

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Оборудование и технология сварочного производства»

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ И ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ

*Методические рекомендации к практическим занятиям
для студентов специальности*

*1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства»
дневной и заочной форм обучения*



Могилев 2023

УДК 621.791
ББК 30.606
Т38

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Оборудование и технология сварочного производства» «18» ноября 2022 г., протокол № 6

Составитель канд. техн. наук, доц. А. О. Коротеев

Рецензент канд. техн. наук, доц. Д. М. Свирепа

Методические рекомендации предназначены для студентов специальности 1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства» дневной и заочной форм обучения.

Учебно-методическое издание

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ И ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ

Ответственный за выпуск	А. О. Коротеев
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2023

Содержание

Цели и задачи дисциплины.....	4
1 Практическое занятие № 1. Типы сварных швов и соединений.	
Обозначения сварных соединений на чертежах.....	4
2 Практическое занятие № 2. Расчет параметров режима ручной дуговой сварки.....	8
3 Практическое занятие № 3. Расчет норм времени и расхода сварочных материалов.....	15
4 Практическое занятие № 4. Выбор сварочного оборудования.....	18
5 Практическое занятие № 5. Выбор сварочных материалов.....	19
6 Практическое занятие № 6. Определение структуры основного металла и сварного шва по химическому составу.....	19
7 Практическое занятие № 7. Изучение правил заполнения операционной карты.....	22
8 Практическое занятие № 8. Выполнение сборочного чертежа сварной конструкции.....	23
Список литературы.....	24

Цели и задачи дисциплины

Цель дисциплины – ознакомление студентов с технологическими возможностями способов дуговой сварки. Студенты должны получить углубленные знания о состоянии и перспективах применения основных способов дуговой сварки при производстве разнообразных сварных конструкций.

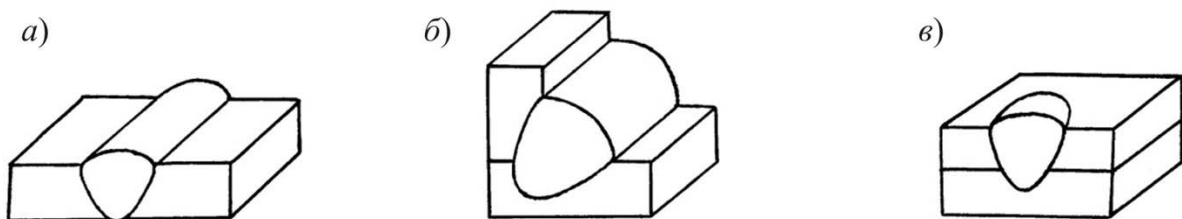
Дисциплина призвана сформировать у студентов методологическую и профессиональную направленность, необходимую для дальнейшей производственной деятельности.

Задачи изучения дисциплины – освоение студентами технологических особенностей различных способов сварки плавлением, основных принципов выбора сварочных материалов и оборудования, методики составления технологических процессов сборки и сварки, а также мероприятий по предупреждению образования дефектов в сварных швах.

Студент должен уметь с учетом конструктивных особенностей сварного изделия и условий его эксплуатации выбрать наиболее экономически целесообразный способ сварки, сварочные материалы, технологические режимы и оборудование, термическую обработку сварных соединений (при необходимости), составлять маршрутную технологию производства сварных конструкций и давать необходимые рекомендации, обеспечивающие высокую эксплуатационную надежность сварных конструкций.

1 Практическое занятие № 1. Типы сварных швов и соединений. Обозначения сварных соединений на чертежах

Сварным швом называют закристаллизовавшийся металл, который в процессе сварки находился в расплавленном состоянии. Сварные швы подразделяют по форме сечения (рисунок 1.1) на три типа: стыковые, угловые, прорезные.

