460 по ГОСТ 19281-2014	
⁴ Классы прочности 500, 550, 600 по ГОСТ 19281-2014	
3	Улучшенные закалкой и отпуском и дисперсионно-закаленные мелкозернистые стали, за исключением нержавеющей, с $\sigma_T > 360$ МПа
3.1	Улучшенные закалкой и отпуском мелкозернистые стали с $360 < \sigma_T \leq 690$ МПа: 20ХГСА, 12ГН2МФАЮ
3.2	Улучшенные закалкой и отпуском мелкозернистые стали с $\sigma_T > 690$ МПа: 16ХГМФТР, 25ХГСР, 25ХГСА, 25ХГНМТ
3.3	Дисперсионно-закаленные мелкозернистые стали, за исключением нержавеющей сталей: 30Х5М2Ф, 30Х5ФСБА
4	Низколегированные ванадием Cr–Mo(Ni) стали с содержанием Mo $\leq 0,7$ % V $\leq 0,1$ %
4.1	Стали с содержанием Cr $\leq 0,3$ % и Ni $\leq 0,7$ %: 14ХНГ, 15ХГНМ, 30ХМА
4.2	Стали с содержанием Cr $\leq 0,7$ % и Ni $\leq 1,5$ %: 12ХН2
5	Cr–Mo-стали, свободные от ванадия, с содержанием углерода $\leq 0,35$ %
5.1	Стали с содержанием $0,75 \% \leq Cr \leq 1,5 \%$ и Mo $\leq 0,7$ %: 10ХМ, 12ХМ, 15ХМ
5.2	Стали с содержанием $1,5 \% < Cr \leq 3,5 \%$ и $0,7 \% < Mo \leq 1,2 \%$: 10Х2М1
5.3	Стали с содержанием $3,5 \% < Cr \leq 7,0 \%$ и $0,4 \% < Mo \leq 0,7 \%$: 15Х5М
5.4	Стали с содержанием $7,0 \% < Cr \leq 10,0 \%$ и $0,7 \% < Mo \leq 1,2 \%$: 13Х9М
6	Легированные ванадием Cr–Mo–(Ni)-стали
6.1	Стали с содержанием $0,3 \% \leq Cr \leq 0,75 \%$, Mo $\leq 0,7 \%$ и V $\leq 0,35 \%$: 14ХМФ, 12Х1МФ
6.2	Стали с содержанием $0,75 \% < Cr \leq 3,5 \%$, $0,7 \% < Mo \leq 1,2 \%$ и V $\leq 0,35 \%$: 10Х2МФА, 12Х2МФБ
6.3	Стали с содержанием $3,5 \% < Cr \leq 7,0 \%$, Mo $\leq 0,7 \%$ и $0,45 \% \leq V \leq 0,55 \%$: 15Х5ВФ
6.4	Стали с содержанием $7,0 \% < Cr \leq 12,5 \%$, $0,7 \% < Mo \leq 1,2 \%$ и V $\leq 0,35 \%$: 12Х8ВФ, 15Х11МФ
7	Ферритные, мартенситные или дисперсионно-закаленные нержавеющей стали с содержанием C $\leq 0,35 \%$ и $10,5 \% \leq Cr \leq 30 \%$
7.1	Ферритные нержавеющей стали: 08Х17, 08Х18Т, 14Х17Н2, 15Х25Т
7.2	Мартенситные нержавеющей стали: 20Х13, 30Х13, 40Х10С2М (ЭИ 107)
7.3	Дисперсионно-закаленные нержавеющей стали: 06Х12НЗД, 08Х15Н5Д2Т

Группа	Маркировка стали
8	Аустенитные нержавеющие стали с содержанием $Ni \leq 31 \%$
8.1	Аустенитные нержавеющие стали с содержанием $Cr \leq 19 \%$: 12X18H10T, 12X18H9T, 12X18H9, 08X18H10, 03X17H13M2T, 03X17H13M3
8.2	Аустенитные нержавеющие стали с содержанием $Cr > 19 \%$: 20X23H13, 20X23H18, 20X25H20C2
8.3	Аустенитные марганцевые нержавеющие стали с содержанием $4 \% < Mn \leq 12 \%$: 10X14Г14Н4Т, 08X18Г8Н2Т, 12X25Н16Г7АР
9	Легированные Ni стали с содержанием $Ni \leq 10,0 \%$
9.1	Легированные Ni стали с содержанием $Ni \leq 3,0 \%$: 16ГНМ, 10ГН2МФА, 20Н2М
9.2	Легированные Ni стали с содержанием $3,0 \% < Ni \leq 8,0 \%$: 13Н5А, 0Н6А
9.3	Легированные Ni стали с содержанием $8,0 \% < Ni \leq 10,0 \%$: 0Н9
10	Аустенитно-ферритные (дуплексные) нержавеющие стали
10.1	Аустенитно-ферритные нержавеющие стали с содержанием $Cr \leq 24 \%$: 08X22Н6Т, 08X21Н6М2Т, 12X21Н5Т
10.2	Аустенитно-ферритные нержавеющие стали с содержанием $Cr > 24 \%$: X28АН (ЭИ 657)
11	Стали с химическим составом элементов, идентичным сталям группы 1, за исключением содержания углерода $0,25 \% < C \leq 0,85 \%$
11.1	Стали с содержанием $0,25 < C \leq 0,35 \%$: Ст5, 30, 35
11.2	Стали с содержанием $0,35 < C \leq 0,5 \%$: Ст6, 45, 50
11.3	Стали с содержанием $0,5 < C \leq 0,85 \%$: 55

Одним из важнейших технологических показателей свариваемости является углеродный эквивалент CE (Carbon equivalent), который используется для оценки совместного влияния на свариваемость содержащихся в стали легирующих элементов (для групп сталей с 1–4, 11 по СТБ ISO/TR 15608).

Существует несколько математических зависимостей для оценки CE , в курсовом проекте можно использовать следующие формулы и/или значения углеродного эквивалента, приведенные в сертификате на сталь:

– для проката из стали обыкновенного качества (например, Ст. 3 по ГОСТ 535-2005):

$$CE = C + \frac{Mn}{6}, \quad (1.1)$$

где C , Mn – массовая доля углерода и марганца соответственно, %;

– для качественных углеродистых (например, Сталь 20), мелкозернистых конструкционных сталей, не содержащих бор, можно применить формулу, рекомендованную Международным институтом сварки (International Institute of Welding):

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}, \quad (1.2)$$

где С – массовая доля углерода, %;

Mn – массовая доля марганца с граничным содержанием $\leq 1,7$ %;

Cr – массовая доля хрома с граничным содержанием $\leq 0,9$ %;

Mo – массовая доля молибдена с граничным содержанием $\leq 0,75$ %;

V – массовая доля ванадия с граничным содержанием $\leq 0,2$ %;

Ni – массовая доля никеля с граничным содержанием $\leq 1,0$ %;

Cu – массовая доля меди с граничным содержанием $\leq 0,9$ %;

– для низколегированных конструкционных сталей повышенной прочности (например, 09Г2С, 17ГС, 10ХСНД) можно применить формулу, рекомендованную ГОСТ 19281-2014:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cu}{13} + \frac{V}{14} + \frac{P}{2}, \quad (1.3)$$

где Si – массовая доля кремния, %;

P – массовая доля фосфора, %.

Значение $CE < 0,45$ считается оптимальным для обеспечения свариваемости. Если при расчете получены значения CE выше 0,45, то при сварке необходимо предусматривать специальные технологические мероприятия для регулирования термического цикла сварки, например, предварительный подогрев и/или термическую обработку, контроль величины погонной энергии сварки. Данный факт должен быть отражен в пояснительной записке в пп. 3.1 и 3.6.

Низколегированные теплоустойчивые стали групп 5, 6.1, 6.2, 6.3 по СТБ ISO/TR 15608 (например, 12ХМ, 15ХМФ) обладают удовлетворительной свариваемостью: при сварке требуется подогрев и термообработка, зависящие от толщины и химического состава свариваемого основного металла (специальные формулы для оценки свариваемости данных групп сталей не предусмотрены ТНПА).

Для оценки свариваемости высоколегированных сталей групп 6.4, 7, 8, 9, 10 по СТБ ISO/TR 15608 делается расчет эквивалентных значений хрома и никеля (CrEQ и NiEQ), приводится диаграмма Шеффлера (рис. 1.1.1, а), по которой определяется структура свариваемой стали.

Рассчитываются эквивалентные значения хрома и никеля по формулам:

$$CrEQ = \%Cr + \%Mo + 2\%Ti + 2\%Al + \%Nb + 1,5\%Si + \%V; \quad (1.4)$$

$$NiEQ = \%Ni + 30\%C + 30\%N + 0,5\%Mn. \quad (1.5)$$

Для обозначения легирующих элементов в марках сталей используются следующие буквы: Б – ниобий (Nb), В – вольфрам (W), Г – марганец (Mn), Д – медь (Cu), М – молибден (Mo), Н – никель (Ni), С – кремний (Si), Т – титан (Ti), Ф – ванадий (V), Х – хром (Cr), Ю – алюминий (Al).

Сущность эквивалентных значений хрома и никеля заключается в том, что все легирующие элементы, находящиеся в составе рассматриваемой стали, по

своему влиянию на конечную структуру являются аналогами хрома (ферритизаторами) либо аналогами никеля (аустенизаторами).

По значениям CrEQ и NiEQ на диаграмме Шеффлера наносится точка, соответствующая структуре стали: А – сталь аустенитного класса; Ф – сталь ферритного класса; М – сталь мартенситного класса; А + Ф – сталь аустенитно-ферритного класса. Если по диаграмме Шеффлера сталь попала в область А + Ф с ферритным числом FN менее 5 (например, рис. 1.1, б, т1), то технологию ее сварки следует описывать, как технологию сварки аустенитных сталей. Далее по литературным источникам [1–4] необходимо оценить свариваемость стали конкретного структурного класса.

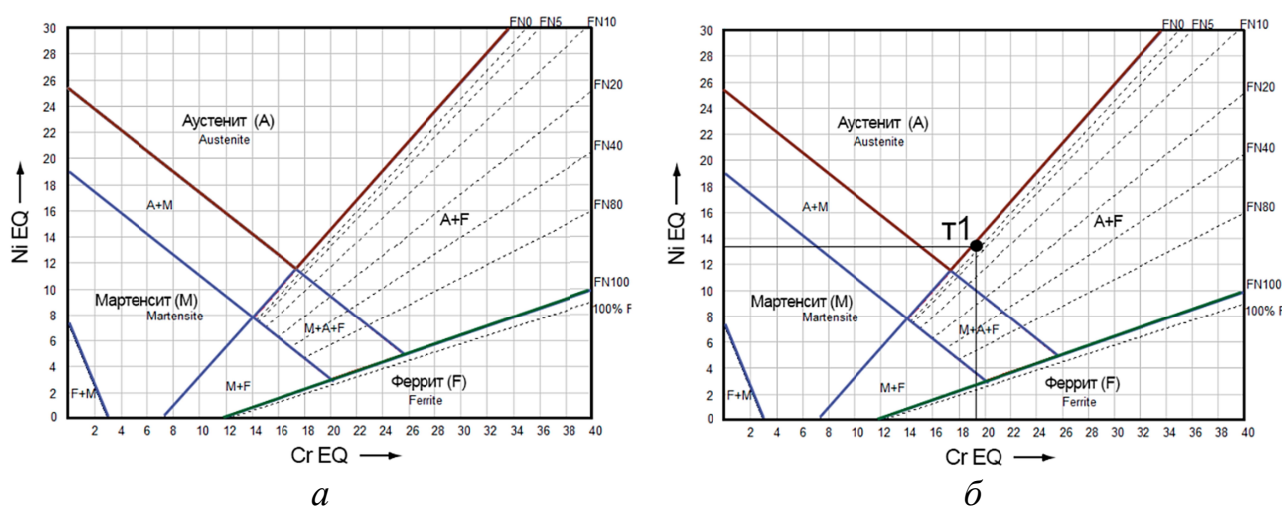


Рис. 1.1. Определение структуры высоколегированных сталей:

а – диаграмма Шеффлера; б – определение структуры на примере стали 08X18N10T (точка т1 соответствует структуре аустенитной стали, содержание феррита не превышает 1,5 %)

1.5.3. Техничко-экономическое обоснование выбора способа сварки изделия

Выбор способа сварки зависит от толщины и марки металла конструкции, требований к точности габаритных размеров, серийности производства и других факторов, которые следует учитывать при анализе. Первоначально можно предложить два-три способа сварки, которые могут быть использованы для данного изделия. Перечислить их достоинства и недостатки. Целесообразно анализ сопровождать укрупненными экономическими расчетами. Например, защитные смеси на основе аргона дороже CO_2 , однако при их применении снижаются затраты, связанные с разбрызгиванием и зачисткой деталей.

В условиях единичного производства возможно применение ручной дуговой сварки (РДС), при увеличении серийности программы выпуска – рационально использование механизированной и автоматической сварки.

1.5.4. Выбор листового или профильного сортаментного проката для изготовления деталей сварной сборочной единицы

После получения индивидуального задания в виде чертежа литой детали студент должен разработать конструкцию сварной сборочной единицы взамен предложенной детали. При разбиении необходимо соблюдать рекомендации по обеспечению технологичности подготовки деталей под сборку и сварку, а также оптимизации конструкции сварного соединения.

В пояснительной записке описывается каждая деталь, входящая в сборочную единицу с указанием ее массы, ГОСТа на листовую или профильный сортаментный прокат из заданной марки стали, а также необходимость заготовительных операций (резка, гибка, сверление, штамповка и т. д.).

По согласованию с руководителем курсового проекта допускается изменение конфигурации деталей сборочной единицы для улучшения ее технологичности (снижение массы и затрат на изготовление, удобства изготовления).

Чертеж каждой детали, входящей в сборочную единицу, должен быть представлен в графической части курсового проекта.

Рекомендуется выполнение следующих рекомендаций по технологическому конструированию:

– выполнение сварных ребер жесткости осуществляется с фасками для удобства сборки и компенсации деформаций при сварке (рис. 1.2);

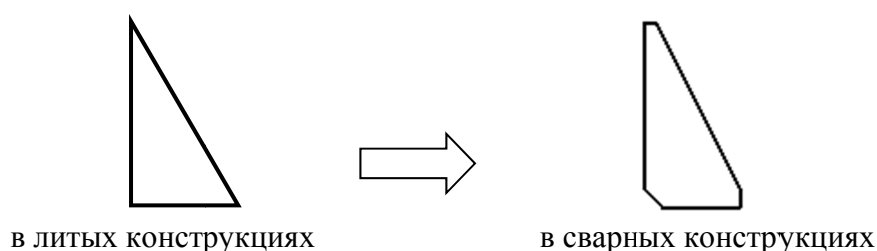


Рис. 1.2. Эскизы ребер жесткости конструкции

– расположение сварных швов должно обеспечивать возможность удобного выполнения сварки с вынесением сварных швов из тесного пространства (рис. 1.3);

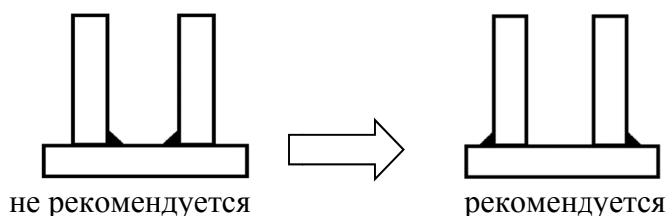


Рис. 1.3. Расположение сварных швов в доступных для сварки местах

– при соединении деталей разной толщины целесообразна замена угловых швов на стыковые (рис. 1.4);

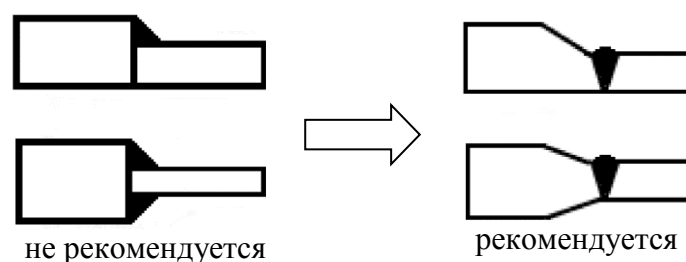


Рис. 1.4. Сварка деталей неравной толщины

– для опасных производственных объектов, работающих под избыточным давлением и/или повышенных температурах, сварные соединения необходимо выполнять с полным проплавлением для обеспечения их несущей способности в течение всего срока эксплуатации, предотвращения возникновения трещин и возможности проведения рентгенографического или ультразвукового производственного контроля сварных швов (рис. 1.5).

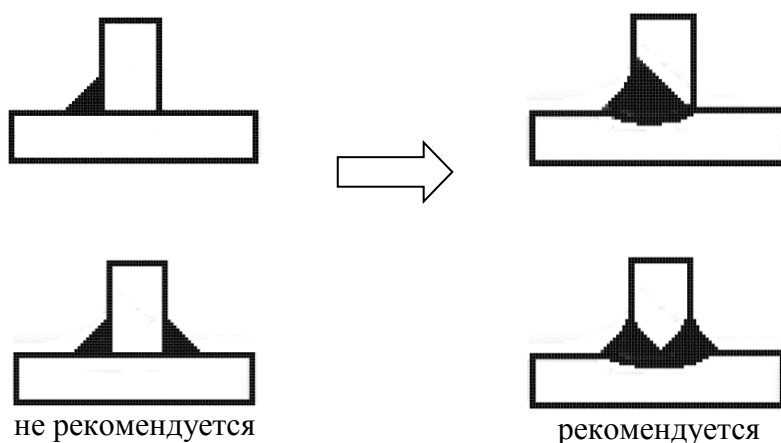


Рис. 1.5. Выполнение сварных соединений с полным проплавлением

1.5.5. Выбор типов сварных соединений и назначение геометрических параметров сварных швов

После разбиения исходного изделия на составляющие детали для их соединения между собой необходимо выбрать типы сварных швов по соответствующим стандартам. Для этого используются следующие ТНПА: ГОСТ 5264–80, ГОСТ 14771–76, ГОСТ 8713–79, ГОСТ 16037–80 (стальные трубопроводы), ГОСТ 23518–79, ГОСТ 11534–75, ГОСТ 11533–75, СТБ ИСО 9692–1 (ГОСТ ISO 9692–1–2016), СТБ EN 1708–1–2012 (сосуды, котлы, трубные доски). При выборе сварных соединений необходимо отталкиваться от толщины свариваемых деталей и месторасположения швов, а также возможности их выполнения с учетом выбранного способа сварки и пространственного положения.

Рассмотрим пример разбиения литой детали (рис. 1.6) на сборочную единицу. В курсовом проекте приводится таблица, в которой должны быть представлены эскизы деталей, входящих в сварную сборочную единицу, приведено

обозначение по стандарту на прокат, ссылка на лист графической части и масса детали (пример, табл. 1.2).

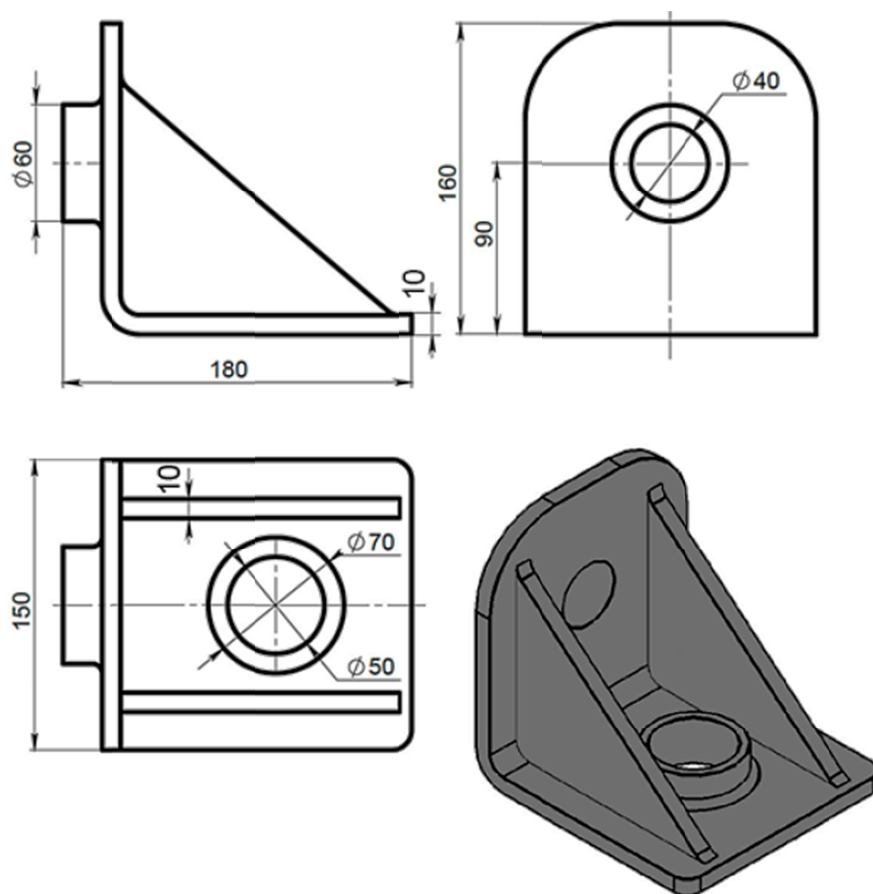


Рис. 1.6. Чертеж литой детали (кронштейн) из стали 20

Таблица 1.2

Эскизы деталей сварной сборочной единицы (кронштейна)

Номер позиции и чертежа	Эскиз детали	Обозначение проката или сортамента, обозначение чертежа детали
1	2	3
поз. 1 Планка верхняя		Резка из листового проката <i>Лист</i> $\frac{Б-ПН-О-10 \times 700 \times 6000 \text{ ГОСТ } 19903-2015}{20-ТВ1-М1-КИ-ТО-ДК1 \text{ ГОСТ } 1577-93}$ БНТУ XXX/XX.01.00.001¹ Масса детали $m_1 = 0,72 \text{ кг}$ (прил. Б)

1	2	3
поз. 2 Планка нижняя		Резка из листового проката Лист $\frac{Б-ПН-О-10 \times 700 \times 6000 \text{ ГОСТ } 19903-2015}{20-ТВ1-М1-КИ-ТО-ДК1 \text{ ГОСТ } 1577-93}$ БНТУ XXX/XX.01.00.002 Масса детали $m_2 = 0,74 \text{ кг}$ (прил. Б)
поз. 3 Труба верхняя		Резка из трубного проката Труба $\frac{60 \times 10 \times 6000 \text{ ГОСТ } 8732-78}{В 20 \text{ ГОСТ } 8731-74}$ БНТУ XXX/XX.01.00.003 Масса детали $m_3 = 0,25 \text{ кг}$ (прил. Б)
поз. 4 Труба нижняя		Резка из трубного проката Труба $\frac{70 \times 10 \times 6000 \text{ ГОСТ } 8732-78}{В 20 \text{ ГОСТ } 8731-74}$ БНТУ XXX/XX.01.00.004 Масса детали $m_4 = 0,29 \text{ кг}$
поз. 5 Ребро		Резка из листового проката Лист $\frac{Б-ПН-О-10 \times 700 \times 6000 \text{ ГОСТ } 19903-2015}{20-ТВ1-М1-КИ-ТО-ДК1 \text{ ГОСТ } 1577-93}$ БНТУ XXX/XX.01.00.005 Масса детали $m_5 = 0,65 \text{ кг}$
¹ в обозначении чертежей курсового проекта используется следующий шифр XXX / XX, где XXX – это три последние цифры зачетки студента, XX – год выполнения курсового проекта, например БНТУ 720/23.01.00.000.		

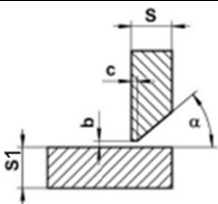
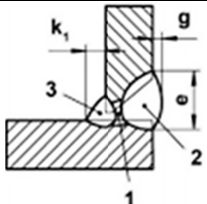
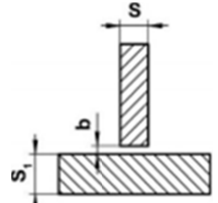
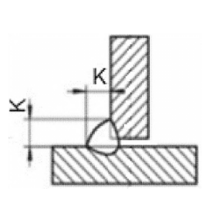
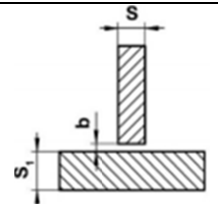
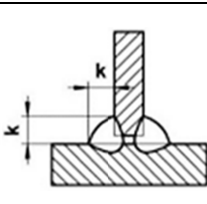
Далее студентом составляется сводная таблица (табл. 1.3), содержащая эскизы сварных швов с указанием их конструктивных элементов и размеров, количеством проходов при сварке, а также геометрическими параметрами подготовки кромок сварного соединения под сварку.

В графической части курсового проекта необходимо привести сборочный чертеж изделия с указанием всех сварных швов, а также спецификацию к нему (пример см. прил. Б). Сварные швы следует обозначать в тех местах, где видна их протяженность.

Обозначение сварных швов на разрезах не допускается, за исключением нестандартных швов (в случае необходимости, можно представить еще один главный вид сборочной единицы).

Таблица 1.3

Сводная таблица сварных соединений сборочной единицы (кронштейн)

Обозначение шва на чертеже	Наименование свариваемых узлов	Длина шва, мм	Конструктивные элементы			
			подготовленных кромок деталей		сварного шва	
№ 1 ГОСТ 5264-80-У7	Планка верхняя (поз. 1) + Планка нижняя (поз. 2)	160		$S = S_1 = 10 \text{ мм}$ $b = 2_{-2,0}^{+1,0} \text{ мм}$ $c = 1,0_{-0,5}^{+1,0} \text{ мм}$ $\alpha = 45 \pm 2^\circ$		$e = 16_{-0,5}^{+2,0} \text{ мм}$ $g = 0,5_{-0,5}^{+1,5} \text{ мм}$ $k_1 = 3_{-0,5}^{+1,0} \text{ мм}$
№ 2 ГОСТ 5264-80-Т1-Δ6	СБ (поз. 1 + поз. 2) + Труба верхняя (поз. 3) СБ (поз. 1 + поз. 2) + Труба нижняя (поз. 4)	188,4 219,8		$S = S_1 = 10 \text{ мм}$ $b = 0_{-1,0}^{+2,0} \text{ мм}$		$k = 6_{-1,0}^{+2,0} \text{ мм}$
№ 3 ГОСТ 5264-80-Т3-Δ6	СБ (поз. 1, 2, 3,4) + Ребро (поз. 5)	450		$S = S_1 = 10 \text{ мм}$ $b = 0_{-1,0}^{+2,0} \text{ мм}$		$k = 6_{-1,0}^{+2,0} \text{ мм}$

1.5.6. Расчет на прочность сварных соединений

При наличии в индивидуальном задании усилий, действующих на свариваемые детали, катет угловых швов необходимо рассчитать по формуле:

$$K = \frac{N}{\beta \cdot [\tau] \cdot L_{\text{ш}}}, \quad (1.6)$$

где N – усилие, действующее на деталь, Н;

β – коэффициент формы шва ($\beta = 0,7$ – для РДС; $\beta = 0,8$ – для механизированной сварки; $\beta = 0,9$ – для автоматической сварки);

$L_{\text{ш}}$ – длина шва, м;

$[\tau]$ – допускаемое напряжение при рабочей температуре, $[\tau] = 0,6[\sigma] = 0,6\sigma_{\text{в}}/2$, где $\sigma_{\text{в}}$ – предел прочности металла шва, МПа.

Несущие сварные швы трубы с трубной доской (рис. 1.7) должны иметь размеры, определяемые по формулам (1.7), (1.8), (1.9) [9].

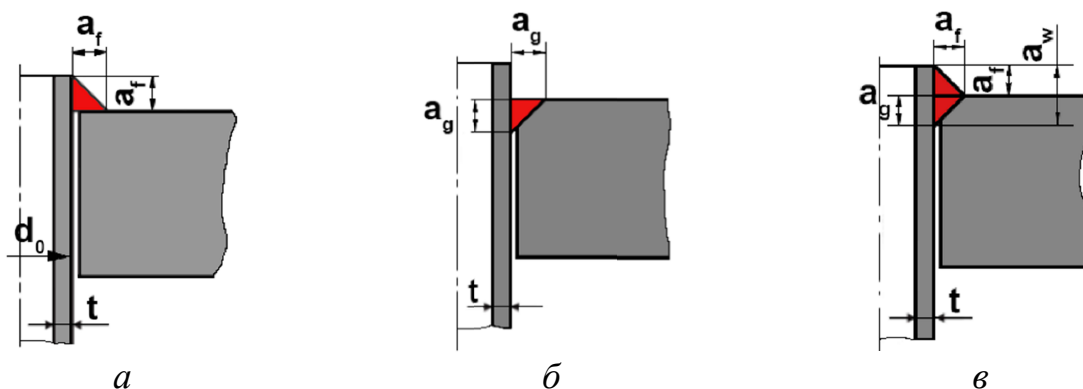


Рис. 1.7. Несущие сварные соединения труб с трубной доской:
 а – угловой шов с катетом a_f ; б – шов с разделкой кромок шириной a_g ; в – шов с разделкой кромок и катетом; t – толщина стенки трубы; d_0 – номинальный внешний диаметр трубы

Минимальный катет углового сварного шва по рис. 1.7, а:

$$a_f = \sqrt{(0,75d_0)^2 + 2,73t(d_0 - t)f_w f_d} - 0,75d_0, \quad (1.7)$$

где d_0 – внешний диаметр трубы, мм;

t – толщина стенки трубы, мм;

f_d – коэффициент прочности сварного шва, для соединений с полной прочностью $f_d = 1,0$; для соединений с частичной прочностью $f_d = F_d / F_t$;

F_d – расчетная прочность, МПа;

F_t – прочность трубы на растяжение, МПа;

f_w – коэффициент отношения расчетной прочности к прочности трубы;
 $f_w = S_a / S_w$;

S_a – допускаемое напряжение материала трубы, МПа;

S_w – допускаемое напряжение шва; $S_w = \min(S_a, S_t)$, МПа;

S_t – допускаемое напряжение материала трубной доски, МПа.

Для сварного шва по рис. 1.7, б:

$$a_g = \sqrt{(0,75d_0)^2 + 1,76t(d_0 - t)f_w f_d} - 0,75d_0. \quad (1.8)$$

Для комбинированного сварного шва по рис. 1.7, в:

$$a_w = 2 \left(\sqrt{(0,75d_0)^2 + 1,07t(d_0 - t)f_w f_d} - 0,75d_0 \right). \quad (1.9)$$

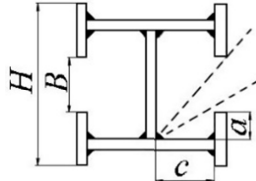
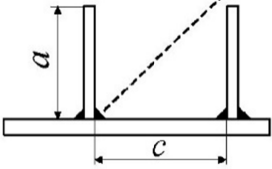
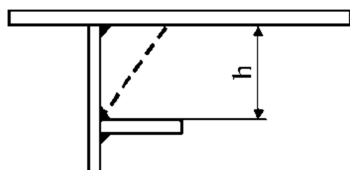
Соединения с полным проплавлением в курсовом проекте расчету на прочность не подлежат.

1.5.7. Проверка доступности выполнения сварных швов конструкции в заданном положении сварки

Проверяют доступность сварных швов в наиболее сложных узлах разработанной сборочной единицы, соблюдая при этом рекомендации, приведенные в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Доступность сварной конструкции для выполнения швов

Эскиз	Условия доступности выполнения швов
	$B \geq H - 2c$
	При $c \leq 400$ мм, $a \leq 2c$ мм; при $c > 400$ мм, $a \leq 600$ мм
	Сварка возможна при $h \geq 250$ мм

1.5.8. Технологические особенности сварки основного металла сварной конструкции выбранным способом сварки

Для изложения основных положений данного раздела студентам достаточно найти описание технологии сварки сталей, которые относятся к одному структурному классу со сталью, указанной в задании.

При описании технологии необходимо первоначально остановиться на трудностях, которые встречаются при сварке данной группы сталей, затем раскрыть основные направления преодоления этих трудностей. Далее необходимо подробно изложить особенности сварки стали выбранным способом. При этом рекомендуется использовать следующие литературные источники [1–4].

1.5.9. Расчет параметров режима сварки

Расчет параметров режима сварки ведется в зависимости от заданного способа сварки. Основными параметрами режима являются: сила сварочного тока $I_{\text{СВ}}$, напряжение на дуге U_2 , скорость подачи сварочной проволоки $V_{\text{П.ПР.}}$, диаметр электрода или проволоки $d_{\text{Э}}$, скорость сварки $V_{\text{СВ}}$.

Расчетные формулы для выполнения данного раздела курсового проекта подробно представлены в разделе 2 (см. практические занятия № 2, 3, 4, 5).

Первоначально следует задаться диаметром проволоки или электрода $d_{\text{Э}}$. Его значение зависит от требуемой глубины проплавления металла $H_{\text{ПР}}$ и способа сварки.

Глубина проплавления $H_{\text{ПР}}$, в свою очередь, определяется толщиной металла δ и типом сварного соединения:

- для стыковых односторонних швов глубина проплавления равна толщине свариваемого металла $H_{\text{ПР}} = \delta$ (сварка за один проход);
- для стыковых двухсторонних швов $H_{\text{ПР}} = 0,6\delta$ (сварка за два прохода);
- для стыковых швов, выполняемых на остающейся подкладке, $H_{\text{ПР}} = \delta + 1$ мм (сварка за один проход);
- для стыковых швов, выполняемых с разделкой кромок за несколько проходов, глубина проплавления валиков шва $H_{\text{ПР}} = 2,5\text{--}3$ мм;
- для угловых швов $H_{\text{ПР}} = 0,6K$.

Примерные значения диаметров электродов (проволоки) приведены в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Выбор диаметров электродов и сварочных проволок

Способ сварки	Глубина проплавления $H_{\text{ПР}}$, мм				
	до 1,5	1,5–3	3–5	5–10	10–20
	Диаметр электрода (проволоки) $d_{\text{Э}}$, мм				
Ручная дуговая покрытыми электродами, РДС (111)	по ГОСТ 9466-75				
	1,6; 2,0	2,0; 2,5	3,0; 4,0	4,0; 5,0	5,0; 6,0
	по стандартам ISO (EN)				
	1,6; 2,0	2,0; 2,5	3,2; 4,0	4,0; 5,0	5,0; 6,0
Механизированная в защитных газах (131, 135)	0,8; 1,0	1,0; 1,2	1,2	1,2; 1,6	1,6
Автоматическая в защитных газах (131, 135)	0,8; 1,0	1,0; 1,2	1,2; 1,6; 2,0	1,6; 2,0	3,0; 4,0
Автоматическая под флюсом (121)	0,8; 1,0	1,0; 1,2	2,0; 3,0	3,0; 4,0	4,0; 5,0

Для сварных швов, выполняемых с разделкой кромок, необходимо определить требуемое число проходов с целью обеспечения оптимального формирования сварного шва. Определение числа проходов осуществляется по следующей зависимости:

$$n = \frac{F_{\text{Н}} - F_1}{F_{\text{П}}} + 1, \quad (1.10)$$

где F_H – площадь поперечного сечения наплавленного металла за один проход, мм²;

F_1 – площадь поперечного сечения первого прохода, для РДС $F_1 = 6\text{--}8$ мм², для сварки в защитных газах $F_1 = 25\text{--}30$ мм²;

F_{II} – площадь поперечного сечения металла второго и последующих проходов, для РДС $F_{II} = 8\text{--}12$ мм², для сварки в защитных газах $F_{II} = 40\text{--}55$ мм².

1.5.10. Выбор сварочных материалов

Сварочные материалы выбирают в зависимости от структурного класса свариваемого металла, который определяется по химическому составу основного металла и выбранного способа сварки. Подбирают необходимые электроды (сварочную проволоку), защитный газ или флюс. Как правило, в литературе для сварки одной стали рекомендуется несколько марок электродов или проволок. Поэтому должно быть обоснование выбора, например, из соображений повышенной коррозионной стойкости, стойкости против образования кристаллизационных трещин и т. д. Для сварочных электродов должны быть указаны тип электрода, тип покрытия, марка электрода, а также приведен химический состав стержня.

Для сварочных проволок и флюса должны быть указаны марка и химический состав. Для всех сварочных материалов необходимо также указывать СТБ (ГОСТы), по которым они поставляются.

1.5.11. Выбор сварочного оборудования

Сварочное оборудование выбирается в зависимости от выбранного способа сварки по расчетным параметрам режима, основным из которых является сила сварочного тока. Подбирая источник питания, необходимо стремиться к выбору аппарата с диапазоном сварочного тока, наиболее близким к расчетному. Не следует отдавать предпочтение источникам питания с максимальным значением силы тока, значительно превышающим расчетное, т. к. это приводит к увеличению расхода электроэнергии. Ориентировочно можно разбить источники питания по трем группам: 150–200 А; 300–500 А; свыше 500 А. Немаловажным фактором являются и условия проведения сварочных работ (в цеху, на монтаже). Данный фактор оказывает влияние на требования к габаритным размерам и массе выбираемого оборудования.

Для ручной дуговой сварки в качестве источника питания должен быть выбран выпрямитель. Трансформаторы нельзя использовать для сварки высоколегированных сталей, которая производится на постоянном токе. Марка выпрямителя должна соответствовать рассчитанной силе сварочного тока. Обычно номинальный ток выпрямителя несколько превышает расчетное значение. Для механизированной сварки в защитном газе выбирается полуавтомат, который поставляется в комплекте с источником питания. Кроме силы сварочного тока, полуавтомат должен обеспечивать сварку проволокой выбранного диа-

метра, а также скорость подачи проволоки, полученную при расчете режима. При автоматической сварке при выборе оборудования используются те же критерии – $I_{\text{СВ}}$, $d_{\text{Э}}$, $V_{\text{П.ПР.}}$.

При выборе источника питания студентам необходимо учитывать требования по снижению расхода электроэнергии, затрачиваемой на выполнение сварочных работ. С этой точки зрения наиболее эффективными являются инверторные источники питания с высоким КПД.

1.5.12. Выбор и описание способов контроля сборочно-сварочных операций

При разработке технологии сварки изделия необходимо учитывать возможности последующего производственного контроля сварных соединений на наличие дефектов. Классификация дефектов при дуговой сварке изложена в стандарте СТБ ISO 6520–1–2009 [10].

В первую очередь любая сварная конструкция должна быть подвергнута визуально-измерительному контролю на наличие следующих дефектов сварных швов: поверхностные трещины и поры, нарушение геометрических размеров шва, непровары, подрезы и прочие дефекты.

Далее в зависимости от степени ответственности сварной конструкции производственный контроль может включать:

- ультразвуковой контроль по ГОСТ 14782–86 [11] или СТБ ЕН 1714–2002 [12];
- радиографический контроль по СТБ 1428–2003 [13] или СТБ ЕН 1435–2004 [14], ГОСТ ISO 17636–1–2017 [15];
- механические испытания контрольных образцов сварных соединений;
- испытания на стойкость к межкристаллитной коррозии и содержание δ -феррита для контрольных образцов сварных соединений;
- контроль общих габаритов конструкции, деформаций и точности размеров.

Определить объем и методы контроля студенту необходимо на основе требований, предъявляемых к проектируемой конструкции, изложенных им в пункте 1.1 пояснительной записки.

1.5.13. Разработка технологического процесса сборки, сварки и контроля и оформление технологической документации на процесс сварки

Под разработкой технологического процесса следует понимать выбор наиболее рациональных способов обработки, определение последовательности операций, связанных с изготовлением изделия, выбор рационального типа оборудования и приспособлений.

В графической части дипломного проекта студент отражает последовательность сборки и сварки изделия. Сборку конструкции можно проводить на универсальном сборочно-сварочном столе (рис. 1.8) или с применением специальной оснастки (вращатели, кантователи и т. д.). Необходимо привести техни-

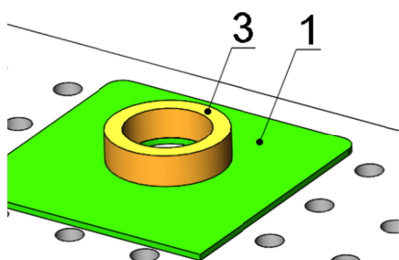
ческие характеристики применяемой оснастки (габаритные размеры, максимальную несущую способность и т. д.).

Пример описания последовательности сборки и сварки в графической части курсового проекта показан на рис. 1.8.



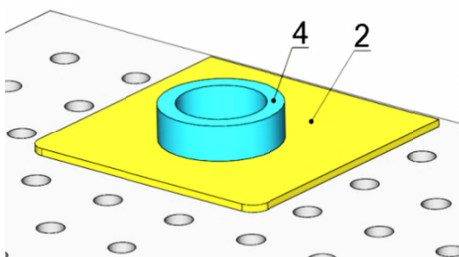
Для сборки и сварки кронштейна используется сварочный стол D16 со следующими характеристиками:

- размер рабочей поверхности 1000×1000 мм;
- отверстия 16 мм с координатной сеткой 50×50 мм;
- нагрузка макс. 100 кг



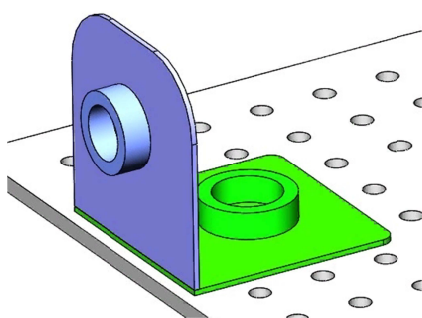
Содержание перехода:

- установка дет. поз. 1 и дет. поз. 3 по отверстию;
- прихватка (2 шт. по 5 мм);
- сварка кольцевого углового шва таврового соединения Т1(шов № 2, таблица 1.3) в горизонтально-вертикальном положении РВ;
- зачистка, внешний осмотр



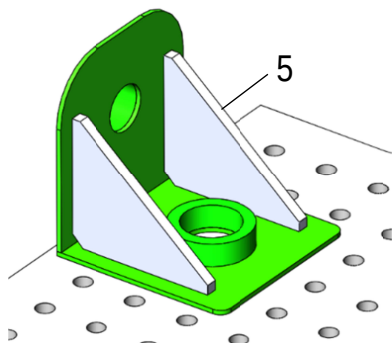
Содержание перехода:

- установка дет. поз. 2 и дет. поз. 4 по отверстию;
- прихватка (2 шт. по 5 мм);
- сварка кольцевого углового шва таврового соединения Т1(шов № 2, таблица 1.3) в горизонтально-вертикальном положении РВ;
- зачистка, внешний осмотр



Содержание перехода:

- установка первого и второго подузлов;
- прихватка (2 шт. по 10 мм);
- сварка 1-го прохода углового шва № 1 (У7) в положении РВ, зачистка корня шва, внешний осмотр;
- сварка 2-го прохода углового шва № 1 (У7) в положении РВ; зачистка, внешний осмотр;
- сварка 3-го прохода углового шва №1 (У7) в положении РВ, зачистка, внешний осмотр



Содержание перехода:

- установка по разметке двух ребер поз. 5;
- прихватка (15 шт. по 10 мм);
- сварка двухстороннего углового шва таврового соединения Т3 (шов № 3, таблица 1.3) в горизонтально-вертикальном положении РВ и вертикальном положении РВ;
- зачистка, внешний осмотр

Рис. 1.8. Последовательность сборки и сварки сборочной единицы (кронштейна)

Данная последовательность сборочно-сварочных операций должна полностью совпадать с излагаемой студентом в операционной (ОК) и/или маршрутной (МК) картах технологического процесса. Требования к заполнению и оформлению данных технологических документов представлены в разделе 2 (практическое занятие № 7).

Кроме оформления маршрутной и/или операционной карт на технологический процесс сварки студентом разрабатывается инструкция WPS или отчет-сертификат WPQR.

WPS (welding process specification) – документ, оформленный по результатам квалификации технологии сварки и содержащий необходимые параметры процедуры сварки для обеспечения повторяемости при выполнении сварки на производстве. Это основной документ, регламентирующий технологию сварки по международным нормам. Рекомендуемая форма для оформления инструкции WPS установлена стандартом СТБ ISO 15609–1 [16]. При оформлении WPS необходимо придерживаться не только отечественных норм, но и указывать международные обозначения (группы свариваемых материалов, обозначения способов сварки и т. д.).

WPQR (welding procedure qualification record) – запись, содержащая все необходимые данные для квалификации предварительной инструкции на технологический процесс сварки. WPQR содержит данные и сведения о результатах контроля и механических испытаний сварных соединений, а также область распространения квалифицированной технологии сварки. Рекомендуемая форма для оформления инструкции WPQR установлена стандартами СТБ ISO 15614–1 [17], СТБ ISO 15614–8 [18]. Пример оформления отчета-сертификата представлен в прил. В.

1.5.14. Расчет норм времени на выполнение сборочно-сварочных операций

Расчетные формулы для выполнения данного раздела курсового проекта подробно представлены в разделе 2 (практическое занятие № 6).

Последовательно должны быть рассчитаны все составляющие технически обоснованной нормы времени: основное время T_O , вспомогательное время T_B , подготовительно-заключительное время $t_{ПЗ}$, время на обслуживание рабочего места $t_{ОБС}$, время перерывов на отдых и личные надобности $t_{П}$ и определена норма штучного времени $T_{шт}$ на сборку и сварку изделия.

1.5.15. Расчет расхода сварочных материалов

При разработке технологии сварки после определения норм времени рассчитывают расход сварочных материалов: сварочной проволоки (электродов), защитного газа или флюса.

Расчетные формулы для выполнения данного раздела курсового проекта подробно представлены в разделе 2 (практическое занятие № 6).

1.5.16. Расчет расхода электроэнергии

Для приближенной оценки расхода электроэнергии в курсовом проекте используется следующая зависимость:

$$P_{\text{эл}} = \frac{I_{\text{СВ}} \cdot U_2 \cdot (T_{\text{О}} + T_{\text{ПР}})}{\eta}, \quad (1.11)$$

где η – КПД источника питания.

В табл. 1.6 представлены значения КПД для различных типов источников питания.

Таблица 1.6

Коэффициент полезного действия источников питания

Параметр	Тип источника питания					
	Традиционный (конвенциональный) источник питания					Инверторный источник питания
	ВД–306 ВДУ–305 ВСК–500	ВДГ–301 ВДГ–302 ВСЖ–303 ВД–303 ВДУ–601	ВДУ–506	ВДУ–1001 ВДУ–1201 ВДУ–504 ВДГ–601 ВДУ–505	ВДМ–1601 ВДГ–502 ВДМ–1001	
КПД, %	70	75	79	82	88–90	85–90

1.5.17. Сравнение базового и проектного вариантов изготовления изделия

Данный раздел в курсовом проекте отражает упрощенный вариант оценки целесообразности замены литья на дуговую сварку изделия и должен в обязательном порядке включать показатели согласно табл. 1.7.

Таблица 1.7

Сравнение базового и проектного вариантов изготовления изделия

№ п/п	Показатель	Базовый вариант	Проектный вариант
1	Технологический процесс изготовления	литье	РДС
2	Масса, кг: – основной металл конструкции – наплавленный металл – расход сварочных материалов		
3	Стоимость, руб.: – сварочных материалов – сварочного оборудования – литейного оборудования (ориентировочно)		
4	Затраты на электроэнергию, руб.		
5	Трудоемкость работ, ч		

1.5.18. Заключение

В заключении приводится сводная информация об объекте курсового проектирования, проделанном в ходе его выполнения объеме работ, выводы о технологичности предлагаемого процесса сборки и сварки изделия, перечень разработанных технологических документов по сборке и сварке изделия.

1.6. Защита курсового проекта

Законченный курсовой проект студент представляет на рецензию руководителю и при его положительной оценке защищает перед комиссией в составе преподавателей кафедры. К защите представляется полностью законченный проект, подписанный его автором и руководителем. Запись студентов на защиту производится заблаговременно в соответствии с графиком работы комиссии.

При оценке курсового проекта учитываются: полнота, качество и самостоятельность выполнения пояснительной записки; оформление графической части (соответствие ГОСТам) и расчетно-пояснительной записки (наличие пояснительных схем и эскизов, правильность расчетов, грамотность и стиль изложения); четкость доклада, сделанного студентом, и точность ответов на вопросы; объем и результативность применения вычислительной техники; работа с литературой.

РАЗДЕЛ 2. РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Практическое занятие № 1.

Обозначение сварных швов на чертежах

Шов сварного соединения, независимо от способа сварки, условно изображают сплошной основной линией – видимый шов (рис. 2.1, а), штриховой линией – невидимый шов (рис. 2.1, б). От изображения шва проводят линию-выноску, заканчивающуюся односторонней стрелкой.

На изображении сечения многопроходного шва допускается наносить контуры отдельных проходов, при этом их необходимо обозначить прописными буквами русского алфавита (рис. 2.1, в). Шов, размеры конструктивных элементов которого стандартами не установлены (нестандартный шов), изображается с указанием размеров, необходимых для выполнения шва по данному чертежу (рис. 2.1, г).

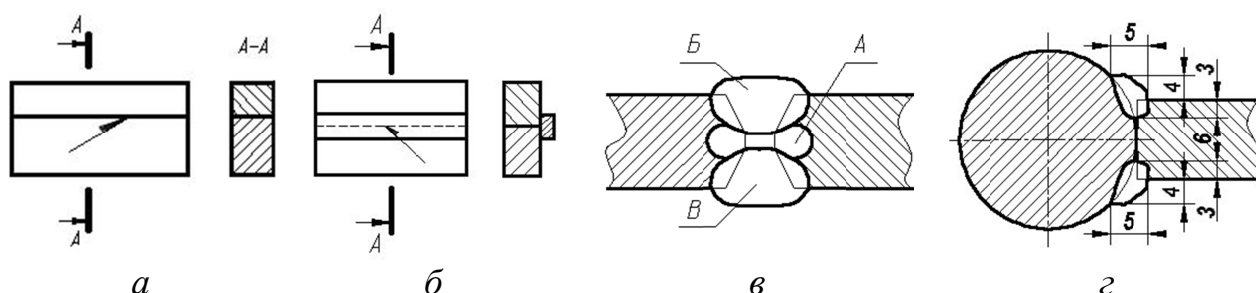


Рис. 2.1. Условное изображение сварных швов:

а – видимый шов; б – невидимый шов; в – многопроходной шов; г – нестандартный шов

Вспомогательные знаки для обозначения сварных швов приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Вспомогательные знаки для обозначения сварных швов

Вспомогательный знак		Значение знака
ГОСТ 2.312	ISO 2553	
1	2	3
		Выпуклость шва снять (плоская форма лицевой и/или оборотной стороны шва)
нет		Вогнутая форма шва без дополнительной механической обработки
нет		Выпуклая форма шва без дополнительной механической обработки
		Наплывы и неровности обработать с плавным переходом к основному металлу

1	2	3
		Шов выполнить при монтаже изделия, т. е. при установке его на месте применения
		Шов по замкнутой траектории
		Катет углового шва
	нет	Шов по незамкнутой траектории
		Шов прерывистый с цепным расположением
		Шов прерывистый с шахматным расположением
нет		Шов на остающейся подкладке
нет		Шов на съёмной подкладке
нет		Шов с подваркой корня

Структура условного обозначения швов приведена на рис. 2.2.

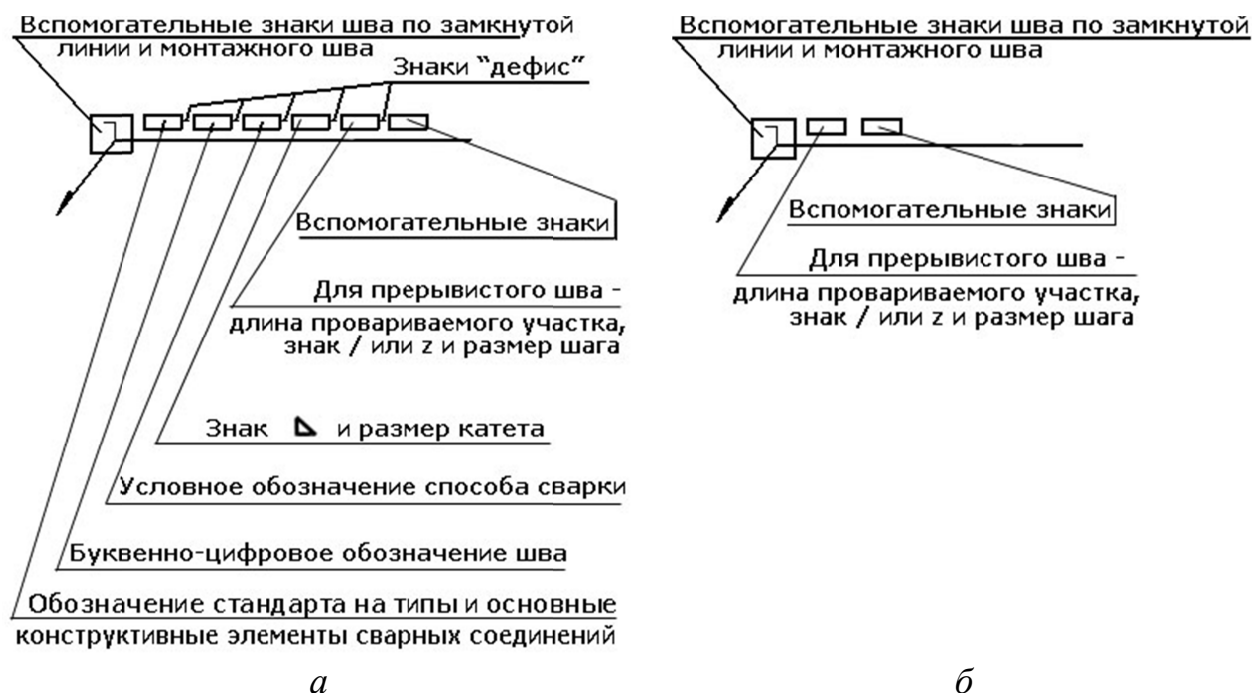


Рис. 2.2. Структура условного обозначения шва:
а – стандартный шов; б – нестандартный шов

Характер сварного соединения, его размеры, подготовка кромок регламентируются соответствующими стандартами. В сварочном производстве наиболее распространенными являются следующие ТНПА:

ГОСТ 5264–80 – Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры;

ГОСТ 11534–75 – Ручная дуговая сварка. Соединения сварные под острым и тупым углом;

ГОСТ 14771–76 – Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры;

ГОСТ 23518–79 – Дуговая сварка в защитных газах. Соединения сварные под острым и тупым углом;

ГОСТ 8713–79 – Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры;

ГОСТ 11533–75 – Сварка под флюсом. Соединения сварные под острым и тупым углом;

ГОСТ 14806–80 – Дуговая сварка алюминия в инертных газах;

ГОСТ 27580–88 – Дуговая сварка алюминия и алюминиевых сплавов в инертных газах. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры;

ГОСТ 16037–80 – Соединения сварные стальных трубопроводов. Основные типы, конструктивные элементы и размеры;

ГОСТ 16038–80 – Сварка дуговая. Соединения сварные трубопроводов из меди и медно-никелевого сплава. Основные типы, конструктивные элементы и размеры;

ГОСТ 16098–80 – Соединения сварные из двухслойных коррозионностойких сталей;

ГОСТ 14098–2014 – Сварка арматуры и закладных деталей;

СТБ 2174–2011 – Изделия арматурные сварные для железобетонных конструкций. Технические условия;

ГОСТ 15164–78 – Электрошлаковая сварка. Соединения сварные;

ГОСТ 14776–79 – Дуговая сварка. Соединения сварные точечные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

Тип сварного соединения в ЕСКД обозначается буквами: С – стыковое; Н – нахлесточное; У – угловое; Т – тавровое. Цифра после этой буквы уточняет тип подготовки кромок.

Для ГОСТ 14771–76 и ГОСТ 23518–79 необходимы пояснения, касающиеся рода защитного газа, вида электрода, а также степени механизации процесса (А – автоматическая сварка, П – механизированная сварка). Поэтому в этом стандарте предусмотрены следующие буквенные символы: УП – сварка в углекислом газе и его смеси с кислородом плавящимся электродом; ИП – сварка в инертных газах и их смесях с CO_2 плавящимся электродом; ИН – сварка в инертных газах неплавящимся электродом без присадочного металла; $\text{ИН}_\text{П}$ – сварка в инертных газах неплавящимся электродом с присадочным металлом.

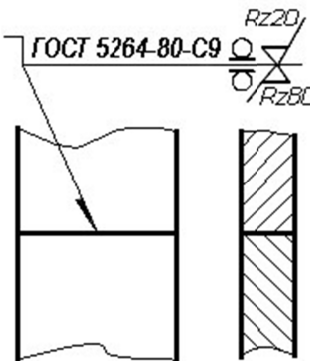
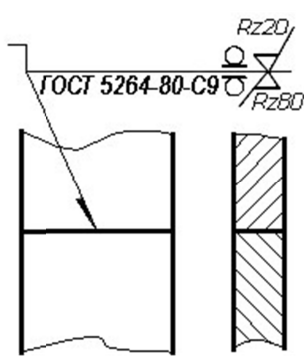
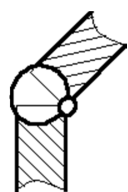
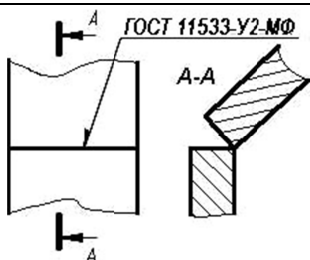
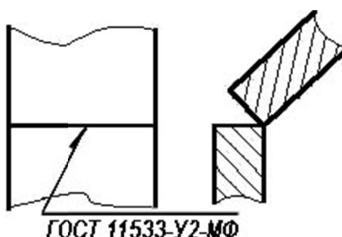
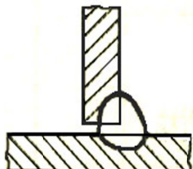
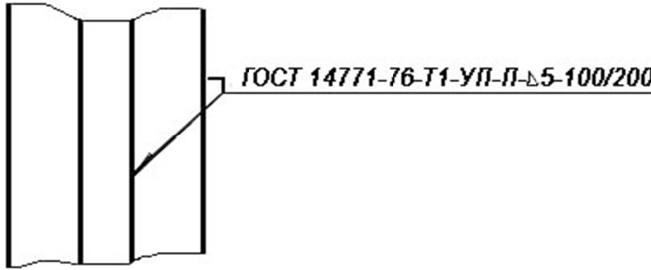
Для сварки под флюсом (ГОСТ 8713–79) даются пояснения, каким способом обеспечивается удержание сварочной ванны: АФ – автоматическая на весу; АФ_ф – автоматическая на флюсовой подушке; АФ_о – автоматическая на остающейся подкладке; МФ – механизированная на весу; МФ_о – механизированная на остающейся подкладке и т. д.

Для ГОСТ 16037–80 приняты следующие обозначения способа сварки: ЗП – дуговая сварка в защитном газе плавящимся электродом; ЗН – дуговая сварка в защитном газе неплавящимся электродом; Р – ручная дуговая сварка; Ф – дуговая сварка под флюсом; Г – газовая сварка.

В табл. 2.2 приведены примеры обозначения сварных соединений, выполняемых различными способами сварки.

Таблица 2.2

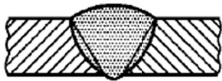
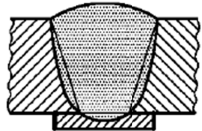
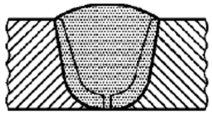
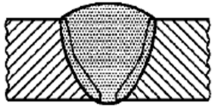
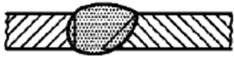
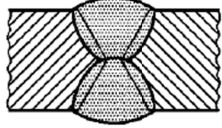
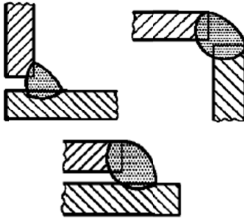
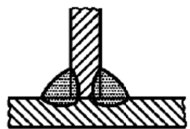
Примеры условных обозначений швов сварных соединений

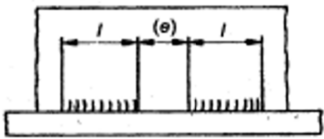
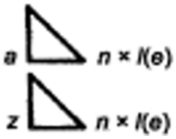
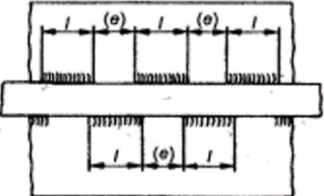
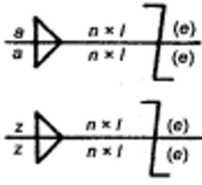
Характеристика шва	Эскиз шва	Условное обозначение шва	
		с лицевой* стороны	с оборотной стороны
Шов стыкового соединения с криволинейным скосом одной кромки, двусторонний. Выполняется ручной дуговой сваркой при монтаже изделия. Усиление снято с обеих сторон. Параметр шероховатости шва $R_z = 20$ мкм (с лицевой стороны), $R_z = 80$ мкм (с оборотной)			
Шов углового соединения без скоса кромок, двусторонний, выполняемый механизированной сваркой под флюсом			
Тавровое соединение, сваренное на монтаже односторонним прерывистым швом катетом 5 мм, длина провариваемого участка шва 100 мм, шаг 200 мм механизированной сваркой в CO_2			
* За лицевую сторону одностороннего шва сварного соединения принимают сторону, с которой производят сварку. За лицевую сторону двустороннего шва сварного соединения с несимметрично подготовленными кромками принимают сторону, с которой производят сварку основного шва. За лицевую сторону двустороннего шва сварного соединения с симметрично подготовленными кромками может быть принята любая сторона.			

Для обозначения сварных соединений по стандарту СТБ ИСО 2553–2004 [19] используются условные графические знаки, указанные в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Обозначение сварных соединений по международному стандарту ISO 2553

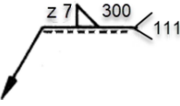
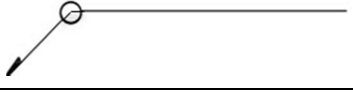
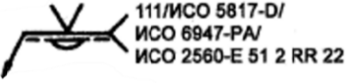
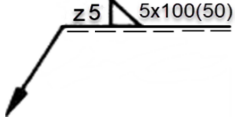
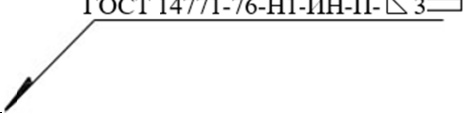
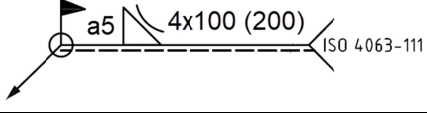
№ п/п	Эскиз	Обозначение	Пояснение
1			Стыковой шов без разделки кромок
2		∇	Стыковой шов с V-образной разделкой кромок
3		∇ ₊	Стыковой шов с V-образной разделкой кромок, увеличенным зазором, на подкладке
4		∪	Стыковой шов с U-образной разделкой кромок
5		∇ _×	Стыковой шов с фигурной разделкой кромок
6		∇ ₁	Стыковой шов с односторонним скосом кромки
7		X	Стыковой шов с X-образной разделкой кромок
8		∇ _⊂	Стыковой шов с V-образной разделкой кромок и подваркой корня шва
9		△	Односторонний угловой шов (с катетом)
10		▷	Двухсторонний угловой шов (с катетом)

11			Прерывистый угловой шов: a – номинальная толщина шва, мм; z – катет шва, мм; n – количество сваренных участков; l – длина провариваемого участка, мм; (e) – длина промежутка между соседними сваренными участками, мм
12			Шахматный прерывистый угловой шов

Задание 1. По варианту, выданному преподавателем (табл. 2.4), изобразить эскиз произвольной сварной конструкции, состоящей из двух или нескольких деталей. На данном эскизе указать следующие размеры: толщины свариваемых деталей и их габаритны, сечение сварного шва и все его конструктивные элементы согласно ТНПА.

Таблица 2.4

Исходные данные задания 1

№ варианта	Обозначение сварного шва	
	по ЕСКД	по СТБ ИСО 2553-2003
1	ГОСТ 16037-80-С2-Р 	
2	ГОСТ 5264-80-T1-Δ 5 	
3	ГОСТ 8713-79-С19-АФo 	
4	ГОСТ 14771-76-Н1-ИИ-П-Δ 3 	

Задание 2. Найдите ошибки в обозначении сварных соединений и приведите корректные обозначения по указанному ТНПА:

Вариант № 1: ГОСТ 5264-80-С6-Δ5; ГОСТ 14771-76-Н1-УН-П-Δ5.

Вариант № 2: ГОСТ 11534-75-T1-Δ8; ГОСТ 11534-75-С2-МФф.

Вариант № 3: ГОСТ 14771-76-Н2-УН-А-Δ5; ГОСТ 16037-80-С17-Δ3.

Вариант № 4: ГОСТ 16037-80-С2; ГОСТ 8713-79-С4-ПФф.

Практическое занятие № 2.
Расчет параметров режима ручной дуговой сварки
покрытыми электродами

Основными параметрами режима ручной дуговой сварки покрытыми электродами (РДС) являются диаметр электрода $d_{\text{э}}$, сила сварочного тока $I_{\text{св}}$, напряжение на дуге $U_{\text{д}}$, скорость сварки $V_{\text{св}}$.

Диаметр электрода $d_{\text{э}}$ является определяющим для остальных параметров режима сварки. При малом диаметре электрода невозможно обеспечить высокие значения сварочного тока и снижается производительность труда, а при больших диаметрах возможна сварка на большой погонной энергии, перегрев основного металла и значительные деформации после сварки.

Наиболее распространенные диаметры электрода: $\varnothing 2,5$ мм (для сварки металла малой толщины и корневых проходов многопроходных швов); $\varnothing 3$ и $\varnothing 4$ мм широко применимы, но нужно учитывать, что сварку ответственных конструкций из теплоустойчивых и высоколегированных сталей выполняют диаметром не более 3 мм. Диаметр 4 мм обеспечивает достаточно большие сварочные токи, поэтому данным диаметром сваривают стали обладающие хорошей свариваемостью, нечувствительные к термдеформационному циклу сварки.

Для определенной марки электродов диапазон возможных сварочных токов и напряжений на дуге производитель указывает на упаковке электродов.

Однако существуют общие расчетные зависимости для определения параметров режима для конкретной глубины проплавления и типа сварного соединения. Рекомендации по выбору глубины проплавления $H_{\text{пр}}$ и диаметру электрода представлены в разделе 1 (п. 1.5.9, табл. 1.5).

В качестве примера рассмотрим расчет параметров режима РДС (111 способ сварки по СТБ ISO 4063 [20]) для сварного соединения по ГОСТ 5264-80-T1 (рис. 2.3).

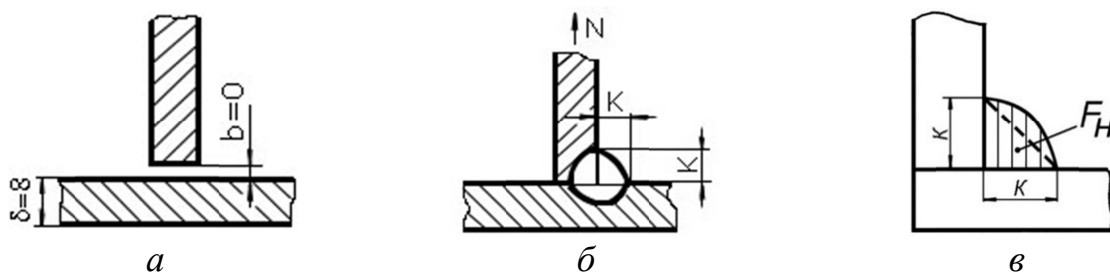


Рис. 2.3. Эскиз сварного соединения:

a – подготовка кромок под сварку; $б$ – сварной шов; $в$ – площадь поперечного сечения наплавленного металла

При наличии действующего усилия $N = 32$ кН и длине шва $L_{\text{ш}} = 100$ мм необходимо рассчитать катет шва по формуле (1.6):

$$K = \frac{N}{0,8[\tau]L_{\text{ш}}} = \frac{32\,000}{0,8 \cdot 90 \cdot 10^6 \cdot 0,1} = 4,4 \text{ мм.} \quad (2.1)$$

Принимаем катет $K = 5$ мм. При таком катете по рекомендациям раздела 1 (п. 1.5.9, табл. 1.5) глубина проплавления углового шва $H_{\text{пр}} = 0,6K = 3$ мм.

По табл. 1.5 (п. 1.5.9) диаметр электрода $d_{\text{э}} = 3$ мм.

Если внешние нагрузки на шов не заданы и толщина металла небольшая (около 2–6 мм), то принимают катет K равным толщине основного металла δ . В отдельных случаях (швы без нагрузок, связующие швы) принимают минимальные катеты швов по ГОСТ 5264-80 прил. 1. При сварке металла с разной толщиной деталей катет должен быть не более 120 % от толщины более тонкой детали. Катеты более 6–7 мм выполняют за несколько проходов.

При РДС силу сварочного тока $I_{\text{св}}$ определяют по формуле:

$$I_{\text{св}} = \frac{\pi d_{\text{э}}^2}{4} \cdot j = \frac{3,14 \cdot 3^2}{4} \cdot 16 = 113 \text{ А.} \quad (2.2)$$

Плотность тока j , А/мм^2 , можно определить по табл. 2.5, зная диаметр электрода $d_{\text{э}}$ и вид покрытия.

Принимаем сварочный ток $I_{\text{св}} = 115$ А.

Таблица 2.5

Значения плотностей тока при РДС

Вид покрытия электрода	Допускаемая плотность тока в электроде j , А/мм^2 , при $d_{\text{э}}$, мм			
	3	4	5	6
Кислое (А), рутиловое (R)	14–20	11,5–16	10–13,5	9,5–12,5
Основное (В)	13–18,5	10–14,5	9–12,5	8,5–12,0

Для РДС напряжение на дуге $U_{\text{д}}$ определяют по ИЕС 60974-1 [21]:

$$U_{\text{д}} = 20 + 0,04 \cdot I_{\text{св}} = 20 + 0,04 \cdot 115 = 24,6 \text{ В.} \quad (2.3)$$

Принимаем напряжение на дуге $U_{\text{д}} = 25$ В.

Скорость сварки $V_{\text{св}}$, м/ч, вычисляют по формуле:

$$V_{\text{св}} = \frac{\alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{св}}}{\gamma \cdot F_{\text{н1}}} = \frac{9 \cdot 115}{7,85 \cdot 15} = 8,8 \text{ м/ч} \quad (2.4)$$

где $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент наплавки, 8–10 г/(А·ч) для РДС;

γ – плотность металла, г/см³;

$F_{\text{н1}}$ – площадь наплавленного металла за один проход, мм².

Принимаем скорость сварки $V_{\text{св}} = 9$ м/ч.

Площадь наплавленного металла F_H для угловых швов (рис. 2.3, в) определяется как площадь треугольника, умноженная на коэффициент a_ϕ , учитывающий форму шва ($a_\phi = 1$ для швов с нормальной выпуклостью; $a_\phi = 1,2$ для выпуклых швов; $a_\phi = 0,9$ для вогнутых швов):

$$F_H = 0,5 \cdot K^2 \cdot a_\phi \cdot \sin \alpha = 0,5 \cdot 5^2 \cdot 1,2 \cdot \sin 90 = 15 \text{ мм}^2, \quad (2.5)$$

где K – номинальное значение катета шва, мм;

α – угол, под которым свариваются детали.

Сварку осуществляем за один проход, поэтому $F_{H1} = F_H = 15 \text{ мм}^2$.

При другой форме разделки кромок для расчета площади наплавленного металла используются формулы (2.9), (2.10), (2.11) практического задания № 3.

Задание. Рассчитайте параметры режима для швов из низкоуглеродистой стали:

Вариант № 1: ГОСТ 5264-80-Н1- Δ 3, толщина основного металла 3 мм.

Вариант № 2: ГОСТ 5264-80-Т3- Δ 4, толщина основного металла 4 мм.

Вариант № 3: ГОСТ 16037-80-Р-Н4, толщина основного металла 3 мм.

Вариант № 4: ГОСТ 16037-80-Р-У5, толщина основного металла 6 мм.

Практическое занятие № 3.

Расчет параметров режима сварки в защитных газах

Сварка в защитных газах может проводиться плавящимся (например, 135 способ сварки по СТБ ISO 4063) и неплавящимся электродом (141 способ сварки по СТБ ISO 4063).

Для сварки плавящимся электродом в среде активных газов основными параметрами режима являются диаметр электрода (проволоки) $d_э$, сила сварочного тока $I_{св}$, напряжение на дуге $U_д$, скорость сварки $V_{св}$, скорость подачи проволоки $V_{п.пр.}$

В качестве примера рассмотрим расчет параметров режима сварки в углекислом газе соединения по ГОСТ 14771-76-УП-П-С4 (рис. 2.4).

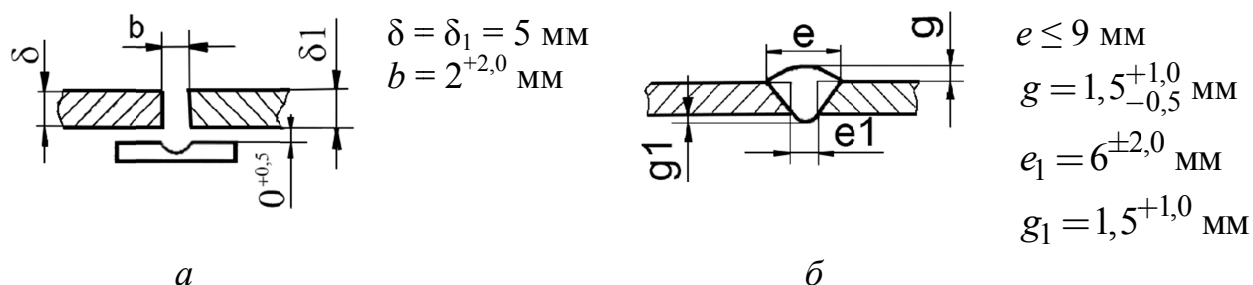


Рис. 2.4. Эскиз сварного соединения:
а – подготовка кромок под сварку; б – сварной шов

Рекомендации по выбору глубины проплавления $H_{\text{ПР}}$ и диаметру электрода (проволоки) $d_{\text{Э}}$ представлены в разделе 1 (п. 1.5.9, табл. 1.5): для одностороннего стыкового шва на съемной подкладке глубина проплавления $H_{\text{ПР}} = \delta = 5$ мм, диаметр проволоки $d_{\text{Э}} = 1,2$ мм.

Для сварки плавящимся электродом в среде защитных газов силу сварочного тока $I_{\text{СВ}}$ можно определить по формуле:

$$I_{\text{СВ}} = \frac{H_{\text{ПР}}}{K_{\text{П}}} \cdot 100 = \frac{5}{1,75} \cdot 100 = 286 \text{ А}, \quad (2.6)$$

где $K_{\text{П}}$ – коэффициент пропорциональности, зависящий от условий сварки. Его определяют по табл. 2.6.

Принимаем сварочный ток $I_{\text{СВ}} = 280$ А.

Таблица 2.6

Значения коэффициента $K_{\text{П}}$

Способ сварки	Диаметр электродной проволоки, мм	Постоянный ток	
		прямая полярность DC (–)	обратная полярность DC (+)
В среде активного газа	1,2	–	1,75
	1,6	–	1,55
	2,0	–	1,45
	3,0	–	1,35
	4,0	–	1,20

После вычисления силы сварочного тока нужно уточнить диаметр проволоки по формуле:

$$d_{\text{Э}} = 1,13 \sqrt{\frac{I_{\text{СВ}}}{j}} = 1,13 \sqrt{\frac{280}{200}} = 1,34 \text{ мм}, \quad (2.7)$$

где j – допустимая плотность тока, А/мм², (табл. 2.7).

Таблица 2.7

Значение плотности тока при автоматической и механизированной сварке

Диаметр проволоки, мм	< 2	2	3	4	5
Плотность тока j , А/мм ²	90–200	60–120	45–90	35–60	30–50

Теоретический расчет по формуле (2.7) показывает, что сварку нужно выполнять на диаметрах проволоки 1,6 мм. Однако в производственной практике

большинства машиностроительных предприятий проволока диаметром 1,2 мм используется на токах до 350 А, при этом значительно возрастает такой параметр режима, как скорость подачи проволоки, поэтому подающий механизм должен быть хорошо отрегулирован, а сварочная проволока должна быть ровной, без заломов и загрязнений.

При автоматической и роботизированной сварке часто применяют диаметры проволоки 2 мм, 3 мм и более, в таких случаях желательно применять специальные механические устройства для выпрямления сварочной проволоки для обеспечения ее равномерной подачи в зону сварки.

Для сварки плавящимся электродом в среде защитных газов напряжение на дуге U_D определяют по ИЕС 60974-1 [21]:

$$U_D = 14 + 0,05 \cdot I_{CB} = 14 + 0,05 \cdot 280 = 28 \text{ В.} \quad (2.8)$$

Принимаем напряжение на дуге $U_D = 28 \text{ В}$.

Скорость сварки V_{CB} , м/ч, вычисляют по формуле (2.4):

$$V_{CB} = \frac{\alpha_H \cdot I_{CB}}{\gamma \cdot F_{H1}} = \frac{12 \cdot 280}{7,85 \cdot 26,875} = 15,93 \text{ м/ч.}$$

Коэффициент наплавки для сварки плавящимся электродом в защитных газах $\alpha_H = (12-14) \text{ г/(А} \cdot \text{ч)}$.

Принимаем скорость сварки $V_{CB} = 16 \text{ м/ч}$.

Площадь наплавленного металла стыкового шва определяется площадями геометрических фигур, которые заполняются электродным металлом при сварке. Для шва, выполненного без разделки кромок, общая площадь наплавленного металла состоит из площади зазора между деталями F_3 и площади выпуклости шва F_B с лицевой стороны и корня шва (рис. 2.5, а):

$$F_H = F_3 + F_B = b \cdot H_{ПР} + 0,75 \cdot e \cdot g + 0,75 \cdot e_1 \cdot g_1, \quad (2.9)$$

где b – номинальное значение зазора между деталями, мм;

e, g – номинальное значение ширины и выпуклости шва с лицевой стороны, мм;

e_1, g_1 – номинальное значение ширины и выпуклости корня шва, мм.

В рассматриваемом примере сварку осуществляем за один проход, поэтому $F_{H1} = F_H = 26,875 \text{ мм}^2$.

$$F_H = 2 \cdot 5 + 0,75 \cdot 9 \cdot 1,5 + 0,75 \cdot 6 \cdot 1,5 = 10 + 10,125 + 6,75 = 26,875 \text{ мм}^2.$$

При наличии разделки кромок (рис. 2.5, б) общая площадь наплавленного металла включает в себя дополнительно площадь разделки F_P :

$$F_H = F_3 + F_B + F_P. \quad (2.10)$$

При двусторонней V-образной разделке F_p состоит из площади двух прямоугольных треугольников:

$$F_p = 2F'_p = S^2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}, \quad (2.11)$$

где β – номинальное значение угла разделки кромок (рис. 2.5, б);
 S – высота кромки шва без притупления (рис. 2.5, б), мм.



Рис. 2.5. Определение площади наплавленного металла:
 а – стыковой шов без разделки кромок; б – шов с разделкой кромок

Скорость подачи сварочной проволоки, $V_{п.пр}$, м/ч, вычисляют по формуле:

$$V_{п.пр} = \frac{\alpha_H \cdot I_{св}}{\gamma \cdot F_{\text{э}}} = \frac{12 \cdot 280}{7,85 \cdot 1,13} = 379 \text{ м/ч} = 6,3 \text{ м/мин}, \quad (2.12)$$

где $F_{\text{э}}$ – площадь сечения электрода (проволоки), $F_{\text{э}} = \frac{\pi d_{\text{э}}^2}{4}$, мм².

$$F_{\text{э}} = \frac{\pi d_{\text{э}}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} = 1,13 \text{ мм}^2.$$

Принимаем $V_{п.пр} = 380$ м/ч.

Величину полученных расчетных значений $V_{п.пр}$ можно уточнить по ГОСТ 8213-75 [22] и ГОСТ 18130-79 [23].

Рекомендуемый вылет электродной проволоки при сварке в среде активных газов на обратной полярности DC(+): 10–12 мм для диаметра проволоки 1,0; 11–13 мм для диаметра проволоки 1,2; 15–18 мм для диаметра проволоки 1,6; 18–25 мм для диаметра проволоки 2,0.

Для сварки неплавящимся электродом в среде активных газов может выполняться с подачей присадочного прутка (141 способ сварки по СТБ ISO 4063) или без него (142 способ сварки по СТБ ISO 4063). К основным параметра режима данного способа сварки относят: диаметр неплавящегося электрода, диаметр присадочного прутка, силу сварочного тока $I_{св}$, напряжение на дуге U_d . Как правило, вышеперечисленные параметры режима сварки выбирают по справочным данным, например, табл. 2.8, 2.9.

Для сварки неплавящимся электродом напряжение на дуге U_d существенно ниже, чем для других способов сварки и определяется по формуле [21]:

$$U_d = 10 + 0,04 \cdot I_{CB}. \quad (2.13)$$

Таблица 2.8

Величина сварочного тока для различных диаметров неплавящегося электрода и защитного газа при ручной и автоматической сварке

Диаметр неплавя- щегося электрода, мм	Сварочный ток, А						
	АС ¹		DC (–) ²				DC (+) ³ Любой электрод/ газ
	Чистый вольфрам	Тори- ро- ванный	Чистый вольфрам		Торированный		
			Ar	He	Ar	He	
1,0	20–30	20–60	20–70	25–80	15–80	30–90	–
2,0	30–80	60–120	70–135	80–145	50–150	60–160	10–20
2,4	60–130	100–180	150–225	160–235	135–250	140–260	15–30
3	100–180	160–250	220–360	230–390	250–400	410–525	25–40
4	160–240	200–320	360–450	380–500	400–500	410–525	40–55

¹ переменный ток рекомендуется для алюминия, магния и их сплавов.

² постоянный ток прямой полярности рекомендуется для сталей, нержавеющей сталей и других металлов.

³ постоянный ток обратной полярности используется редко. Применяется в тех случаях, когда требуется минимальное проплавление деталей (наплавка).

Таблица 2.9

Рекомендации по выбору параметров режима сварки неплавящимся электродом

Основной металл	Толщина основного металла, мм	Диаметр неплавящегося электрода, мм	Сварочный ток, А		Защитный газ		Диаметр присадочного прутка, мм
			тип	величина	тип	расход, л/мин	
Алюминий	3,0	2,4	АС	90–140	Ar	5,5–9,5	2,4
Низкоуглеродистая сталь	4,0	2; 2,4	DC(–)	90–120		5–7	2,4
Нержавеющая аустенитная сталь	3,0	2; 2,4	DC(–)	80–110		6–8	2,4

Задание. Рассчитайте параметры режима для сварных швов из низкоуглеродистой стали:

Вариант № 1: ГОСТ 16037-80-ЗП-Н4, толщина основного металла 3 мм, ГОСТ 14771-76-ИН-Н1-Δ3, толщина основного металла 3 мм.

Вариант № 2: ГОСТ 16037-80-ЗП-У5, толщина основного металла 6 мм, ГОСТ 14771-76-ИН-Н1-Δ4, толщина основного металла 4 мм.

Вариант № 3: ГОСТ 14771-76-УП-П-Н1-Δ3, толщина основного металла 3 мм, ГОСТ 16037-80-ЗН-Н1, толщина основного металла 3 мм.

Вариант № 4: ГОСТ 14771-76-ИП-П-Т3-Δ4, толщина основного металла 4 мм, ГОСТ 16037-80-ЗН-С2, толщина основного металла 3 мм.

Практическое занятие № 4.

Расчет параметров режима сварки под флюсом

Сварка под флюсом является весьма производительным способом, который позволяет сваривать за один проход большие толщины протяженных по длине швов. Как правило, этот способ сварки реализуется на автоматических установках или робототехнических комплексах. Сварка преимущественно ведется в нижнем положении. Для удержания сварочной ванны используются следующие технологические приемы: сварка на остающихся и съемных подкладках, сварка на флюсовой подушке, сварка на медном ползуне.

К основным параметрам режима сварки под флюсом относятся диаметр электрода (проволоки) $d_э$, сила сварочного тока $I_{св}$, напряжение на дуге $U_д$, скорость сварки $V_{св}$, скорость подачи проволоки $V_{п.пр}$.

В качестве примера рассмотрим расчет режимов для шва по ГОСТ 8713-79-Аф-С4 (рис. 2.6), сварка автоматическая, шов стыковой на флюсовой подушке). Первоначально задается диаметр сварочной проволоки $d_э$, зависящий от требуемой глубины проплавления основного металла. Рекомендации по выбору глубины проплавления $H_{пр}$ и диаметру электрода (проволоки) $d_э$ представлены в разделе 1 (п. 1.5.9, табл. 1.5): для одностороннего стыкового шва на флюсовой подушке глубина проплавления $H_{пр} = \delta = 8$ мм, диаметр проволоки $d_э = 4$ мм.

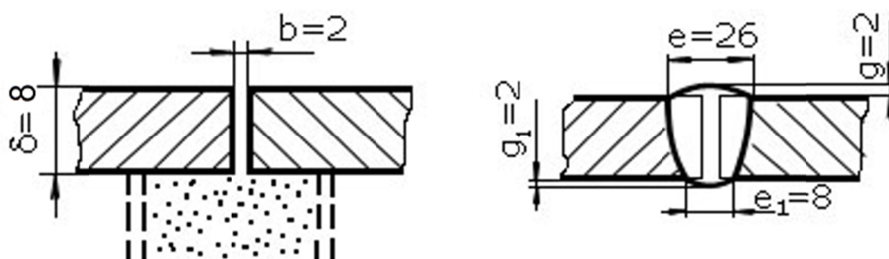


Рис. 2.6. Эскиз сварного соединения

Для сварки под флюсом силу сварочного тока $I_{св}$ можно определить по формуле (2.6):

$$I_{св} = \frac{H_{пр}}{K_{п}} \cdot 100 = \frac{8}{1,1} \cdot 100 = 727 \text{ А},$$

где $K_{п}$ – коэффициент пропорциональности, зависящий от условий сварки.

Коэффициент K_{Π} определяют по табл. 2.10, сварку ведут преимущественно на постоянном токе обратной полярности DC (–).

Принимаем сварочный ток $I_{\text{СВ}} = 730 \text{ А}$.

Для сварки под флюсом напряжение на дуге $U_{\text{Д}}$ определяют по формуле (2.3):

$$U_{\text{Д}} = 20 + 0,04 \cdot I_{\text{СВ}} = 20 + 0,04 \cdot 730 = 49,2 \text{ В}.$$

Принимаем напряжение на дуге $U_{\text{Д}} = 50 \text{ В}$.

Таблица 2.10

Значения коэффициента K_{Π} для сварки под флюсом

Диаметр электродной проволоки, мм	Переменный ток (АС)	Постоянный ток	
		прямая полярность DC (+)	обратная полярность DC (–)
2	1,25	1,15	1,40
3	1,10	0,95	1,25
4	1,00	0,90	1,10
5	0,95	0,85	1,05
6	0,90	–	–

Скорость сварки $V_{\text{СВ}}$, м/ч, вычисляют по формуле (2.4):

$$V_{\text{СВ}} = \frac{\alpha_{\text{Н}} \cdot I_{\text{СВ}}}{\gamma \cdot F_{\text{Н1}}} = \frac{14 \cdot 730}{7,85 \cdot 67} = 19,43 \text{ м/ч}.$$

Коэффициент наплавки для сварки под флюсом $\alpha_{\text{Н}} = (13–16) \text{ г/(А·ч)}$.

Принимаем скорость сварки $V_{\text{СВ}} = 20 \text{ м/ч}$.

Общая площадь наплавленного металла $F_{\text{Н}}$ стыкового шва без разделки кромок вычисляем по формуле (2.9):

$$F_{\text{Н}} = F_{\text{З}} + F_{\text{В}} = b \cdot H_{\text{ПР}} + \frac{3}{4} e \cdot g + \frac{3}{4} e_1 \cdot g_1 = 2 \cdot 8 + \frac{3}{4} \cdot 26 \cdot 2 + \frac{3}{4} \cdot 8 \cdot 2 = 67 \text{ мм}^2.$$

Сварку осуществляем за один проход, поэтому $F_{\text{Н1}} = F_{\text{Н}} = 67 \text{ мм}^2$.

Скорость подачи сварочной проволоки $V_{\text{П.ПР}}$, м/ч, вычисляют по формуле (2.12):

$$V_{\text{П.ПР}} = \frac{\alpha_{\text{Н}} \cdot I_{\text{СВ}}}{\gamma \cdot F_{\text{Э}}} = \frac{14 \cdot 730}{7,85 \cdot 12,56} = 103,6 \text{ м/ч} = 1,7 \text{ м/мин},$$

где $F_{\text{Э}}$ – площадь сечения электрода (проволоки), $F_{\text{Э}} = \frac{\pi d_{\text{Э}}^2}{4}$, мм².

$$F_{\Xi} = \frac{\pi d_{\Xi}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 4^2}{4} = 12,56 \text{ мм}^2.$$

Принимаем $V_{\text{п.пр}} = 105 \text{ м/ч}$.

Задание. Рассчитайте параметры режима для сварных швов из низкоуглеродистой стали:

Вариант № 1: ГОСТ 8713-79-АФм-С4, толщина основного металла 6 мм.

Вариант № 2: ГОСТ 8713-79-АФо-С5, толщина основного металла 5 мм.

Вариант № 3: ГОСТ 8713-79-АФ-С7, толщина основного металла 8 мм.

Вариант № 4: ГОСТ 8713-79-АФф-С29, толщина основного металла 8 мм.

Практическое занятие № 5.

Расчет параметров режима сварки многопроходных швов

Сварные соединения с разделкой кромок, как правило, выполняются за несколько проходов, поэтому при расчете параметров режима общая площадь наплавленного металла должна быть разбита на количество проходов (слоев) при сварке. Заполнение разделки кромок технологически возможно наложением отдельных слоев (рис. 2.7, а) или ниточных валиков (рис. 2.7, б).

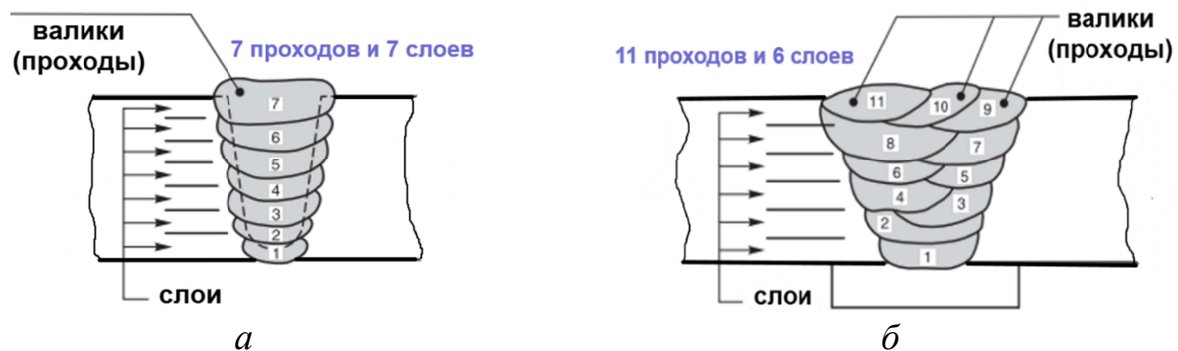


Рис. 2.7. Технологические способы заполнения разделки кромок:

а – заполнение разделки кромок слоями; б – заполнение разделки кромок валиками

Для ручной дуговой сварки покрытыми электродами и сварки в защитных газах плавящимся электродом приближенно определить число проходов можно по формуле (1.10) (п. 1.5.9).

При задании количества проходов необходимо учитывать следующее:

- высота слоя не должна превышать 3–4 мм, например, при толщине основного металла 6 мм количество слоев должно быть не менее двух, при толщине 12 мм – не менее трех–четырех;

- заполнение разделки кромок желательно выполнять электродами (проводами) одинакового диаметра (за исключением корня шва при РДС, который выполняется электродами 2,5 или 3 мм);

- глубина проплавления $H_{\text{пр}}$ для многопроходных сварных швов принимается равной 1,5–2,5 мм (рис. 2.8).

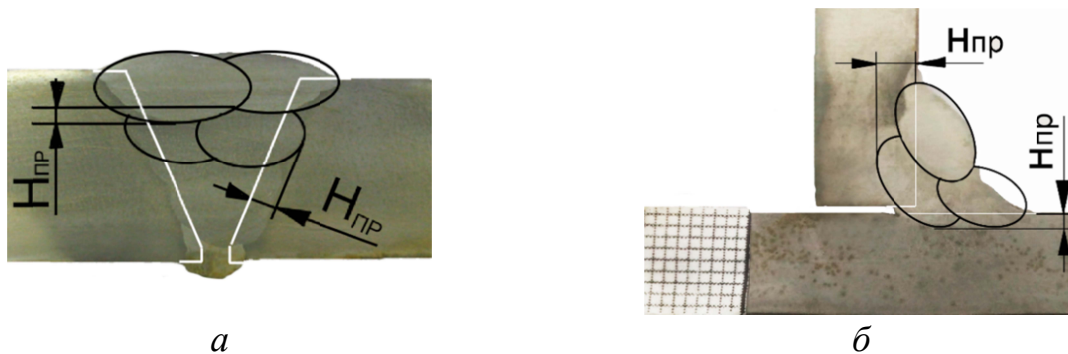


Рис. 2.8. Макрошлифы многопроходных швов и их глубина проплавления $H_{\text{ПР}}$:
 a – стыковой шов; $б$ – угловой шов

В качестве примера рассмотрим расчет параметров режима РДС соединения по ГОСТ 5264-80-С8 (рис. 2.9) из низкоуглеродистой стали.



Рис. 2.9. Эскиз сварного соединения

Для рассматриваемого примера площадь наплавленного металла может быть определена по формулам (2.10), (2.11):

$$F_{\text{Н}} = b \cdot H_{\text{ПР}} + \frac{3}{4} e \cdot g + 0,5 S^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = 2 \cdot 6 + \frac{3}{4} \cdot 12 \cdot 0,5 + 0,5 \cdot 5^2 \cdot \operatorname{tg} 45^\circ = 29 \text{ мм}^2.$$

Сварку корневого шва (первый проход) будем осуществлять электродом диаметром $d_3 = 3$ мм. Для заполнения разделки оставим тот же диаметр электрода. С учетом найденной площади наплавленного металла $F_{\text{Н}}$ определяем приблизительное число проходов по формуле (1.10) (п. 1.5.9):

$$n = \frac{F_{\text{Н}} - F_1}{F_{\text{П}}} + 1 = \frac{29 - 6 \cdot 3}{8 \cdot 3} + 1 = 1,46.$$

Следовательно, сварку необходимо осуществлять в два прохода.

Назначаем режимы для сварки корневого шва (первый проход): $d_3 = 3$ мм, $I_{\text{СВ}} = 90 \dots 100$ А, $U_{\text{д}} = 22 \dots 24$ В, $V_{\text{СВ}} = 10 \dots 12$ м/ч.

Для последующих проходов силу сварочного тока определяем по формуле (2.2):

$$I_{CB} = \frac{\pi d_{\text{э}}^2}{4} \cdot j = \frac{3,14 \cdot 3^2}{4} \cdot 16 = 113 \text{ А.}$$

Принимаем сварочный ток $I_{CB} = 115 \text{ А}$.

Для РДС напряжение на дуге U_d определяют по формуле (2.3):

$$U_d = 20 + 0,04 \cdot I_{CB} = 20 + 0,04 \cdot 115 = 24,6 \text{ В.}$$

Принимаем напряжение на дуге $U_d = 25 \text{ В}$.

Для определения скорости сварки по формуле (2.4) необходимо распределить общую площадь наплавленного металла по проходам.

В упрощенном случае для рассматриваемого примера можно принять, что на сварку корневого прохода приходится 30 % от общей площади наплавленного металла F_H , а на последующие проходы 70 % от F_H . Тогда по формуле (2.4) для сварки второго прохода получим следующую скорость сварки:

$$V_{CB} = \frac{\alpha_H \cdot I_{CB}}{\gamma \cdot F_{H1} \cdot 100} = \frac{9 \cdot 115}{7,85 \cdot 0,7 \cdot 29} = 6,5 \text{ м/ч.}$$

Принимаем скорость сварки $V_{CB} = 6,5 \text{ м/ч}$.

При сложной форме разделки кромок иногда вычислить площадь наплавленного металла для каждого из проходов по геометрическим формулам бывает затруднительно, тогда можно использовать графический метод: на миллиметровой бумаге в масштабе 10:1 вычерчивается эскиз сварного шва и по клеткам вычисляется площадь наплавленного металла для каждого из проходов (рис. 2.10).

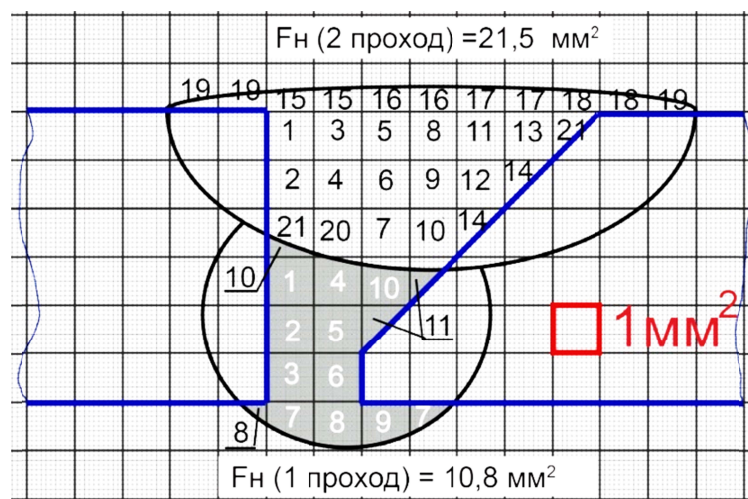


Рис. 2.10. Определение площади наплавленного металла графическим методом

При вычислении площади наплавленного металла для отдельных слоев графическим методом мы получили совпадение с аналитическим расчетом по формулам (2.10), (2.11). Незначительные расхождения связаны с тем, что в аналитическом методе не учитывается выпуклость корня шва.

Задание. Рассчитайте параметры режима для многопроходных сварных швов из низкоуглеродистой стали:

Вариант № 1: ГОСТ 5264-80-С17, толщина основного металла 5 мм.

Вариант № 2: ГОСТ 5264-80-С17, толщина основного металла 12 мм.

Вариант № 3: ГОСТ 14771-76-УП-ТЗ-△10, толщина основного металла 10 мм.

Вариант № 4: ГОСТ 14771-76-УП-Н2-△8, толщина основного металла 8 мм.

Практическое занятие № 6.

Расчет норм времени и расхода сварочных материалов

Составными частями технически обоснованной нормы времени являются, основное время T_O , вспомогательное время T_B , подготовительно-заключительное время $t_{ПЗ}$, время на обслуживание рабочего места $t_{ОБС}$, время перерывов на отдых и личные надобности $t_{П}$ [24; 25].

Основное время T_O – это время, затрачиваемое непосредственное на образование сварного шва (время горения дуги).

Вспомогательным T_B называется время, затрачиваемое на выполнение действий, создающих нормальные условия для выполнения основной работы: установка и снятие изделий, кантование и поворот, измерение размеров и т. д.

Вспомогательное время состоит из времени, зависящего от длины шва $T_{Вшва}$, и времени, зависящего от изделия и оборудования $T_{Визд}$.

Сумма основного T_O и вспомогательного времени $T_{Вшва}$ называется оперативным временем $T_{ОП} = T_O + T_{Вшва}$.

Подготовительно-заключительное время $t_{ПЗ}$ включает в себя такие операции, как получение производственного задания, инструктаж, изучение чертежей, получение и сдача инструмента, осмотр и подготовка оборудования к работе и т. д.

Время на обслуживание рабочего места $t_{ОБС}$ включает в себя время на установку режима сварки, наладку полуавтомата или автомата, уборку огарков или флюса, инструмента и т. д.

Время перерывов на отдых и личные надобности $t_{П}$ зависит от удобства выполнения сборочно-сварочных операций.

Основное время при сварке в нижнем положении (РА, РВ) $T_{O_НИЖ}$ определяется по формуле:

$$T_{O_НИЖ} = \frac{M_{НМ}}{\alpha_H \cdot I_{СВ}}, \quad (2.14)$$

где $M_{НМ}$ – масса наплавленного металла, г, $M_{НМ} = F_H \cdot L_{Ш} \cdot \gamma$;

γ – плотность металла, г/см³;

F_H – площадь поперечного сечения наплавленного металла, см²;

$L_{Ш}$ – длина шва, см.

Если шов непрерывный односторонний, то длина шва $L_{Ш}$ равна длине изделия $L_{И}$; если шов непрерывный двухсторонний, то $L_{Ш} = 2L_{И}$. Длина изделия

$L_{\text{И}}$ определяется студентом по чертежам сборочной единицы и детализовке, представленной в графической части курсового проекта.

Для прерывистых швов:

$$L_{\text{Ш}} = \frac{L_{\text{И}}}{L_{\text{ШАГ}}} \cdot L_{\text{У}}, \quad (2.15)$$

где $L_{\text{У}}$ – длина непрерывного (провариваемого) участка шва, см;

$L_{\text{ШАГ}}$ – расстояние от начала одного участка шва до начала другого, см.

$L_{\text{У}}$ и $L_{\text{ШАГ}}$ указываются в обозначении сварного соединения, например, 100/200. При шахматном расположении прерывистых швов (например, 100Z200) полученное по формуле значение $L_{\text{Ш}}$ увеличивается вдвое.

Рассчитанное по формуле (2.14) основное время сварки может быть проверено по формуле:

$$t'_{\text{О}} = \frac{L_{\text{Ш}}}{V_{\text{СВ}}}. \quad (2.16)$$

Рассчитанные $T_{\text{О_НИЖ}}$ и $t'_{\text{О}}$ могут отличаться в пределах погрешности вычислений. Для многопроходных швов данная проверка не выполняется.

Исходным объектом нормирования при определении основного времени на сварку является участок прямолинейного шва, выполненного в нижнем положении. Поэтому основное время сварки $T_{\text{О}}$ должно уточняться исходя из вида, положения и протяженности швов изготавливаемого сварного изделия. Для уточнения основного времени на сварку вводят поправочный коэффициент $K_{\text{ПОЛ}}$, зависящий от положения шва в пространстве:

$$T_{\text{О}} = T_{\text{О_НИЖ}} \cdot K_{\text{ПОЛ}}, \quad (2.17)$$

где $K_{\text{ПОЛ}} = 1,0$ для швов в нижнем положении сварки (РА, РВ);

$K_{\text{ПОЛ}} = 1,18$ для швов в вертикальном положении (РГ);

$K_{\text{ПОЛ}} = 1,32$ для швов в горизонтальном положении (РС);

$K_{\text{ПОЛ}} = 1,5$ для швов в потолочном положении и неповоротных стыков труб (РЕ, РД, РН, Н-Л045).

Вспомогательное время, зависящее от длины сварного шва $T_{\text{ВШВА}}$, состоит из следующих составляющих:

$$T_{\text{ВШВА}} = (t_{\text{КР}} + n \cdot (t_{\text{ЗАЧ}} + t_{\text{ПЕР}} + t_{\text{ОБМ}} + t_{\text{БР}} + t_{\text{Э}}) + t_{\text{ОСМ}}) \cdot L_{\text{Ш}}, \quad (2.18)$$

где $t_{\text{КР}}$ – время на зачистку кромок шва от ржавчины и других загрязнений, мин (табл. 2.11);

n – количество проходов при сварке шва, шт, формула (1.10);

$t_{\text{ЗАЧ}}$ – время на зачистку сварного шва от шлака после каждого прохода, мин (табл. 2.12);

$t_{\text{ПЕР}}$ – время на перемещения (переходы) сварщика на 1 м шва, мин, $t_{\text{ПЕР}} = 0,132$ мин;

$t_{\text{ОБМ}}$ – время на обмазку, мин (табл. 2.13);

$t_{\text{БР}}$ – время на зачистку брызг, мин (табл. 2.14);

$t_{\text{Э}}$ – время на смену электрода при ручной дуговой сварке (табл. 2.15) или время на заправку кассеты с электродной проволокой (при автоматической и механизированной сварке (табл. 2.16);

$t_{\text{ОСМ}}$ – время на осмотр и промер сварного шва, мин (табл. 2.17).

Таблица 2.11

Время на зачистку кромок перед сваркой от ржавчины и оксидной пленки

Способ зачистки	Толщина металла, мм	Разделка кромок					
		без скоса кромок			со скосом кромок		
		тип соединения					
		стыко- вое	тавро- вое	угловое или нахлес- точное	стыко- вое	тавро- вое	угло- вое
		Время $t_{\text{кр}}$ на 1 м шва, мин					
Механизи- рованный (шлиф- машинкой)	до 10 вкл.	0,43	0,51	0,47	0,47	0,56	0,52
	от 10 до 20	0,51	0,6	0,56	0,56	0,66	0,61

Таблица 2.12

Время на зачистку сварного шва после каждого прохода

Наименование изделия	Тип соединения	Разделка кромок			
		без скоса кромок		со скосом кромок	
		Число проходов, шт			
		один	два и более	один	два и более
		Время $t_{\text{ЗАЧ}}$ на 1 м шва, мин			
Листовой прокат	стыковое	0,2	0,36	0,22	0,4
	тавровое	0,22	0,41	0,24	0,44
	угловое	0,24	0,44	0,26	0,48
	нахлесточное	0,21	0,39	—	—
Труба	стыковой	0,3	0,54	0,33	0,6
	тавровое	0,32	0,6	0,35	0,65
	угловое	0,36	0,66	0,39	0,72
	нахлесточное	0,31	0,58	—	—

Таблица 2.13

Время на обмазку раствором поверхности металла околошовной зоны

Тип соединения	Положение шва в пространстве			
	нижнее РА, РВ	вертикальное горизонтальное РФ, РН, РС	потолочное РЕ, РД	наклонное Н-ЛО45
	Время $t_{обм}$ на 1 м шва, мин			
Стыковое или нахлесточное	0,35	0,38	0,41	0,62
Тавровое или угловое	0,43	0,46	0,51	0,65

Таблица 2.14

Время на зачистку сварного шва от брызг

Способ зачистки	Тип шва	Толщина металла, мм	Способ подготовки околошовной зоны					
			без обмазки			с обмазкой		
			Положение шва					
			ниж- нее РА, РВ	верт. или гориз. РГ, РН, РС	пото- лочное РЕ, РД	ниж- нее РА, РВ	верт. или гориз. РГ, РН, РС	пото- лочное РЕ, РД
			Время $t_{бр}$ на 1 м шва, мин					
Меха- низиро- ванный (шлиф- машин- кой)	стыко- вой	до 5 вкл.	0,26	0,23	0,24	0,21	0,18	0,2
		от 5 до 10	0,34	0,31	0,32	0,27	0,24	0,25
		от 10 до 20	0,49	0,44	0,46	0,39	0,34	0,36
	угло- вой	до 5 вкл.	0,38	0,34	0,36	0,3	0,26	0,28
		от 5 до 10	0,51	0,46	0,48	0,41	0,36	0,38
		от 10 до 20	0,64	0,58	0,61	0,52	0,45	0,48

Таблица 2.15

Время на смену электрода при ручной дуговой сварке

Наименование изделия	Тип соединения	Разделка кромок			
		без скоса кромок		со скосом кромок	
		Число проходов, шт			
		один	два и более	один	два и более
		Время t_2 на 1 м шва, мин			
Листовой прокат	стыковое	0,16	0,24	0,18	0,26
	тавровое	0,18	0,27	0,19	0,29
	угловое	0,19	0,28	0,22	0,31
	нахлесточное	0,17	0,25	0,13	0,28
Труба	стыковое	0,24	0,36	0,27	0,39
	угловое тавровое	0,29	0,42	0,33	0,46
	нахлесточное	0,26	0,37	0,2	0,42

Таблица 2.16

Время на заправку проволоки, смену кассет, откусывание
и удаление остатков проволоки

Диаметр проволоки, мм			
1,0	1,2	1,6	2,0
Время t_3 на 1 м шва, мин			
0,2	0,2	0,25	0,25

Таблица 2.17

Время на осмотр сварного шва

Наименование изделия	Тип соединения			
	стыковое	тавровое	угловое	нахлесточное
	Время $t_{осм}$ на 1 м шва, мин			
Листовой прокат	0,2	0,3	0,25	0,22
Труба	0,3	0,33	0,37	0,33

Норма неполного штучного времени определяется по формуле:

$$T_{нш} = (T_o + T_{вшва}) \cdot K_{оп} = T_{оп} \cdot K_{оп}, \quad (2.19)$$

где $K_{оп}$ – коэффициент к оперативному времени, учитывающий время на обслуживание рабочего места $t_{обс}$ и время перерывов на отдых и личные надобности $t_{п}$.

Для ручной дуговой сварки принимают $K_{оп} = 1,1$; для механизированной сварки $K_{оп} = 1,12$; для автоматической сварки $K_{оп} = 1,15$.

Вспомогательное время, зависящее от изделия и типа оборудования $T_{визд}$, состоит из следующих составляющих:

$$T_{визд} = t_{кл} + t_{креп} + t_{уст}, \quad (2.20)$$

где $t_{кл}$ – время на клеймение и маркировку шва, мин, $t_{кл} = 0,25$ мин;

$t_{креп}$ – время на закрепление изделия в приспособлении, мин (табл. 2.18);

$t_{уст}$ – время на установку, снятие и поворот изделия (при массе изделия до 25 кг эти операции выполняются вручную), мин (табл. 2.19).

Таблица 2.18

Время на крепление детали на столе, стенде, в приспособлении

Способ крепления	Длина заворачивания, мм				
	до 20	до 30	до 40	до 50	до 60
	Время на одно крепление и открепление $t_{креп}$, мин				
Винтовым прижимом	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Пневмоприжимом	0,1				
Струбциной съемной	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8

Таблица 2.19

Время на установку, снятие и поворот изделия

Масса изделия, кг	Наименование операции		
	установка и снятие		поворот
	на стол	в приспособление	
	Время на установку изделия $t_{уст}$, мин		
до 0,3	0,12	0,17	0,06
до 0,5	0,15	0,2	0,07
до 0,8	0,17	0,24	0,08
до 1,0	0,18	0,26	0,09
до 1,5	0,22	0,31	0,11
до 2,0	0,23	0,34	0,12
до 3,0	0,28	0,4	0,13
до 5,0	0,32	0,47	0,15
до 8,0	0,38	0,56	0,18
до 10,0	0,41	0,6	0,2
до 15,0	0,49	0,71	0,24
до 20,0	0,53	0,78	0,26
до 30,0	0,58	0,86	0,28

Норма штучного времени $T_{шт}$ определяется по формуле:

$$T_{шт} = (T_{нш} + T_{визд} + T_{пр}) \cdot K_{усл} \cdot K_{под}, \quad (2.21)$$

где $T_{пр}$ – время на прихватку, мин, в курсовом проекте принимаем $T_{пр} = 0,1 T_{нш}$;
 $K_{под}$ – коэффициент, учитывающий подогрев при сварке (табл. 2.20);
 $K_{усл}$ – поправочный коэффициент, учитывающий условия работы (табл. 2.21).

Таблица 2.20

Коэффициент, учитывающий возможный подогрев при сварке

Вид шва	Длина шва, мм				
	до 50	до 100	до 250	до 500	св. 500
	Коэффициент $K_{под}$				
Прямолинейный	1,63	1,56	1,5	1,38	1,25
Криволинейный	1,71	1,69	1,56	1,45	1,31
Кольцевой					
– поворотный	1,66	1,6	1,53	1,4	1,28
– неповоротный	1,79	1,73	1,65	1,51	1,38
Прерывистый:					
– шахматный	1,79	1,73	1,65	1,51	1,38
– цепной	1,46	1,41	1,35	1,24	1,13
– обратноступенчатый	1,71	1,73	1,65	1,51	1,38

Коэффициент, учитывающий условия работы

Условия и место выполнения работ	Степень механизации способа сварки		
	ручная	механизированная	автоматическая
	Коэффициент $K_{усл}$		
Стационарное рабочее место в цеху	1,0		
На открытой площадке вне цеха	1,04	1,05	1,06
Лежа:			
– на спине	1,1	1,12	–
– на боку	1,08	1,1	–
– на груди	1,06	1,08	–
В закрытых помещениях	1,04	1,06	–
С помощью:			
– лестниц	1,05	1,07	–
– лесов	1,02	1,03	1,04

После определения норм времени рассчитывают расход сварочных материалов: сварочной проволоки (электродов), защитного газа или флюса. Для этого вначале находят вес проволоки (стержня электрода):

$$G_{ПР} = M_{НМ} \cdot (1 + \Psi), \quad (2.22)$$

где Ψ – коэффициент потерь.

Для сварки под флюсом потери на угар составляют $\Psi = 0,03$ (3 %).

Для РДС с учетом потерь на угар, разбрызгивание и огарки электродов длиной не более 50 мм $\Psi = 0,2$ (20 %) [26];

Для сварки в защитных газах [27] коэффициент потерь может колебаться от 6 до 14 % и определяется угаром и разбрызгиванием на соответствующих параметрах режима:

- на сварочных токах 100–180 А: $\Psi = 0,06$ (для CO_2), $\Psi = 0,03$ ($Ar + CO_2$);
- на сварочных токах 180–250 А: $\Psi = 0,08$ (для CO_2), $\Psi = 0,05$ ($Ar + CO_2$);
- на сварочных токах свыше 250 А: $\Psi = 0,14$ (для CO_2), $\Psi = 0,08$ ($Ar + CO_2$).

Для определения полного веса электродов необходимо учитывать вес покрытия:

$$G_{Э} = G_{ПР} \cdot K_{ВП}, \quad (2.23)$$

где $K_{ВП}$ – коэффициент веса покрытия, $K_{ВП} = 1,3 \dots 1,5$.

Расход защитного газа определяется по формуле:

$$G_{Газ} = q_{Газ} \cdot (T_O + T_{ПР}), \quad (2.24)$$

где $q_{Газ}$ – удельный расход защитного газа, л/мин.

Удельный расход CO_2 зависит от диаметра проволоки и силы сварочного тока и определяется по табл. 2.22.

Таблица 2.22

Удельный расход CO_2

Диаметр сварочной проволоки, мм	0,8	1,0	1,2	1,6	2	3
Сила сварочного тока, А	60–120	60–160	100–250	200–250	240–280	280–400
Удельный расход CO_2 , л/мин	8–9	8–9	9–12	14–15	15–18	18–20

После вычисления по формуле (2.6.11) объема CO_2 в литрах обычно переводят это значение в массу: в 40 литровый баллон заливают 24 кг жидкой углекислоты по ГОСТ 8050-85, при ее испарении образуется 12500 л углекислого газа [28]. Исходя из пропорции 24 кг – 12500 л газа, можно найти требуемую массу защитного газа в кг.

В одном баллоне аргона емкостью 40 л содержится $6,3 \text{ м}^3 = 6300 \text{ л}$ аргона, что эквивалентно массе газа 7,5 кг. Исходя из пропорции 7,5 кг – 6300 л аргона можно найти требуемую массу защитного газа в кг.

Для получения смесей используют Ar по ГОСТ 10157-2016 высшего или первого сорта, а также кислород первого или второго сорта по ГОСТ 5583-73.

Защитная смесь Ar (80 %) + CO_2 (20 %), поставляемая в баллонах емкостью 40 литров, содержит $6,3 \text{ м}^3$ защитной смеси, что эквивалентно массе 11,5 кг. Исходя из пропорции 11,5 кг – 6300 л можно найти требуемую массу защитной смеси газа в кг.

Рекомендации по выбору защитных газов и их смесей для различных марок основного металла представлены в табл. 2.23.

Расход флюса определяется по формуле:

$$G_{\text{фл}} = (1,2 - 1,4) \cdot G_{\text{ПР}}. \quad (2.25)$$

Задание. Проведите расчет нормы штучного времени $T_{\text{шт}}$ и расход сварочных материалов для сварного узла, конструкцию которого выбирается студентом самостоятельно по следующим исходным данным:

Вариант № 1: ГОСТ 5264-80-T3-Δ3, толщина основного металла 3 мм, суммарная длина швов 500 мм.

Вариант № 2: ГОСТ 5264-80-H2-Δ4, толщина основного металла 4 мм, суммарная длина швов 800 мм.

Вариант № 3: ГОСТ 14771-76-УП-П-T3-Δ5, толщина основного металла 5 мм, суммарная длина швов 1000 мм.

Вариант № 4: ГОСТ 14771-76-УП-П-H2-Δ6, толщина основного металла 6 мм, суммарная длина швов 1500 мм.

Таблица 2.23

Защитные газы и их смеси для сварки различных материалов

Обозначение по СТБ ISO 14175	Объемное содержание, %						Способ сварки	При- мене- ние	Свариваемый материал
	Инертные		Окислительные		Восста- новит.	Пассив- ный для Cu			
	Ar	He	CO ₂	O ₂	H ₂	N ₂			
Чистые газы									
I1	100	—	—	—	—	—	141	●	Цветные, актив- ные и тугоплав- кие металлы и их сплавы, кор- розионностой- кие стали
							131	▼	Цветные метал- лы и хромони- келевые стали
I2	—	100	—	—	—	—	141	○	Cu, Al и их сплавы
C1	—	—	100	—	—	—	135	●	Углеродистые и низколегиро- ванные стали
	—	—	100	—	—	—	135	▼	Нержавеющие стали
—	—	—	—	—	—	100	135	▼	Медь и ее спла- вы
Двухкомпонентные смеси									
I3	70	30	—	—	—	—	141	▼	Al и др. цветные металлы
M13	96–98	—	—	2–4	—	—	135	▼	Низко- и высоко- легированные стали
M12	97–98	—	2–3	—	—	—	135	●	Высоколегиро- ванные стали
M21	75–90	—	10–25	—	—	—	135	●	Углеродистые и низколегиро- ванные стали
—	90–95	—	—	—	5–10	—	131	▼	Высоколегиро- ванные хромони- келевые стали
● — широко применяются; ▼ — ограничено; ○ — редко.									

Практическое занятие № 7
Оформление документации на технологические процессы сварки

Требования к заполнению и оформлению технологических документов на процессы и операции по сварке устанавливаются:

- для маршрутной карты (МК) ГОСТ 3.1118-82 (формы 1, 1а, 1б);
- для операционной карты (ОК) ГОСТ 3.1407-86 (форма 1, 1а);
- запись переходов по ГОСТ 3.1705-81.

При описании операций сварки следует применять типовые блоки режимов операционной карты, представленные в табл. 2.24.

Таблица 2.24

Графы блоков режимов сварки в операционной карте

Номер графы	Условное обозначение графы при заполнении		Содержание графы
	ручном	автоматизированном	
1	ПС	ПС	Обозначение положения сварки по ГОСТ 11969
2	НП	НП	Номер прохода для многослойных сварных швов
3	DC	DC	Диаметр сопла для сварки в защитных газах со струйной защитой
4	l_c	LC	Расстояние от торца сопла до поверхности свариваемых деталей для дуговой сварки в защитных газах со струйной защитой
5	$l_э$	LЭ	Вылет электрода
6	Пл	Пл	Обозначение полярности (П – прямая, О – обратная)
7	U	U	Напряжение дуги
8	I	I	Сила сварочного тока
9	V_c	VC	Скорость сварки
10	V_{Π}	ВП	Скорость подачи присадочного металла
11	$q_{оз}$	QOЗ	Расход защитного газа для основной защиты в единицу времени
12	$q_{дз}$	QДЗ	Расход защитного газа для дополнительной защиты в единицу времени
13	q_k	QK	Расход защитного газа для защиты корня шва в единицу времени

В табл. 2.25 и 2.26 приведены сведения о служебных символах и кодах операций, используемых при оформлении операционной и маршрутной карт техпроцесса.

Таблица 2.25

Служебные символы, используемые при заполнении МК и ОК

Обозначение служебного символа	Содержание информации, вносимой в графы, расположенные на строке
А	Номер цеха, участка, рабочего места, где выполняется операция, код и наименование операции, обозначение документов, применяемых при выполнении операции (инструкции по охране труда ИОТ и т. д.)
Б	Код, наименование оборудования и информация по трудозатратам
К	Информация по комплектации сборочной единицы с указанием наименования деталей, сборочных единиц, их обозначений, единицы нормирования, количества на изделие и нормы расхода
М	Информация о применяемом основном материале, вспомогательных и комплектующих материалах сборочной единицы с указанием наименования материала, единицы нормирования, количества на изделие и нормы расхода
О	Содержание операции (перехода) по ГОСТ 3.1705-81
Т	Информация о применимой технологической оснастке
Р	Строка параметров режима сварки

Таблица 2.26

Основные коды операций по классификатору технологических операций машиностроения

Код		Вид технологического процесса по методу выполнения
1	2	3
01 Операции общего назначе- ния	0101	– разметка
	0103	– нагревание
	0108	– слесарная
	0109	– зачистка
	0191	– обезжиривание химическое
	0126	– промывка водой
	0127	– промывка растворителем
	0180	– маркирование
02, 03 Техниче- ский контроль	0220	– контроль линейных размеров
	0230	– контроль расположения поверхностей
	0260	– комплексный контроль геометрических параметров
	0370	– контроль неразрушающий акустический (ультразвуковой)
	0379	– контроль неразрушающий оптический (визуально-измерит.)
	0381	– контроль неразрушающий радиационный (радиографич.)
	0386	– контроль неразрушающий проникающими веществами (капиллярный)
	0387	– контроль внешнего вида изделий, наличия клейм

Код		Вид технологического процесса по методу выполнения
04 Перемещение	0401	– транспортирование
	0411	– кантование (перемещение груза вокруг горизонтальной оси)
	0418	– комплектование
	0427	– раскрепление
	0428	– закрепление
	0431	– поворотная (перемещение груза вокруг вертикальной оси)
50 Термообработка	5024	– отжиг полный гомогенизирующий
	5029	– отжиг нормализационный
	5031	– закалка общая непрерывная в одной среде
	5043	– закалка местная объемная
	5051	– высокий отпуск
	5052	– средний отпуск
88 Сборка	5053	– низкий отпуск
	8862	– сборочно-подготовительная
	8863	– сборочно-монтажная
90 Дуговая сварка	8864	– сборочно-слесарная
	9031	– покрытым электродом
	9033	– самозащитой проволокой
	9034	– порошковой проволокой
	9035	– под флюсом
	9041	– в инертных газах плавящимся электродом с присадочным металлом
	9043	– в углекислом газе сплошной проволокой
	9051	– в смеси инертных и активных газов плавящимся электродом

Пример оформления комплекта документов на технологический процесс представлен в прил. Г.

Задание. Разработайте операционную карту для реализации технологического процесса сборки, сварки и контроля сварного узла по данным задания 6.

Список литературы

1. Куликов, В. П. Технология сварки плавлением и термической резки : учебник / В. П. Куликов. – Минск : Новое знание; М. : ИНФРА-М, 2016. – 463 с.
2. Чернышев, Г. Г. Технология электрической сварки плавлением : учебник / Г. Г. Чернышев. – М. : Академия, 2010. – 272 с.
3. Жизняков, С. Н. Ручная дуговая сварка. Материалы, оборудование, технология / С. Н. Жизняков, З. А. Сидлин. – Киев : Экотехнология, 2006. – 368 с. (или – М. : ИТТ ИЭС Е. О. Патона, 2007. – 360 с.).
4. Акулов, А. И. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки : учебник / А. И. Акулов, В. П. Алехин, С. И. Ермаков; под ред. А. И. Акулова. – 2-е изд. – М. : Машиностроение, 2003. – 560 с.
5. Фролов, В. А. Технология сварки плавлением и термической резки металлов : учебное пособие для студентов вузов / В. А. Фролов [и др.]; под ред. В. А. Фролова. – Москва : ИНФРА-М, 2011. – 445 с.
6. Кононенко, В. Я. Сварка в среде защитных газов плавящимся и неплавящимся электродом / В. Я. Кононенко. – Киев : Ника-ПРИНТ, 2007. – 266 с.
7. Национальный фонд технических нормативных правовых актов [Электронный ресурс] / Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь. – Режим доступа : <http://www.tnpra.by>. – Дата доступа : 21.01.2019.
8. Сварка. Руководство по системе группирования металлических материалов : СТБ ISO/TR 15608-2010. – Введ. 2005-01-31. – Минск : Госстандарт, 2004. – 42 с.
9. Boiler and pressure vessel code. An international code. Division 2 / ASME BPVC.VIII.2-2015.
10. Сварка и родственные процессы. Классификация дефектов по геометрическим параметрам в металлических материалах. Часть 1. Сварка плавлением : СТБ ISO 6520-1-2009. – Введ. 2010-01-01. – Минск : Госстандарт, 2009. – 44 с.
11. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые : ГОСТ 14782-86. – Введ. 1988-01-01. – М. : Издательство стандартов, 1986. – 28 с.
12. Контроль неразрушающий сварных соединений. Ультразвуковой метод : СТБ EN 1714-2002. – Введ. 2003-01-07. – Минск : Госстандарт, 2002. – 32 с.
13. Контроль неразрушающий. Соединения сварные трубопроводов и металлоконструкций. Радиографический метод : СТБ 1428-2003. – Введ. 2004-05-01. – Минск : Госстандарт, 2003. – 40 с.
14. Контроль неразрушающий сварных соединений. Радиографический метод контроля сварных соединений, выполненных сваркой плавлением : СТБ EN 1435-2004. – Введ. 2005-01-01. – Минск : Госстандарт, 2004. – 36 с.
15. Неразрушающий контроль сварных соединений. Радиографический контроль. Часть 1. Способы рентгено- и гаммаграфического контроля с применением пленки : ГОСТ ISO 17636-1-2017. – Введ. 2019-10-01. – М. : Стандартинформ, 2018. – 36 с.

16. Технологическая инструкция и квалификация технологических процессов сварки металлических материалов. Инструкция на технологический процесс сварки. Часть 1. Дуговая сварка : СТБ ISO 15609-1-2009. – Введ. 2010-01-01. – Минск : Госстандарт, 2009. – 12 с.

17. Технологическая инструкция и квалификация технологических процессов сварки металлических материалов. Испытание технологического процесса сварки. Часть 1. Дуговая и газовая сварка сталей и дуговая сварка никеля и никелевых сплавов : СТБ ISO 15614-1-2009. – Введ. 2009-08-01. – Минск : Госстандарт, 2009. – 34 с.

18. Технологическая инструкция и квалификация технологических процессов сварки металлических материалов. Испытание технологического процесса сварки. Часть 8. Сварка соединений труб с трубной доской : СТБ ISO 15614-8. – Введ. 2008-06-01. – Минск : Изд-во стандартов – 2007. – 28 с.

19. Соединения сварные и паяные. Условные изображения и обозначения на чертежах : СТБ ИСО 2553-2004. – Введ. 2004-11-01. – Минск : Госстандарт, 2004. – 40 с.

20. Сварка и родственные процессы. Перечень и условные обозначения процессов : СТБ ISO 4063-2012. – Введ. 2013-09-01. – Минск : Госстандарт, 2012. – 20 с.

21. IEC 60974-1:1998 Arc welding equipment. – Part 1: Welding power sources. – 145 p.

22. Автоматы для дуговой сварки плавящимся электродом. Общие технические условия : ГОСТ 8213-75. – Введ. 1977-01-01. – М. : Издательство стандартов, 1975. – 16 с.

23. Полуавтоматы для дуговой сварки плавящимся электродом. Общие технические условия : ГОСТ 18130-79. – Введ. 1980-01-01. – М. : Издательство стандартов, 1979. – 16 с.

24. Общемашиностроительные укрупненные нормативы времени на ручную дуговую сварку. – М. : Экономика, 1990 – 135 с.

25. Общемашиностроительные укрупненные нормативы времени на дуговую сварку в среде защитных газов. – М. : Экономика, 1989. – 181 с.

26. Нормирование расхода покрытых электродов при ручной дуговой сварке и наплавке : справочное пособие / ИЭС им. Е. О. Патона. – Киев : Экотехнология, 2008. – 69 с.

27. Нормирование расхода сварочных материалов при сварке в углекислом газе и его смесях : справочное пособие / ИЭС им. Е. О. Патона. – Киев : Экотехнология, 2008. – 69 с.

28. Потапьевский, А. Г. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего : монография / А. Г. Потапьевский, Ю. Н. Сараев, Д. А. Чинахов ; Юргинский технологический институт. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 208 с.

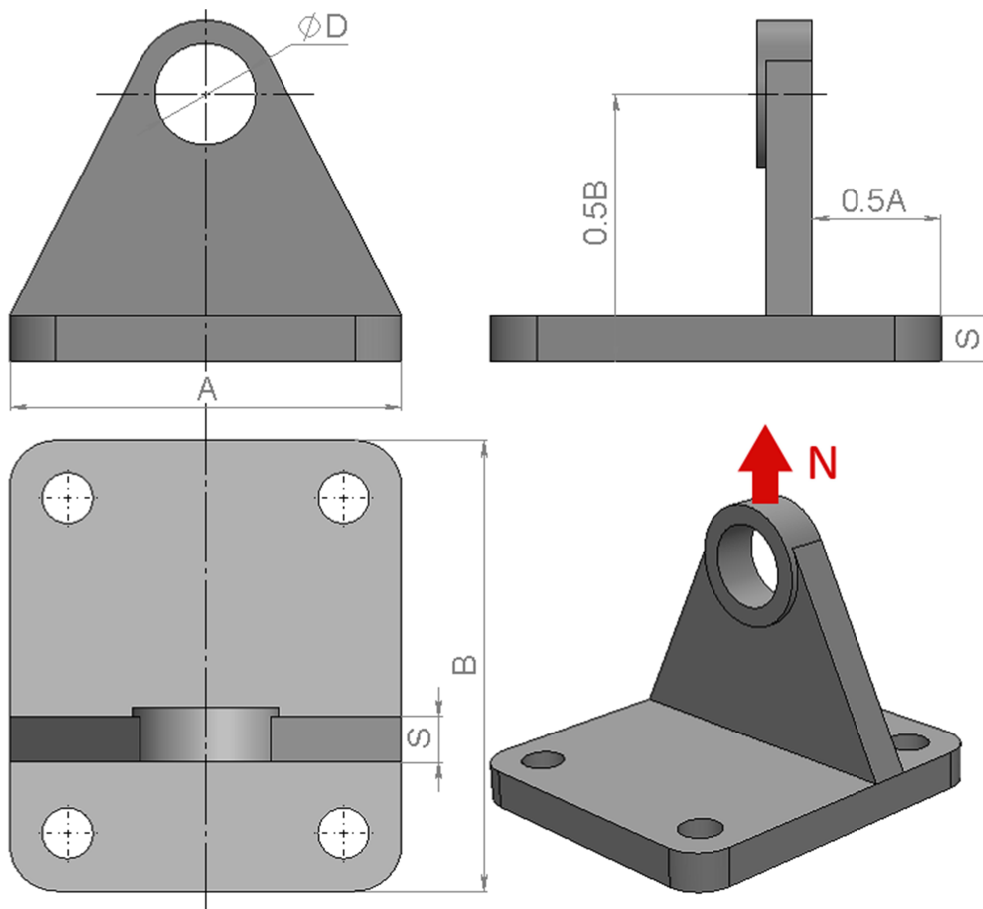
29. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. акад. Б. Е. Патона. – М. : Машиностроение, 1974. – 768 с.

30. Welding: Principles and Applications / Seventh Edition, Larry Jeffus: Delmar, Cengage Learning, 2012. – 962 p.

Примеры заданий на курсовое проектирование

Задание № 1

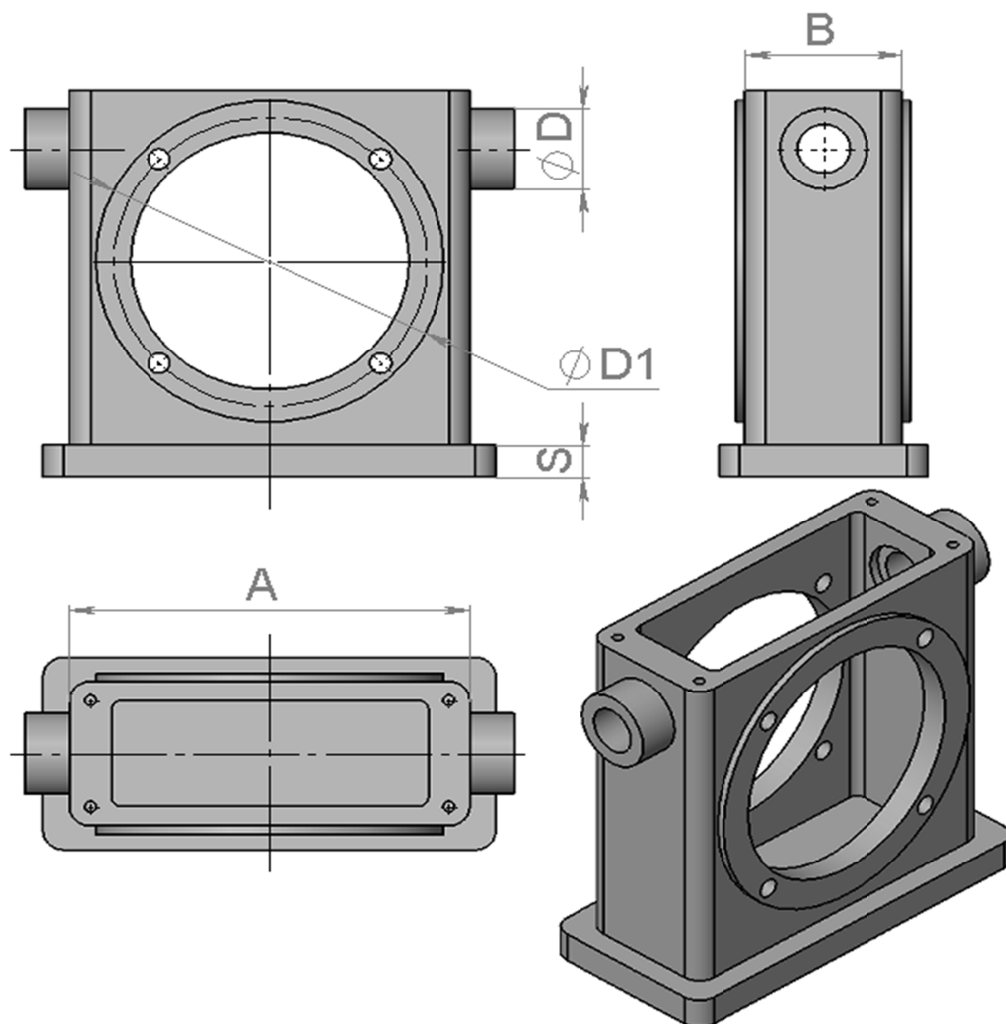
Заменить предложенное литое изделие на сварную конструкцию, разбив его на составные части. Разработать сборочный чертеж с обозначением сварных швов с учетом выбранного способа сварки. Разработать технологию сварки изделия (кронштейн).



Вариант	1/1	1/2	1/3
Размеры:			
S, мм	6	8	10
A, мм	85	100	150
B, мм	100	160	200
D, мм	25	40	60
* Не приведенные на чертеже размеры детали выбрать конструктивно			
Нагрузка N, кН	60	80	125
Материал изделия	Сталь 09Г2С	Сталь 12Х18Н10Т	Сталь 12Х13
Тип производства	массовое	единичное	серийное

Задание № 2

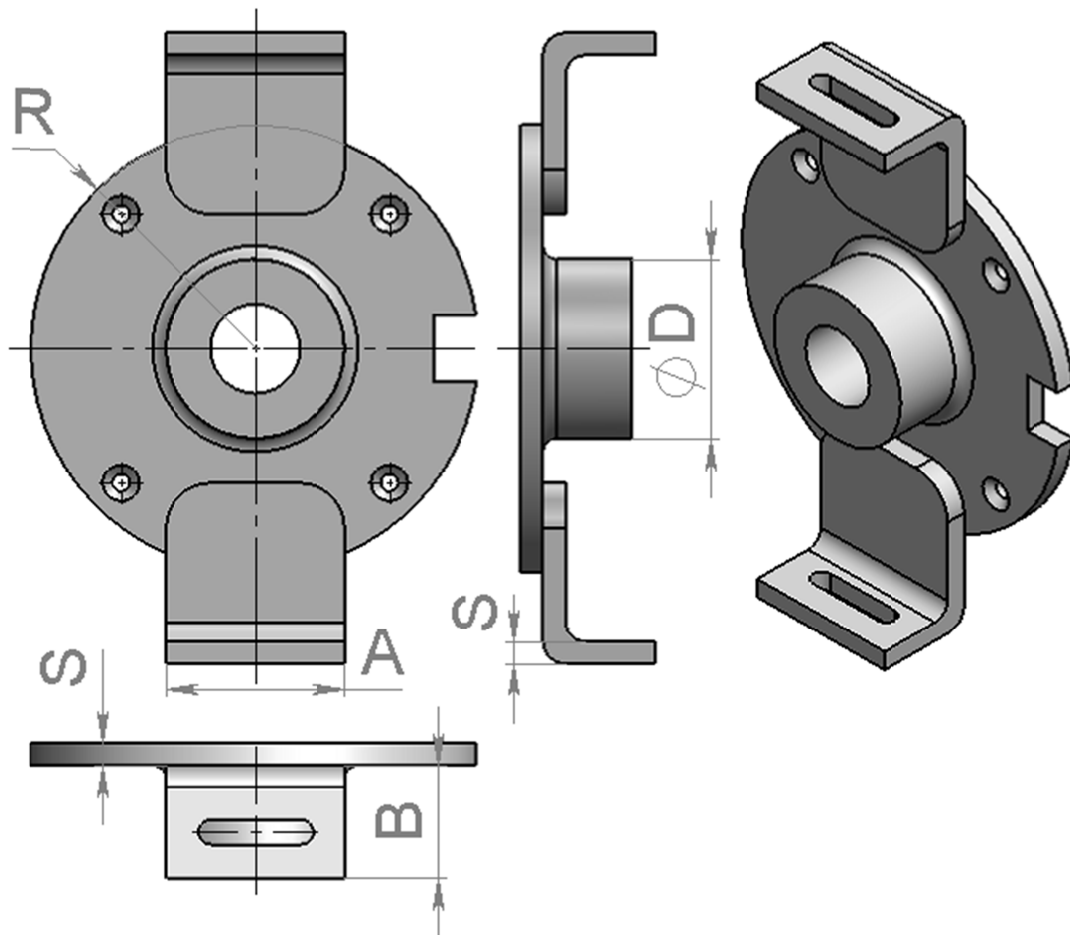
Заменить предложенное литое изделие на сварную конструкцию, разбив его на составные части. Разработать сборочный чертеж с обозначением сварных швов с учетом выбранного способа сварки. Разработать технологию сварки изделия (корпус).



Вариант	2/1	2/2	2/3
Размеры:			
S, мм	10	12	14
A, мм	115	125	140
B, мм	50	60	80
D, мм	25	30	40
D1, мм	100	110	120
* Не приведенные на чертеже размеры детали выбрать конструктивно			
Материал изделия	Сталь 08X17T	Сталь 15X25T	Сталь 08X17H13M2T
Тип производства	массовое	единичное	серийное

Задание № 3

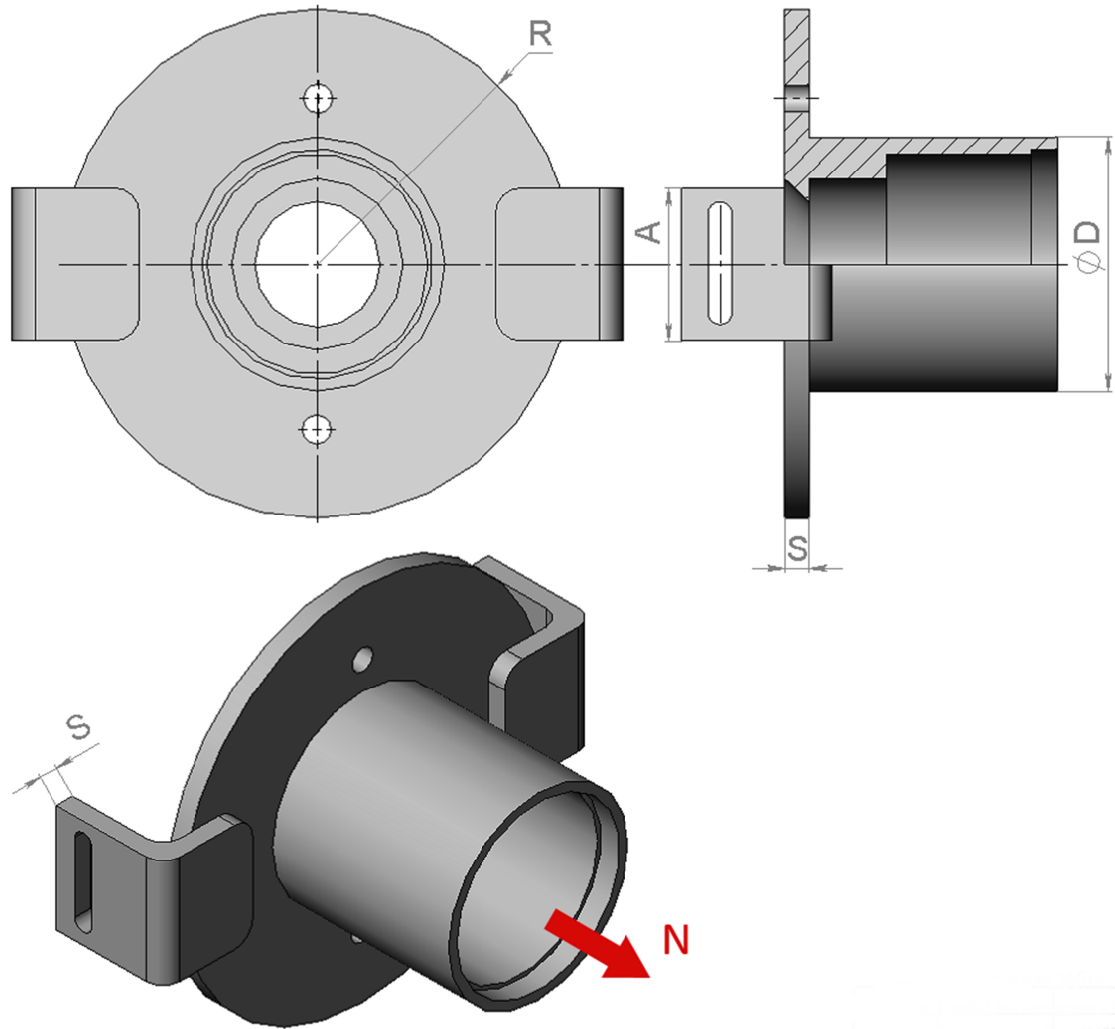
Заменить предложенное литое изделие на сварную конструкцию, разбив его на составные части. Разработать сборочный чертеж с обозначением сварных швов с учетом выбранного способа сварки. Разработать технологию сварки изделия (диск).



Вариант	3/1	3/2	3/3
Размеры:			
S, мм	3	4	5
A, мм	30	40	50
B, мм	40	30	30
R, мм	60	70	90
D, мм	40	50	60
* Не приведенные на чертеже размеры детали выбрать конструктивно			
Материал изделия	Сталь 08	Сталь 20Х23Н13	Сталь 12Х17
Тип производства	массовое	единичное	серийное

Задание № 4

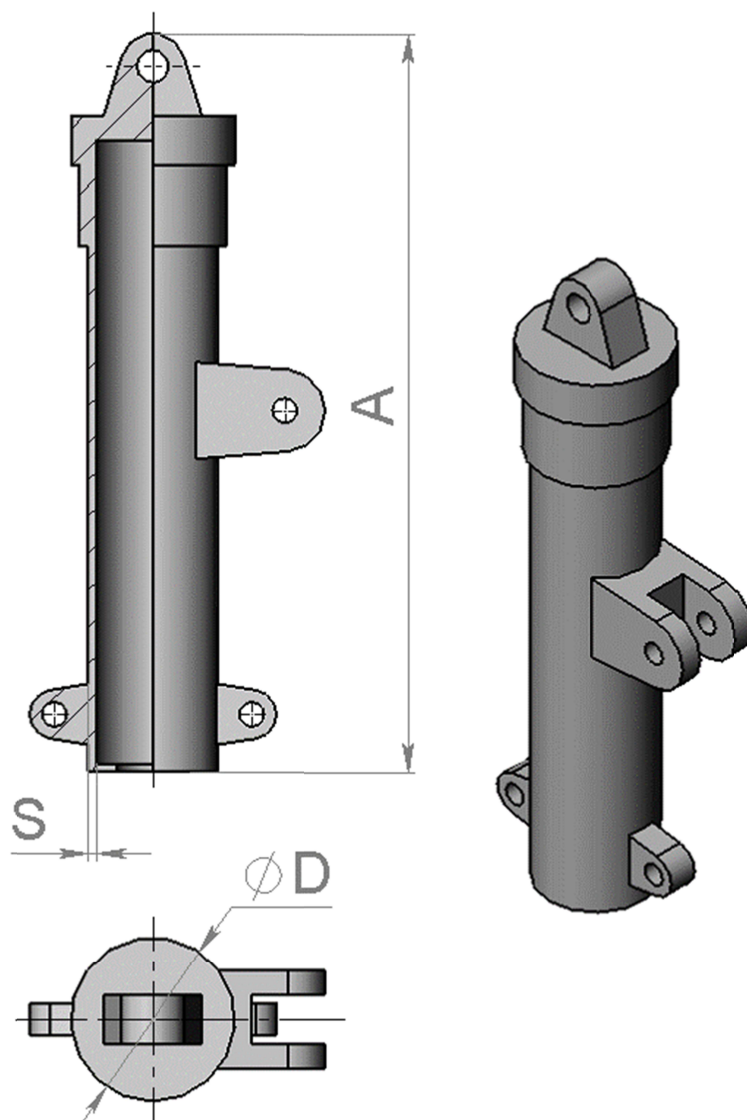
Заменить предложенное литое изделие на сварную конструкцию, разбив его на составные части. Разработать сборочный чертеж с обозначением сварных швов с учетом выбранного способа сварки. Разработать технологию сварки изделия (втулка).



Вариант	4/1	4/2	4/3
Размеры:			
S, мм	5	6	8
A, мм	30	50	6
R, мм	50	80	100
D, мм	50	80	100
* Не приведенные на чертеже размеры детали выбрать конструктивно			
Нагрузка N, кН	50	90	150
Материал изделия	Сталь 12ХМ	Сталь 15Х12ВНМФ	Сталь 08Х13
Тип производства	массовое	единичное	серийное

Задание № 5

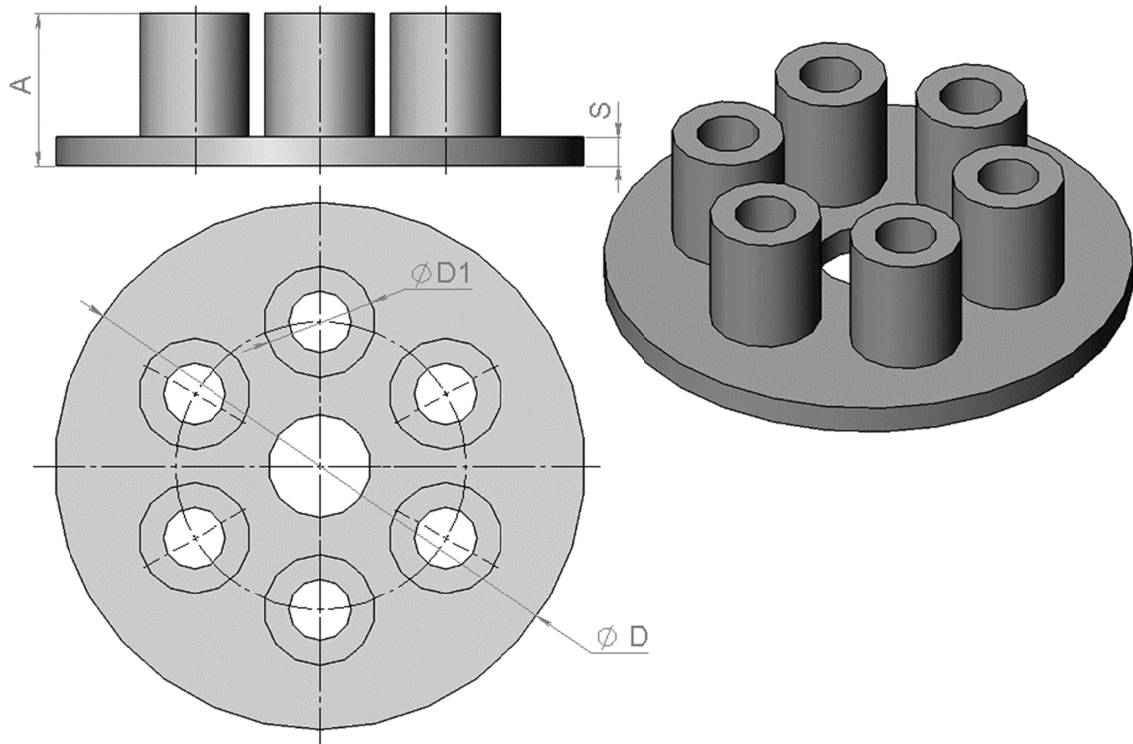
Заменить предложенное литое изделие на сварную конструкцию, разбив его на составные части. Разработать сборочный чертеж с обозначением сварных швов с учетом выбранного способа сварки. Разработать технологию сварки изделия (ось).



Вариант	5/1	5/2	5/3
Размеры:			
S, мм	5	6	140
A, мм	450	550	600
D, мм	108	127	8
* Не приведенные на чертеже размеры детали выбрать конструктивно			
Материал изделия	Сталь 15X1МФ	Сталь 20	Сталь 08X17Н13М2Т
Тип производства	массовое	единичное	серийное

Задание № 6

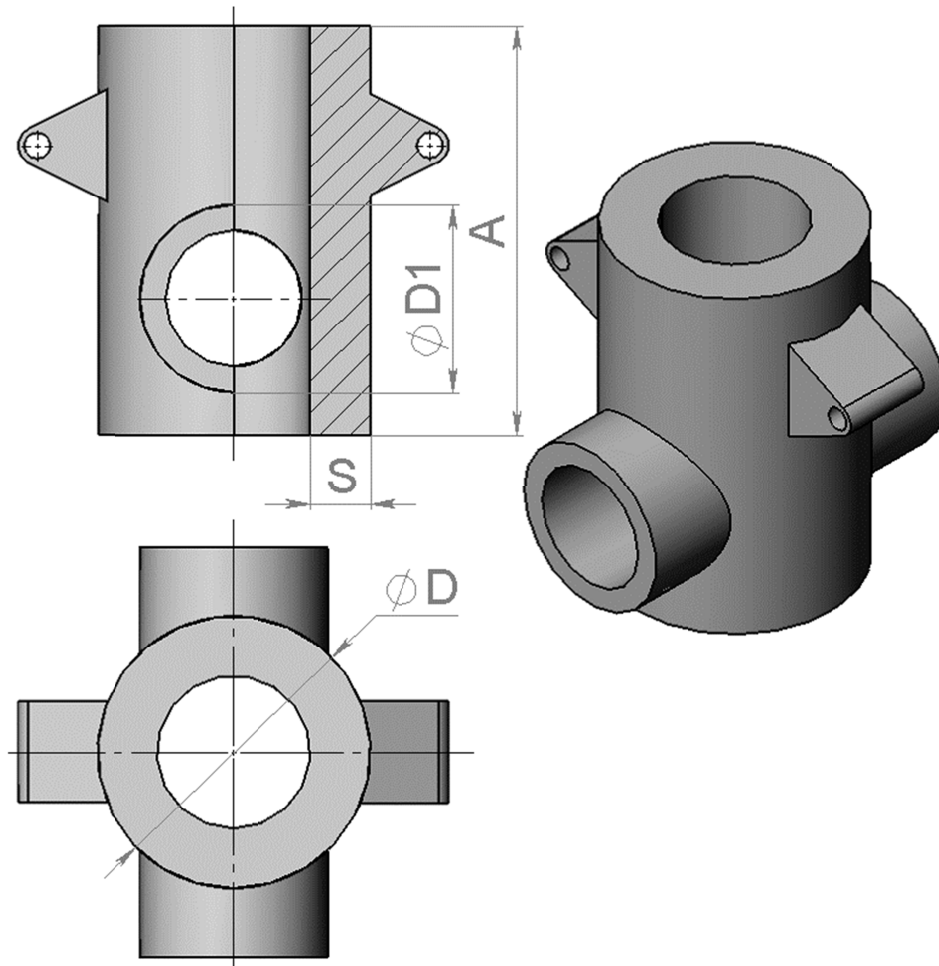
Заменить предложенное литое изделие (трубная доска) на сварную конструкцию, разбив его на составные части. Разработать сборочный чертеж с обозначением сварных швов с учетом выбранного способа сварки. Разработать технологию сварки изделия (трубной доски).



Вариант	6/1	6/2	6/3
Размеры:			
S, мм	7	5	4
A, мм	37	40	30
D, мм	128	125	130
D1, мм	25	25	25
* Не приведенные на чертеже размеры детали выбрать конструктивно			
Материал изделия	Сталь 15X5M	Сталь 12X13	Сталь 10X17H13M2T
Тип производства	массовое	единичное	серийное

Задание № 7

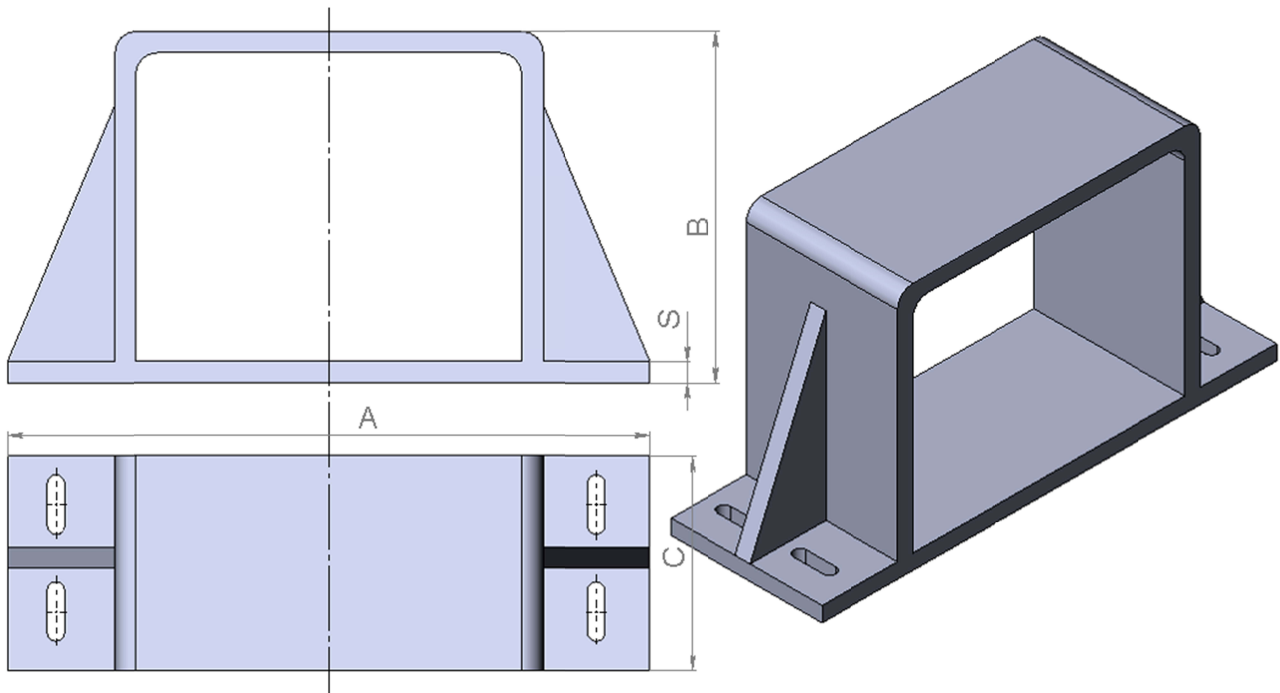
Заменить предложенное литое изделие на сварную конструкцию, разбив его на составные части. Разработать сборочный чертеж с обозначением сварных швов с учетом выбранного способа сварки. Разработать технологию сварки изделия (отвод).



Вариант	7/1	7/2	7/3
Размеры:			
S, мм	10	8	6
A, мм	150	250	350
D, мм	89	121	219
D1, мм	54	70	140
* Не приведенные на чертеже размеры детали выбрать конструктивно			
Материал изделия	Сталь 20X13	Сталь 08X17T	Сталь 20X23H13
Тип производства	массовое	единичное	серийное

Задание № 8

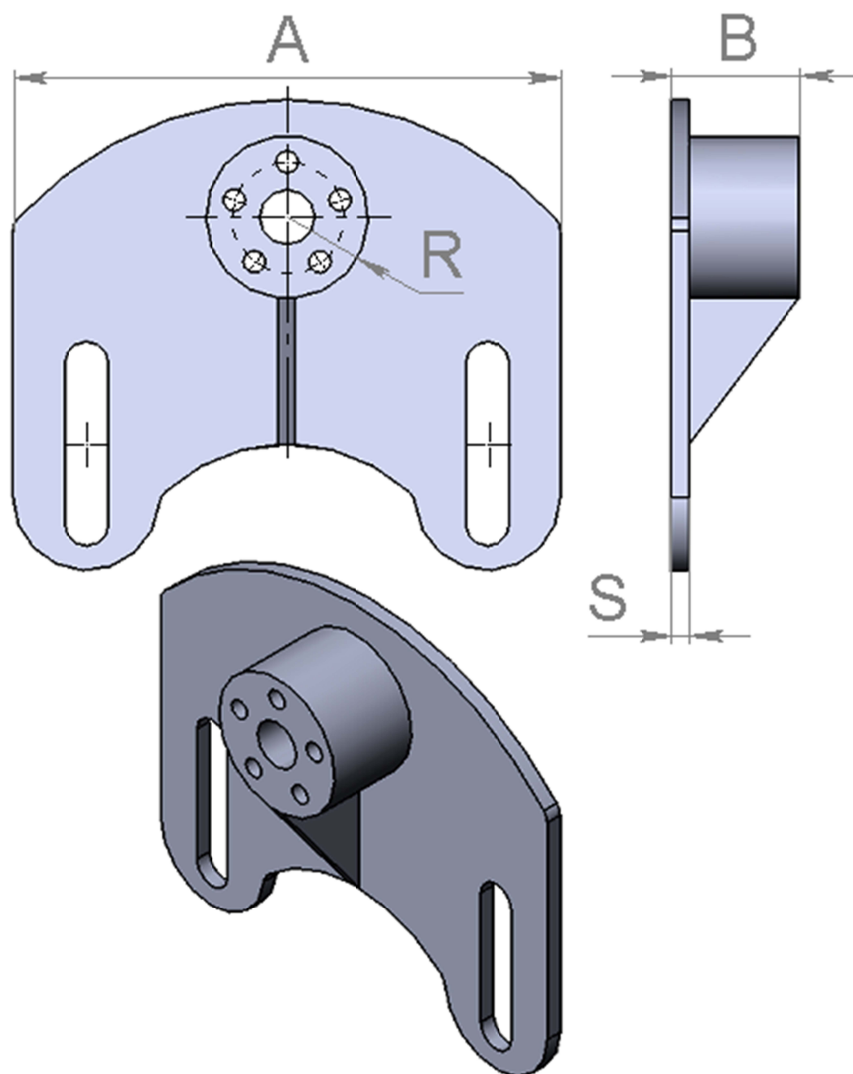
Заменить предложенное литое изделие на сварную конструкцию, разбив его на составные части. Разработать сборочный чертеж с обозначением сварных швов с учетом выбранного способа сварки. Разработать технологию сварки изделия (планка).



Вариант	8/1	8/2	8/3
Размеры:			
S, мм	10	8	6
A, мм	300	250	200
B, мм	200	200	120
C, мм	100	90	80
* Не приведенные на чертеже размеры детали выбрать конструктивно			
Материал изделия	Сталь 15X12ВНМФ	Сталь 08X18Н10Т	Сталь 12X17
Тип производства	массовое	единичное	серийное

Задание № 9

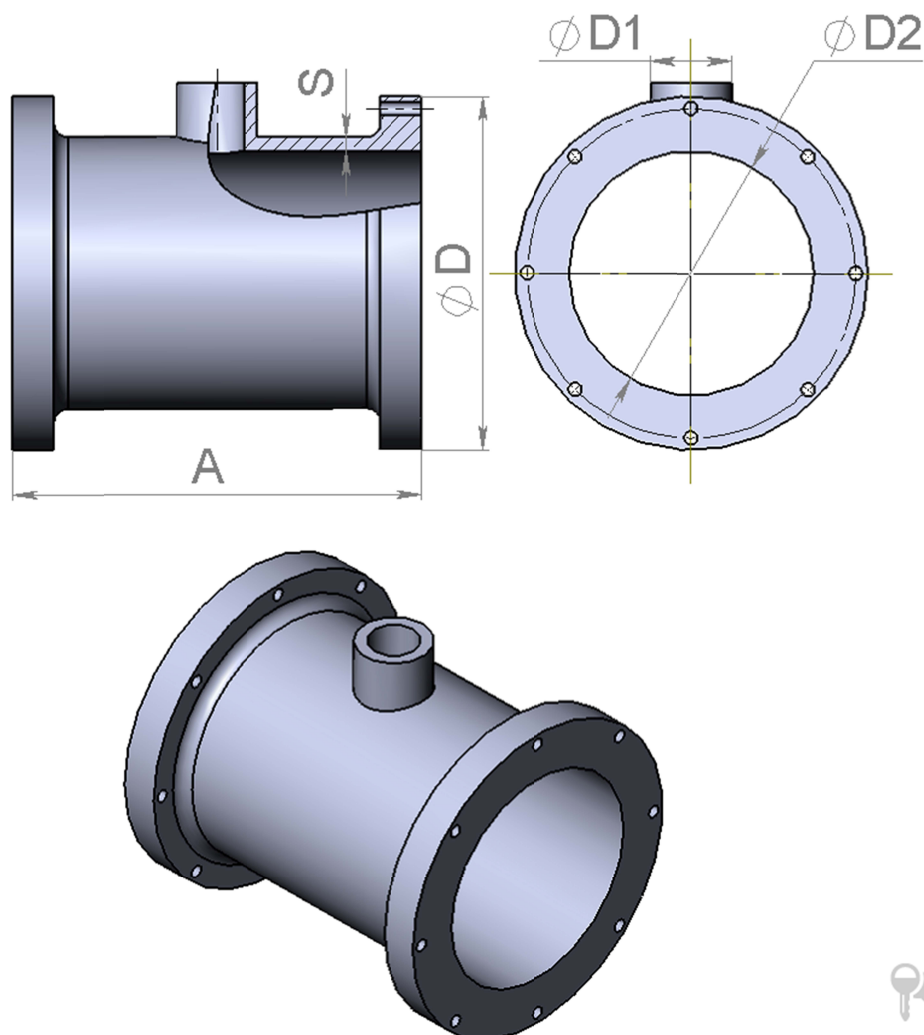
Заменить предложенное литое изделие на сварную конструкцию, разбив его на составные части. Разработать сборочный чертеж с обозначением сварных швов с учетом выбранного способа сварки. Разработать технологию сварки изделия (опора).



Вариант	9/1	9/2	9/3
Размеры:			
S, мм	10	8	6
A, мм	300	250	200
B, мм	70	60	50
R, мм	44.5	35	30
* Не приведенные на чертеже размеры детали выбрать конструктивно			
Материал изделия	Сталь 12X18H9T	Сталь 10X17H13M2T	Сталь 12X13
Тип производства	массовое	единичное	серийное

Задание № 10

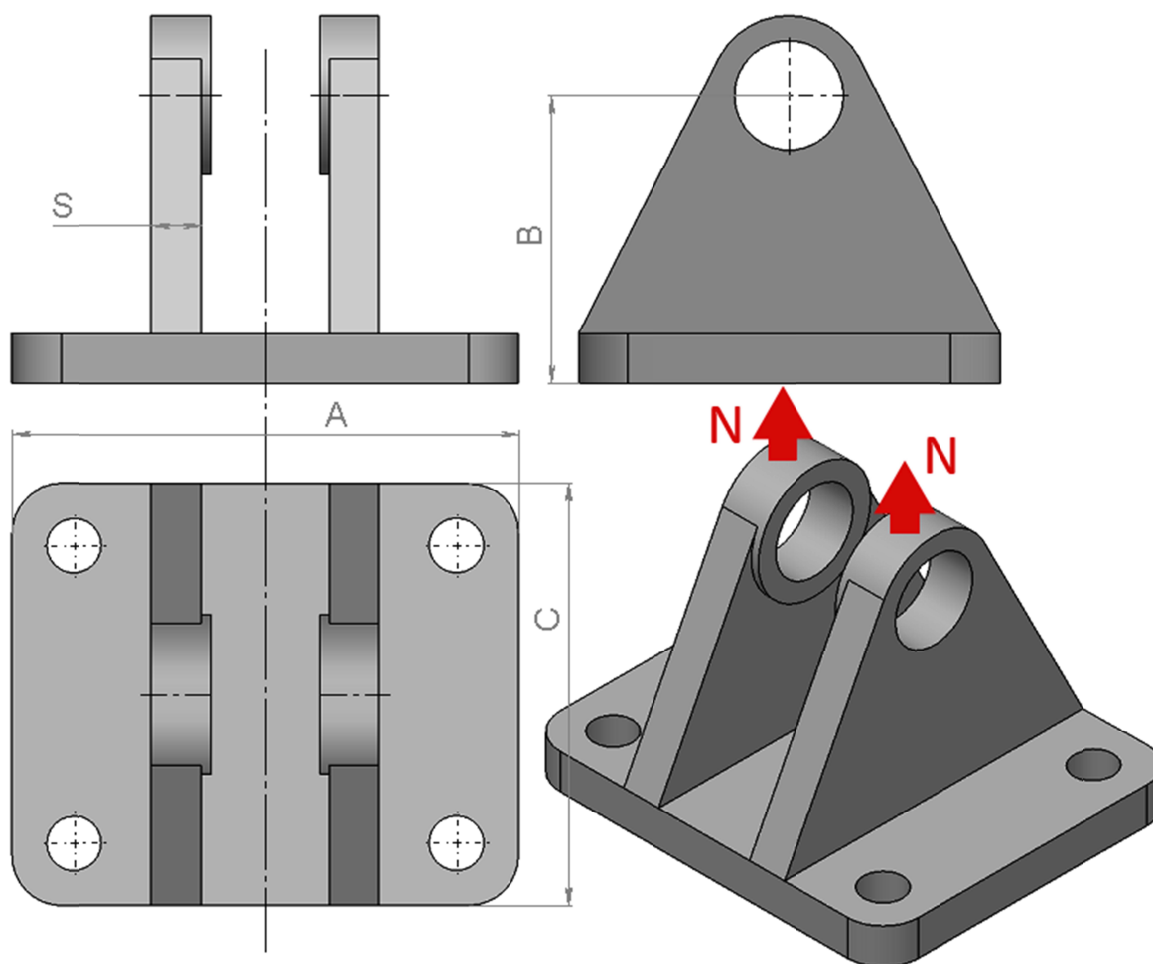
Заменить предложенное литое изделие на сварную конструкцию, разбив его на составные части. Разработать сборочный чертеж с обозначением сварных швов с учетом выбранного способа сварки. Разработать технологию сварки изделия (элемент трубопроводный).



Вариант	10/1	10/2	10/3
Размеры:			
S, мм	10	8	6
A, мм	400	380	500
D, мм	260	260	280
D1, мм	60	57	60
D2, мм	199	124	147
* Не приведенные на чертеже размеры детали выбрать конструктивно			
Материал изделия	Сталь 10X17H13M2T	Сталь 08X22H6T	Сталь 08X13
Тип производства	массовое	единичное	серийное

Задание № 11

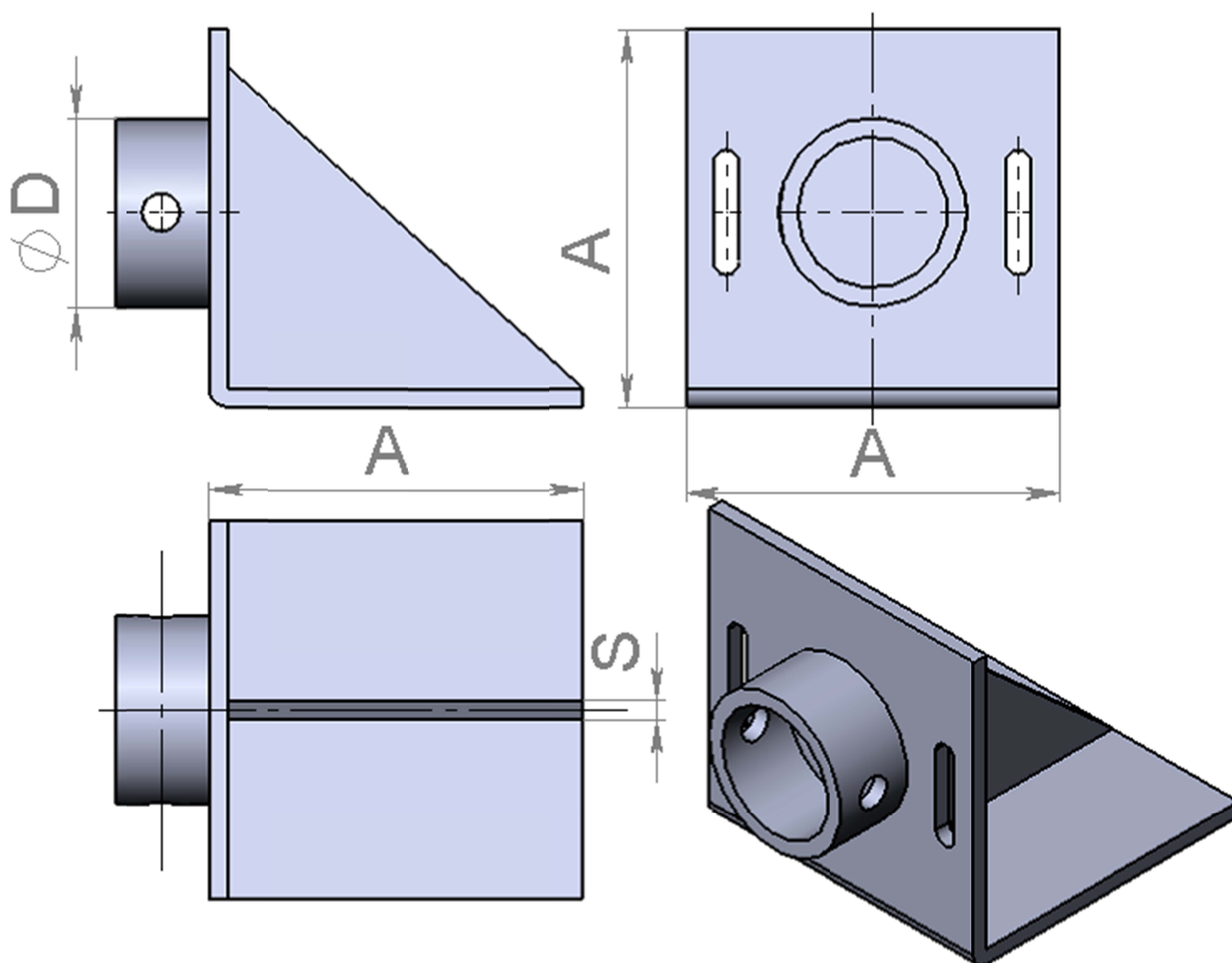
Заменить предложенное литое изделие на сварную конструкцию, разбив его на составные части. Разработать сборочный чертеж с обозначением сварных швов с учетом выбранного способа сварки. Разработать технологию сварки изделия (кронштейн осевой).



Вариант	11/1	11/2	11/3
Размеры:			
S, мм	8	10	12
A, мм	250	300	360
B, мм	120	150	280
C, мм	200	240	250
* Не приведенные на чертеже размеры детали выбрать конструктивно			
Нагрузка N, кН	110	150	180
Материал изделия	Сталь 10XCHД	Сталь 12X17	Сталь 15X12ВНМФ
Тип производства	массовое	единичное	серийное

Задание № 12

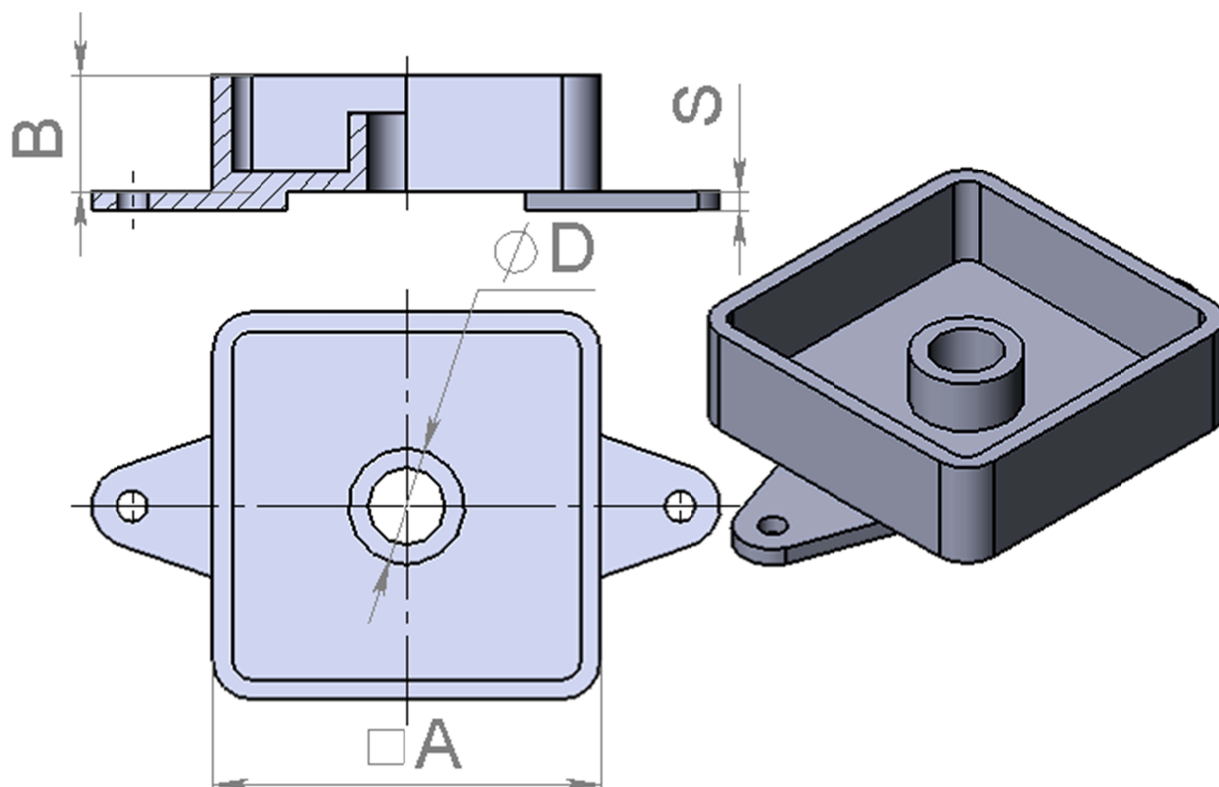
Заменить предложенное литое изделие на сварную конструкцию, разбив его на составные части. Разработать сборочный чертеж с обозначением сварных швов с учетом выбранного способа сварки. Разработать технологию сварки изделия (уголок).



Вариант	12/1	12/2	12/3
Размеры:			
S, мм	10	8	6
A, мм	200	180	150
D, мм	100	90	70
* Не приведенные на чертеже размеры детали выбрать конструктивно			
Материал изделия	Сталь 25ХГСА	Сталь 20Х13	Сталь 12Х18Н10Т
Тип производства	массовое	единичное	серийное

Задание № 13

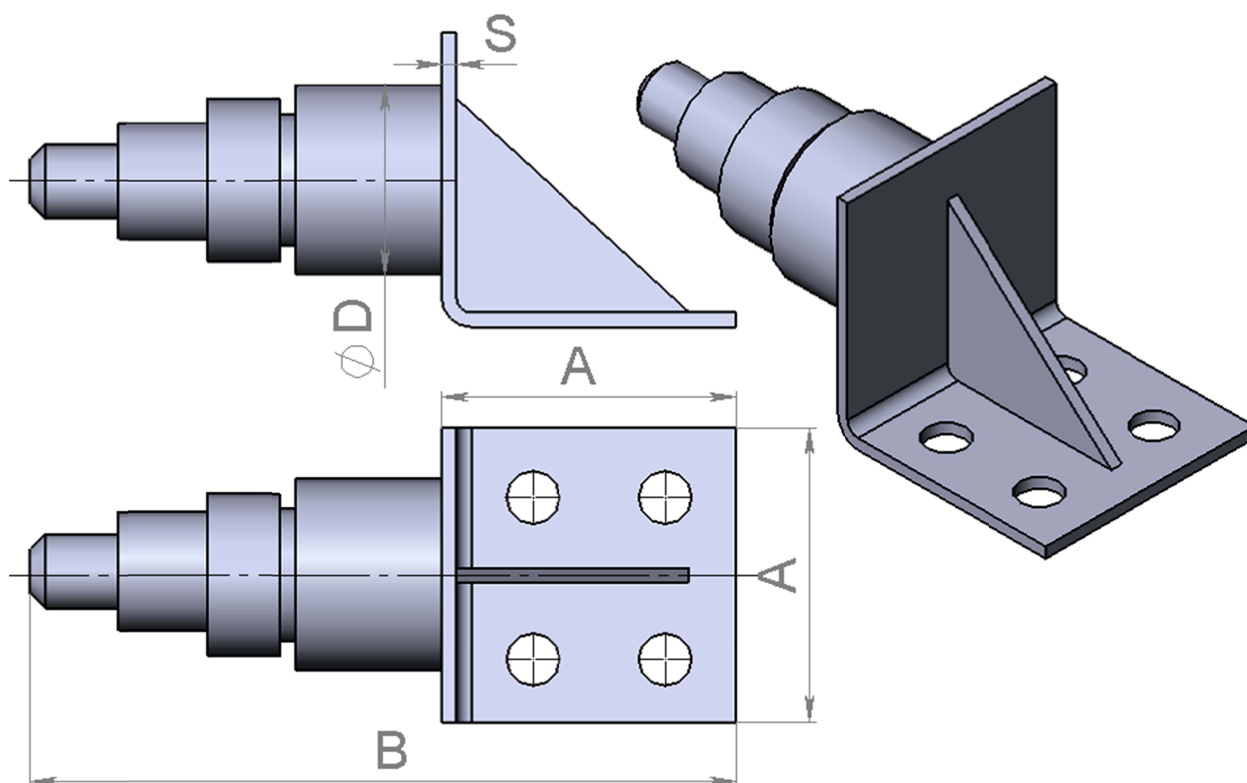
Заменить предложенное литое изделие на сварную конструкцию, разбив его на составные части. Разработать сборочный чертеж с обозначением сварных швов с учетом выбранного способа сварки. Разработать технологию сварки изделия (корпус коробчатый).



Вариант	13/1	13/2	13/3
Размеры:			
S, мм	8	6	4
A, мм	200	200	150
B, мм	60	50	5
D, мм	60	50	50
* Не приведенные на чертеже размеры детали выбрать конструктивно			
Материал изделия	Сталь 17ГС	Сталь 12Х18Н9Т	Сталь 08Х22Н6Т
Тип производства	массовое	единичное	серийное

Задание № 14

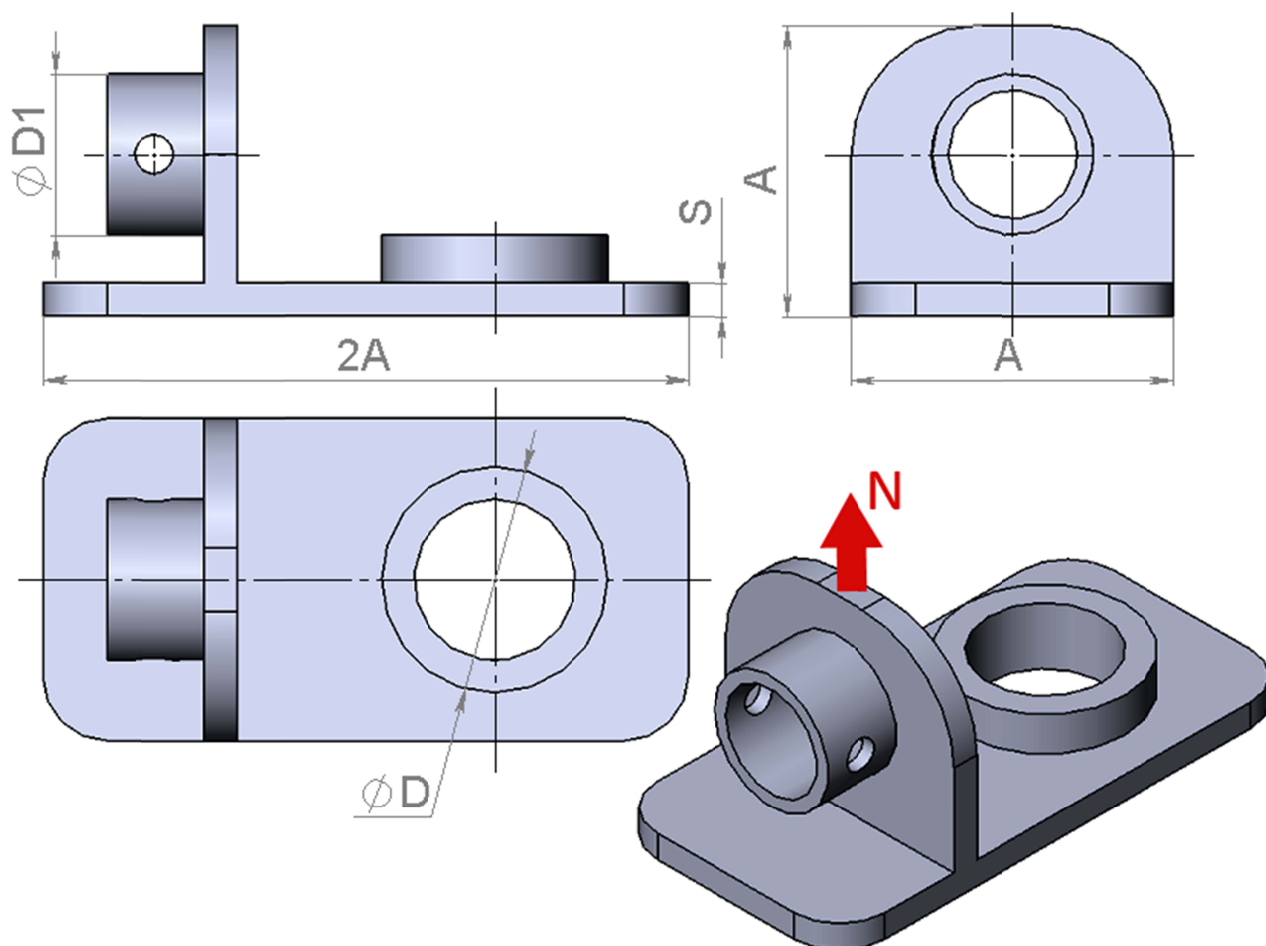
Заменить предложенное литое изделие на сварную конструкцию, разбив его на составные части. Разработать сборочный чертеж с обозначением сварных швов с учетом выбранного способа сварки. Разработать технологию сварки изделия (ось).



Вариант	14/1	14/2	14/3
Размеры:			
S, мм	10	8	3
A, мм	200	200	100
B, мм	480	450	250
D, мм	130	120	80
* Не приведенные на чертеже размеры детали выбрать конструктивно			
Материал изделия	Сталь 12X18Н9Т	Сталь 08X17Т	Сталь 12X18Н9Т
Тип производства	единичное	единичное	серийное

Задание № 15

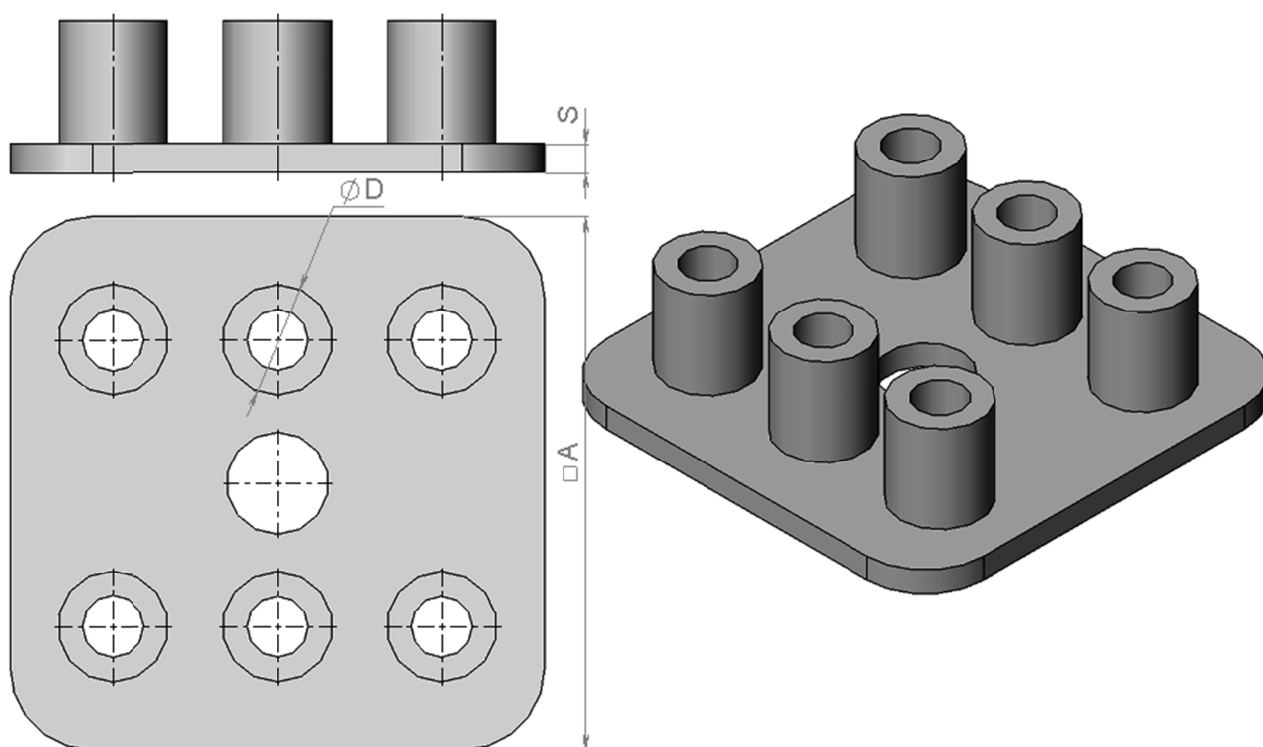
Заменить предложенное литое изделие на сварную конструкцию, разбив его на составные части. Разработать сборочный чертеж с обозначением сварных швов с учетом выбранного способа сварки. Разработать технологию сварки изделия (планка).



Вариант	15/1	15/2	15/3
Размеры:			
S, мм	10	6	3
A, мм	100	80	75
D, мм	70	55	50
D1, мм	50	40	25
* Не приведенные на чертеже размеры детали выбрать конструктивно			
Нагрузка N, кН	120	60	28
Материал изделия	Сталь 15XCHД	Сталь 08X22H6T	Сталь 08X17H13M3T
Тип производства	массовое	единичное	серийное

Задание № 16

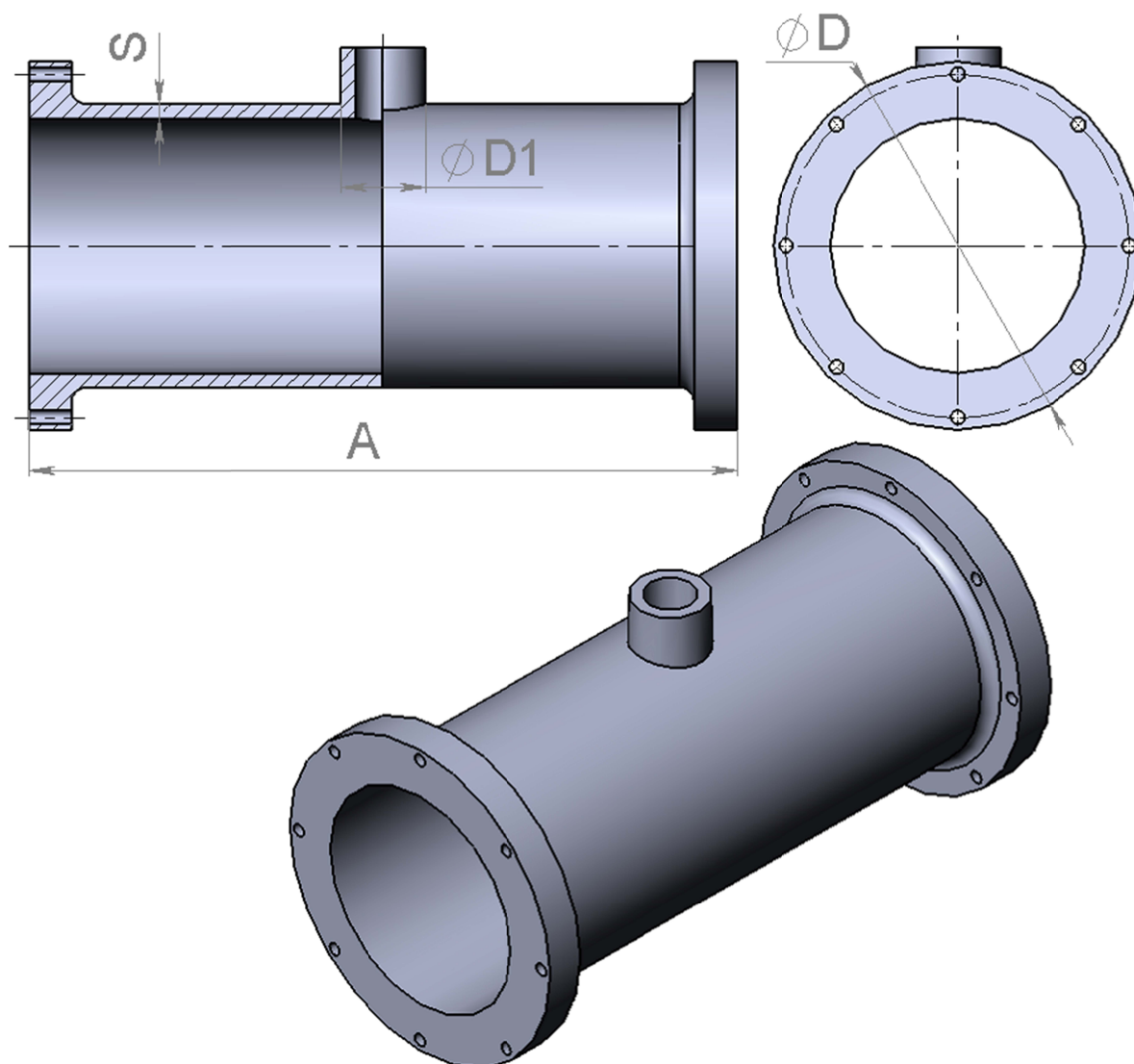
Заменить предложенное литое изделие (трубная доска) на сварную конструкцию, разбив его на составные части. Разработать сборочный чертеж с обозначением сварных швов с учетом выбранного способа сварки. Разработать технологию сварки изделия (трубная доска)



Вариант	16/1	16/2	16/3
Размеры:			
S, мм	5	4	3
A, мм	100	120	100
D, мм	25	25	25
* Не приведенные на чертеже размеры детали выбрать конструктивно			
Материал изделия	Сталь 15ХМ	Сталь 08Х17Т	Сталь 15Х25Т
Тип производства	массовое	единичное	серийное

Задание № 17

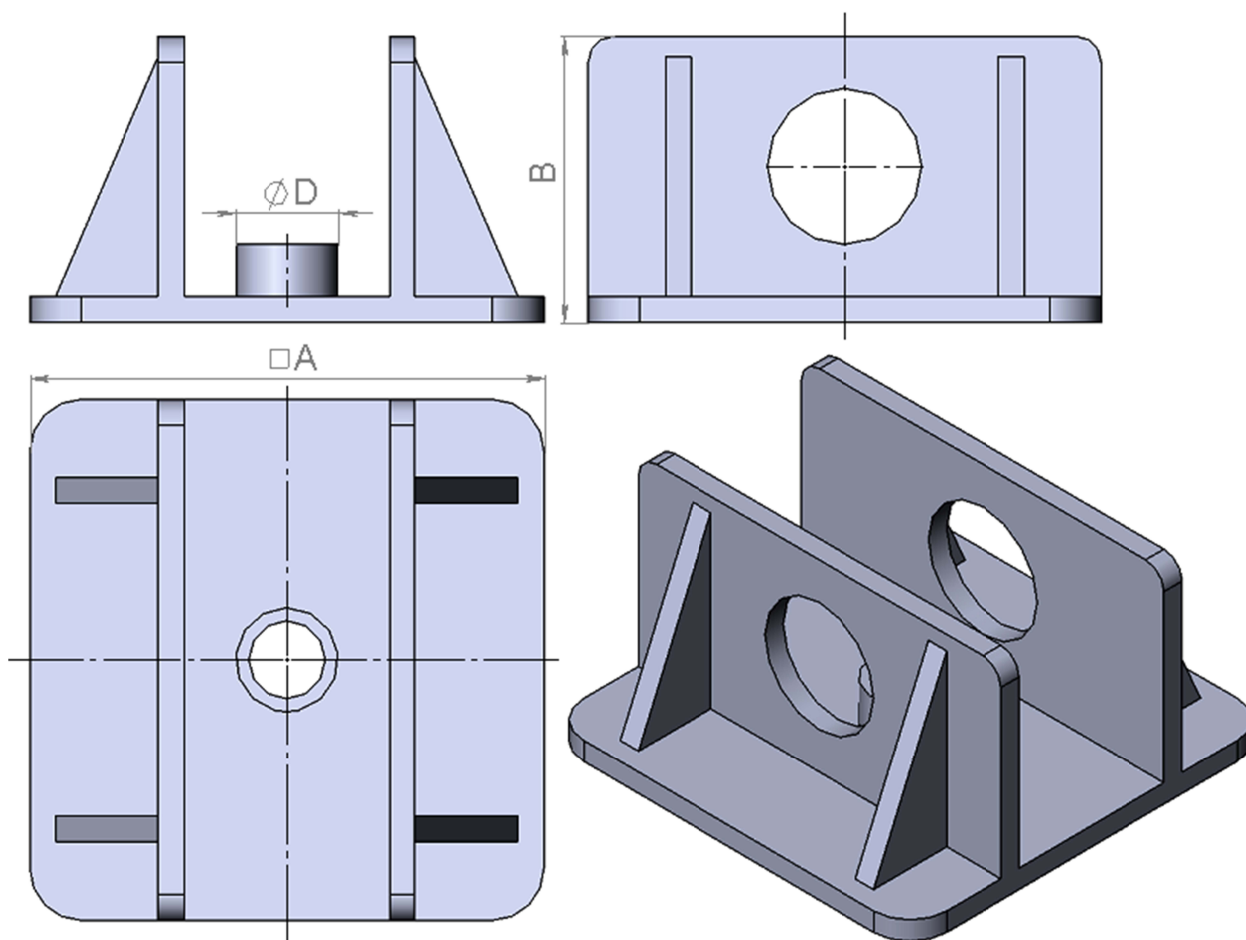
Заменить предложенное литое изделие на сварную конструкцию, разбив его на составные части. Разработать сборочный чертеж с обозначением сварных швов с учетом выбранного способа сварки. Разработать технологию сварки изделия (трубопровод).



Вариант	17/1	17/2	17/3
Размеры:			
S, мм	7	6	4
A, мм	500	400	300
D, мм	245	219	133
D1, мм	60	57	32
* Не приведенные на чертеже размеры детали выбрать конструктивно			
Материал изделия	Сталь 12X18H10T	Сталь 12X18H10T	Сталь 08X17T
Тип производства	единичное	серийное	единичное

Задание № 18

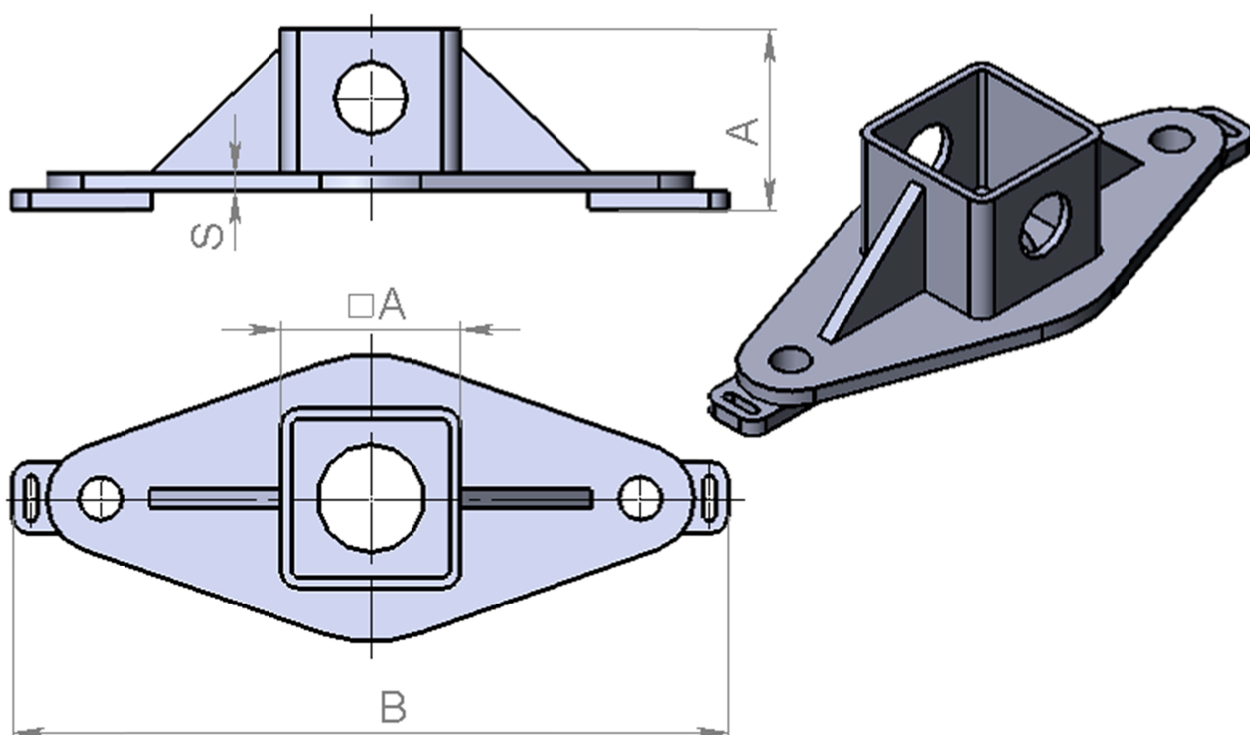
Заменить предложенное литое изделие на сварную конструкцию, разбив его на составные части. Разработать сборочный чертеж с обозначением сварных швов с учетом выбранного способа сварки. Разработать технологию сварки изделия (кронштейн).



Вариант	18/1	18/2	18/3
Размеры:			
S, мм	8	6	3
A, мм	200	180	150
D, мм	40	30	25
B, мм	110	100	80
* Не приведенные на чертеже размеры детали выбрать конструктивно			
Материал изделия	Сталь 20	Сталь Ст3	Сталь 08Х22Н6Т
Тип производства	единичное	серийное	массовое

Задание № 19

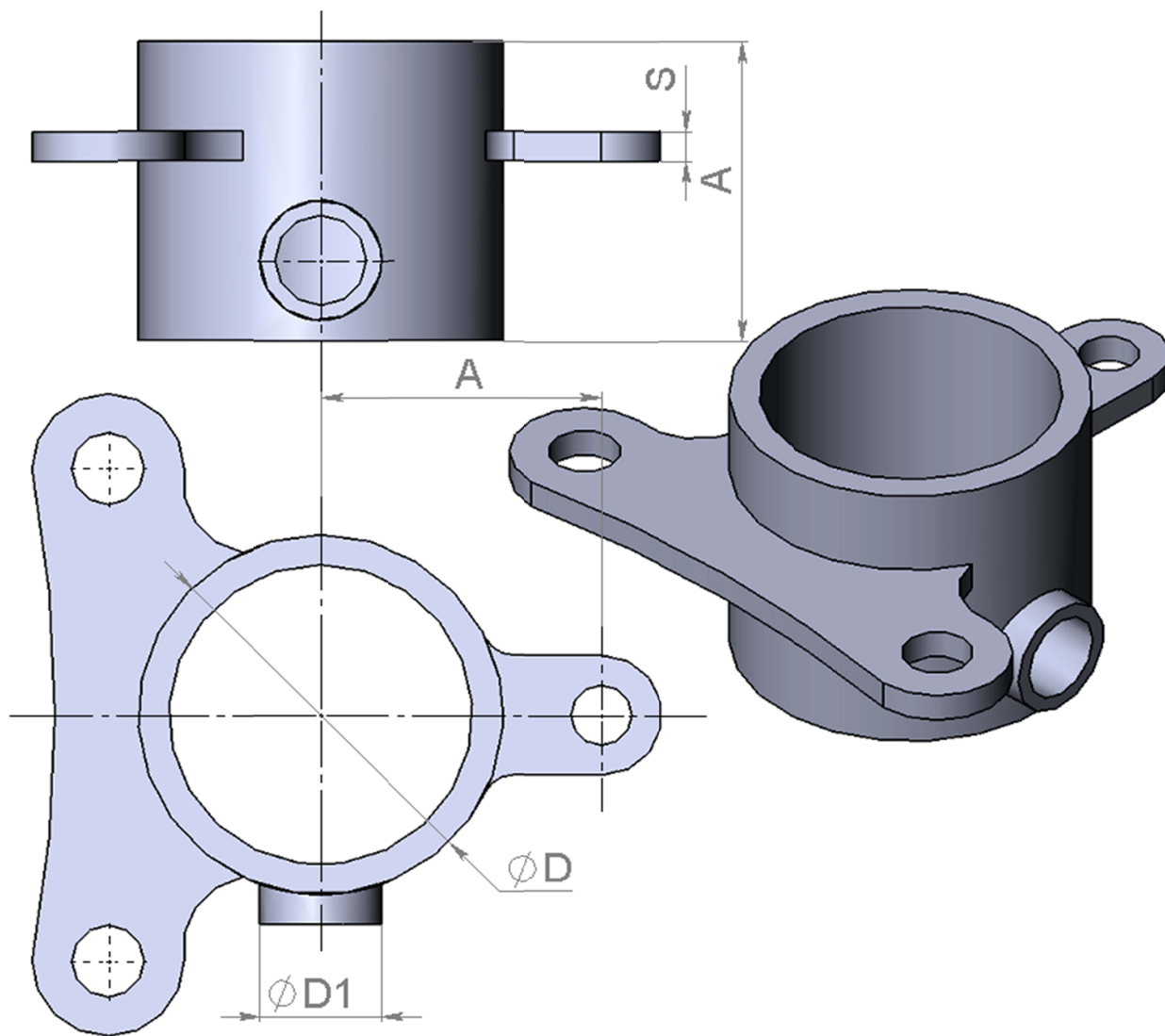
Заменить предложенное литое изделие на сварную конструкцию, разбив его на составные части. Разработать сборочный чертеж с обозначением сварных швов с учетом выбранного способа сварки. Разработать технологию сварки изделия (опора).



Вариант	19/1	19/2	19/3
Размеры:			
S, мм	4	6	5
A, мм	100	80	120
B, мм	400	320	460
* Не приведенные на чертеже размеры детали выбрать конструктивно			
Материал изделия	Сталь 08X17H13M2T	Сталь 20X13	Сталь 20X23H13
Тип производства	единичное	серийное	массовое

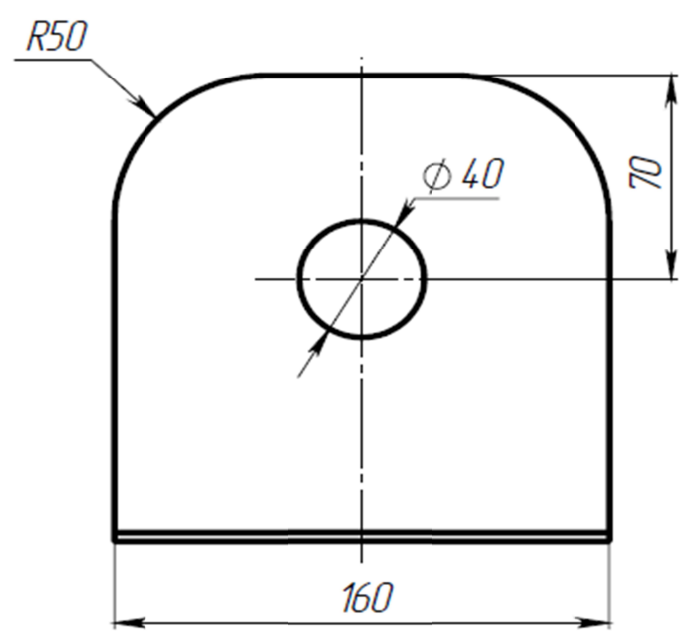
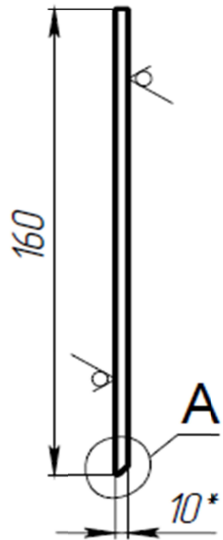
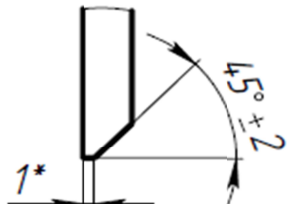
Задание № 20

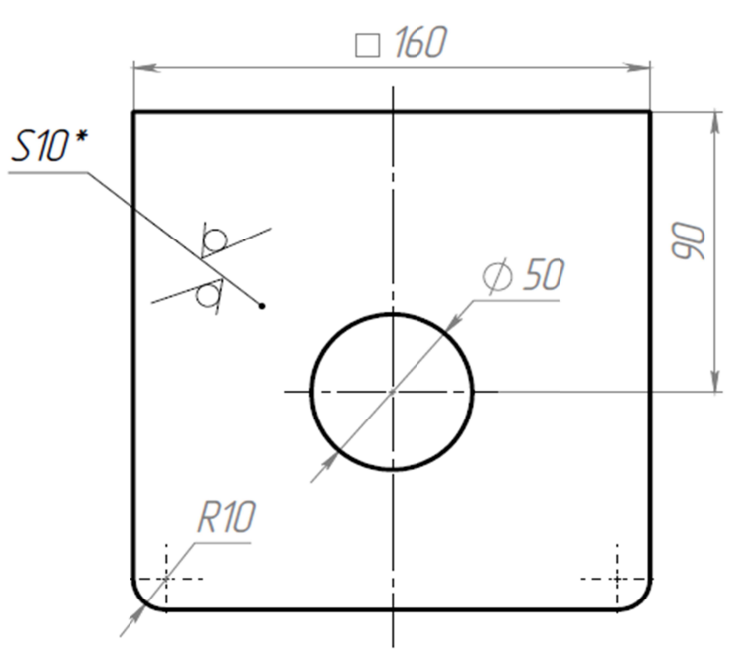
Заменить предложенное литое изделие на сварную конструкцию, разбив его на составные части. Разработать сборочный чертеж с обозначением сварных швов с учетом выбранного способа сварки. Разработать технологию сварки изделия (втулка).

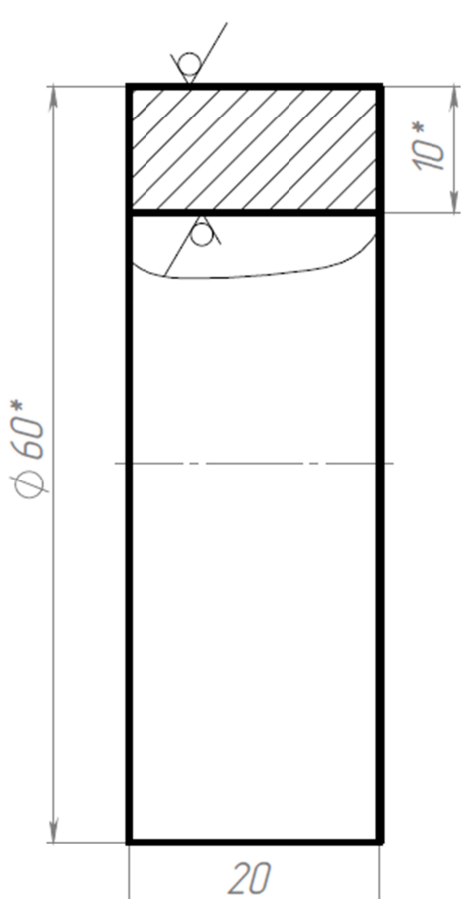


Вариант	20/1	20/2	20/3
Размеры:			
S, мм	10	8	4
A, мм	100	80	60
D, мм	120	100	80
D1, мм	40	30	25
* Не приведенные на чертеже размеры детали выбрать конструктивно			
Материал изделия	Сталь 08X17T	Сталь 17ГС	Сталь 10XCHД
Тип производства	массовое	единичное	серийное

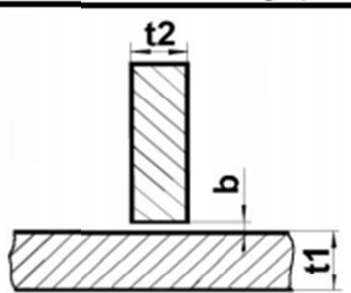
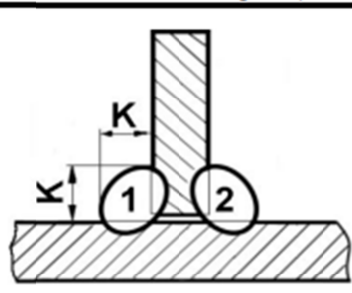
Пример детализации, сборочного чертежа и спецификации
на проектируемую сборочную единицу

Перв. примен.	<i>100'00'00'XX/XXX БНТУ</i>																																																									
Справ. №	 <i>R50</i> <i>φ40</i> <i>160</i> <i>70</i>  <i>160</i> <i>10*</i> <i>A</i>  <i>A (2 : 1)</i> <i>45° ± 2</i> <i>1*</i>																																																									
Подп. и дата	<i>1.*Размеры для справок</i>																																																									
Инв. № дубл.	<i>БНТУ XXX/XX.00.00.001</i>																																																									
Взам. инв. №	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><i>Изм.</i></td> <td style="text-align: center;"><i>Лист</i></td> <td style="text-align: center;"><i>№ докум.</i></td> <td style="text-align: center;"><i>Подп.</i></td> <td style="text-align: center;"><i>Дата</i></td> <td colspan="3" rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;"> <i>Планка верхняя</i> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;"><i>Лит.</i></td> <td style="width: 33%; text-align: center;"><i>Масса</i></td> <td style="width: 33%; text-align: center;"><i>Масштаб</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><i>0,72</i></td> <td style="text-align: center;"><i>1 : 2</i></td> <td></td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><i>Разраб.</i></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><i>Проб.</i></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="3" rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;"> <i>Лист 1</i> <i>Листов 1</i> </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><i>Т. контр.</i></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><i>Н. контр.</i></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="3" rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;"> <i>БНТУ гр.</i> </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><i>Утв.</i></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>													<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>	<i>Планка верхняя</i> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;"><i>Лит.</i></td> <td style="width: 33%; text-align: center;"><i>Масса</i></td> <td style="width: 33%; text-align: center;"><i>Масштаб</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><i>0,72</i></td> <td style="text-align: center;"><i>1 : 2</i></td> <td></td> </tr> </table>			<i>Лит.</i>	<i>Масса</i>	<i>Масштаб</i>	<i>0,72</i>	<i>1 : 2</i>		<i>Разраб.</i>					<i>Проб.</i>					<i>Лист 1</i> <i>Листов 1</i>			<i>Т. контр.</i>					<i>Н. контр.</i>					<i>БНТУ гр.</i>			<i>Утв.</i>				
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>	<i>Планка верхняя</i> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;"><i>Лит.</i></td> <td style="width: 33%; text-align: center;"><i>Масса</i></td> <td style="width: 33%; text-align: center;"><i>Масштаб</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><i>0,72</i></td> <td style="text-align: center;"><i>1 : 2</i></td> <td></td> </tr> </table>			<i>Лит.</i>	<i>Масса</i>	<i>Масштаб</i>	<i>0,72</i>	<i>1 : 2</i>																																														
<i>Лит.</i>	<i>Масса</i>	<i>Масштаб</i>																																																								
<i>0,72</i>	<i>1 : 2</i>																																																									
<i>Разраб.</i>																																																										
<i>Проб.</i>					<i>Лист 1</i> <i>Листов 1</i>																																																					
<i>Т. контр.</i>																																																										
<i>Н. контр.</i>					<i>БНТУ гр.</i>																																																					
<i>Утв.</i>																																																										
Подп. и дата	<i>БНТУ XXX/XX.00.00.001</i>																																																									
Инв. № подл.	<i>Лист 1</i>																																																									

Перв. примен.	БНТУ XXX/XX.00.00.001				$\sqrt{Ra\ 12,5\ (\checkmark)}$			
Справ. №								
Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	1. * Размер для справок					
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	БНТУ XXX/XX.00.00.002			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.		Масса	Масштаб
Разраб.	Проб.	Т. контр.	Планка нижняя		Лист 1	Листов 1	0.74	1 : 2
Н. контр.	Лист Б-ПН-0-10 ГОСТ 19903-2015 20-ТВ1-М1-КИ-ТО-ДК1 ГОСТ 1577-93				БНТУ гр.			
Утв.								

Перв. примен.	БНТУ XXX/XX.00.00.003				$\sqrt{Ra\ 12,5\ (V)}$			
Справ. №								
1.*Размеры для справок								
Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	БНТУ XXX/XX.00.00.003				
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Труба верхняя		
Т. контр.	Разраб.	Проб.	Т. контр.	Лит.	Масса	Масштаб	0.25 2 : 1	
Н. контр.	Утв.	Труба 60x10 ГОСТ 8732-78 в 20 ГОСТ 8731-74				Лист 1	Листов 1	БНТУ гр.

Пример оформления отчета-сертификата WPQR

БНТУ		ОТЧЕТ О КВАЛИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ ПО СТБ ISO 15614-1-2009		WPQR № 1 / 20	
Адрес организации/Address Процесс сварки по СТБ ISO 4063/ Welding Process Степень механизации / Mechanization Degree Тип сварного соединения/ Joint Type Подробные сведения о подготовке кромок / Joint Design Свариваемый образец/Test Piece Толщина элементов соединения/ Material Thickness, mm Наружный диаметр труб/ Outside Diameter, mm Положение при сварке СТБ ISO 6947/ Welding Position		г.Минск, ул.Я.Коласа, 24 111 Дуговая сварка плавящимся покрытым электродом ручная/Manual Количество проходов/ Run № тавровое / T-joint Тип сварного шва/ Weld Type угловой шов/FW ГОСТ 5264-80 T3 (см.эскиз) пластина+пластина / plate+plate t1,мм 10,0 t2,мм 10,0 D1, мм — D2,мм — РВ нижнее			
Тип соединения (эскиз) Joint Design (sketch)		Последовательность выполнения швов Welding Sequences			
					
Способ подготовки и очистки / Method of Preparation and Cleaning		Механическая/ Mechanical			
Марка, группа основного металла по СТБ ISO 15608/ Base Metal Specification Type and Grade		Сталь 20 (1.1)			
Присадочный материал/ Filler Material Designation		LB-52U AWS 5.1 E7018			
Режимы прокалки/Dehumidification process		согласно рекомендациям производителя			
Диаметр и тип неплавящегося электрода/ Tungsten Electrode Type and Size		Не требуется / N/A			
Сведения о разделке корня шва/подкладке Details of Back Gouging/Backing		Не требуется / N/A			
Максимальная ширина валика/ Weaving (maximum width of run)		Не требуется / N/A			
Марка защитного (или горючего) газа, сварочного флюса/Shielding (Flammable) Gas or Flux		Не требуется/N/A			
Расход газа / Gas flow rate:					
– защитный газ / shielding gas		Не требуется/N/A			
– защита корня шва / root shielding		Не требуется / N/A			
Поперечные или продольные колебания/ Oscillation		Не требуется / N/A			
Импульс/Pulse		Не требуется / N/A			
Температура предварительного подогрева, °C/ Preheat Temperature		при T < 0 °C просушка при 80-100 °C/ If T < 0 °C up to 80-100 °C			
Температура промежуточных слоев, °C/ Interpass Temperature		Макс.250°C/ Max. 250°C			
Послесварочный подогрев/Post-heating		Не требуется / N/A			

Послесварочная термообработка/ PWHT (Time, Temperature, Method)
Скорости нагрева и охлаждения/ Heating and Cooling Rates

Не требуется / N/A

Не требуется / N/A

Параметры режима сварки/Welding Details

Проход Run	Способ сварки Welding Process	Диаметр электрода, мм Size of Filler, mm	Ток, А Current, A	Напряжение, В Voltage, V	Род тока, полярность Type of current	Скорость сварки, м/ч Travel speed, m/h	Скорость подачи пров., м/ч Wire Feed Speed, m/h	Погон. энергия, кДж/см Heat Input, kJ/cm
1	111	3,2	100—120	20—22	DC (+)	—	—	—

Дополнительно:

При зачистке использовать шлифовальные круги и щетки предназначенные для обработки углеродистых сталей.
Перед началом сварки должно быть проверено качество сборки соединяемых элементов, а также состояние стыкуемых кромок и прилегающих к ним поверхностей, при сборке не допускается подгонка кромок ударным способом или местным нагревом.

Подготовка свариваемых деталей к сборке и сварке:

Перед сборкой и сваркой заготовка должна быть очищена до металлического блеска от окислов, ржавчины, грязи, масла на ширину не менее 20 мм от свариваемых кромок.

После очистки необходимо произвести осмотр поверхностей для выявления трещин, раковин, глубоких рисок и коррозии.

Отклонения геометрических размеров свариваемых заготовок должны соответствовать нормативным документам.

Требования к прихватке и сварке:

Сварку элементов металлоконструкций должны выполнять сварщики, аттестованные в соответствии с требованиями «Правил аттестации сварщиков РБ» и/или СТБ EN 287-1, и имеющие удостоверение на право выполнения данных работ.
Сварку на улице (монтаж) проводить, установив защиту мест сварки, а также свариваемых поверхностей от попадания атмосферных осадков и ветра.

Детали собирать с помощью прихваток, располагая их равномерно по всей длине. Количество прихваток и их размеры должны быть минимально необходимыми и обеспечивать их расплавление при наложении швов заданного сечения. Прихватки необходимо выполнять с полным проваром. Прихватки перед сваркой зачищают до металлического блеска и проверяют на отсутствие трещин, дефектов (прихватки с трещинами или дефектами удаляют механическим способом).

Контроль:

Не допускаются трещины всех видов и направлений, непровары (несплавления) между основным металлом и швом, а также между валиками шва, непровары в корне шва, наплывы и брызги металла, отклонение размеров шва сверх установленных норм, незаваренные кратеры, свищи, прожоги, скопления, подрезы (кроме случаев, оговоренных в ТНПА).
Выявленные дефекты подлежат удалению до возобновления сварки. Начало и конец каждого валика необходимо переплавлять, не допуская совпадения старта одного валика с финишем последующего.

РЕЗУЛЬТАТЫ КОНТРОЛЯ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ/Control results of welded joint		
Вид контроля/Type of Control	Результаты/Results	Примечания/Note
Внешний осмотр и измерение	удовлетворительно/satisfactory	Протокол № 111VT-2020 от 01.10.2020
Капиллярная дефектоскопия	удовлетворительно/satisfactory	Протокол № 111PT-2020 от 01.10.2020
Радиография/УЗК	не требуется/N/A	не требуется/N/A
Мех. испытания/ металлограф.	удовлетворительно/satisfactory	Протокол № 111 мет -2020 от 01.01.2020
Твердость	не требуется/N/A	не требуется/N/A

ЗАКЛЮЧЕНИЕ/ CONCLUSION

Технология соответствует требованиям ТНПА, приведенным в протоколе производственной квалификации, и допускается для производства сварочных работ согласно следующей области распространения

ОБЛАСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ/ APPROVAL RANGE					
однопроходная/ Single Run					
Группа металла/Base Metal Grade		1.1			
Толщина, мм/ стыковые швы BW:		—		Диаметр, мм/ Diameter, mm	
Thickness, mm угловые швы FW:		5 ÷ 13		—	
Положение при сварке/ Welding Position		T-BW	—	T-FW	PA;PB
		P-BW	—	P-FW	PA,PB

Проверил

Пример оформления комплекта документов на технологический процесс сборки, сварки и контроля

[illegible]

Продолжение прил. Г

ГОСТ 3.1123-84										Форма 7									
Добл.																			
Взам.																			
Подл.																			
Разраб.																			
Проверил																			
Утв.																			
Н. контр.																			
К/М																			
Цех																			
Уч.																			
РМ																			
Опер.																			
Поз.																			
Я																			
К 01	01	1111	005	1	Планка верхняя														
02																			
К 03	01	1111	005	2	Планка нижняя														
04																			
К 05	01	1111	005	3	Труба нижняя														
06																			
К 07	01	1111	005	4	Труба верхняя														
08																			
К 09	01	1111	005	5	Ребра														
10																			
11																			
12																			
13																			
14																			
15																			
16																			
КК																			

[illegible]

Учебное издание

БЕНДИК Татьяна Ивановна
УРБАНОВИЧ Наталья Ивановна
СЕРЕДА Валерий Юрьевич

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ И ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ

Учебно-методическое пособие
по курсовому проектированию и практическим занятиям
для студентов специальности 1-36 01 06 «Оборудование и технология
сварочного производства»

Редактор *А. В. Кочемарова*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 11.04.2023. Формат 60×84 ¹/₈. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 10,81. Уч.-изд. л. 8,44. Тираж 50. Заказ 107.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.