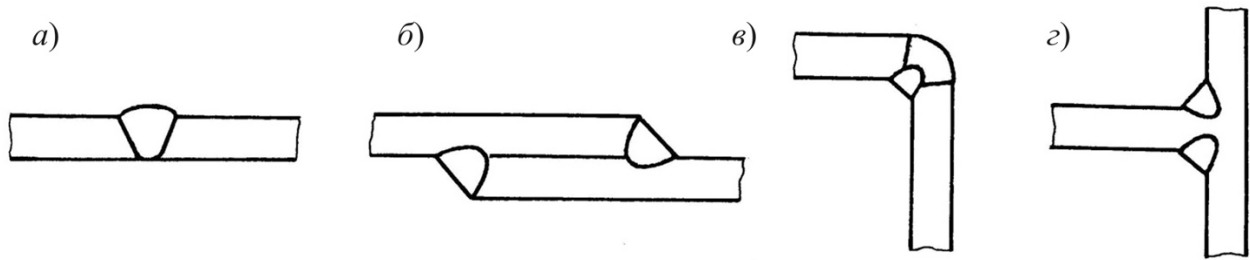


a – стыковой; *б* – угловой; *в* – прорезной

Рисунок 1.1 – Типы сварных швов

Сварным соединением называют ограниченный участок конструкции, содержащий один или несколько сварных швов. Сварные соединения в зависимости от характера сопряжения свариваемых деталей могут быть

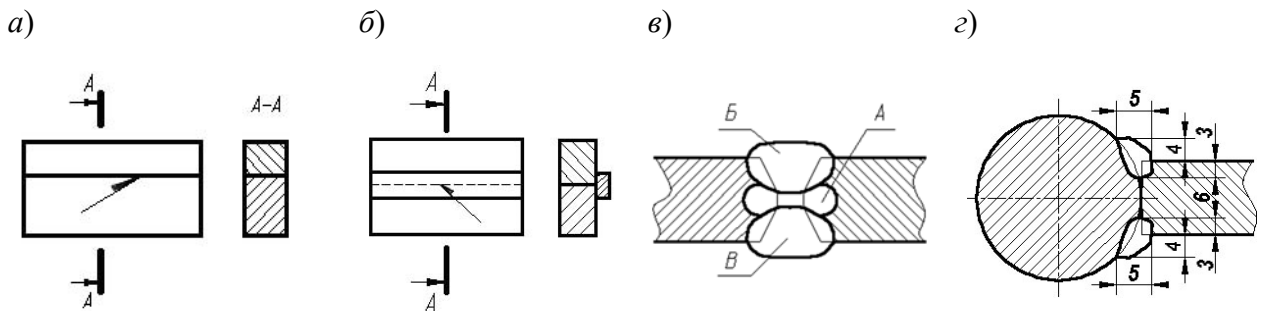
стыковыми (рисунок 1.2, *а*), нахлесточными (рисунок 1.2, *б*), угловыми (рисунок 1.2, *в*), тавровыми (рисунок 1.2, *г*).



а – стыковое; *б* – нахлесточное; *в* – угловое; *г* – тавровое

Рисунок 1.2 – Типы сварных соединений

Шов сварного соединения, независимо от способа сварки, условно изображают сплошной основной линией – видимый шов (рисунок 1.3, *а*), штриховой линией – невидимый шов (рисунок 1.3, *б*). От изображения шва проводят линию-выноску, заканчивающуюся односторонней стрелкой. На изображение сечения многопроходного шва допускается наносить контуры отдельных проходов, при этом их необходимо обозначить прописными буквами русского алфавита (рисунок 1.3, *в*). Шов, размеры конструктивных элементов которого стандартами не установлены (нестандартный шов), изображается с указанием размеров, необходимых для выполнения шва по данному чертежу (рисунок 1.3, *г*).



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

Рисунок 1.3 – Условное изображение сварных швов

Вспомогательные знаки для обозначения сварных швов по ЕСКД ГОСТ 2.312–72 приведены в таблице 1.1.

Структура условного обозначения швов представлена на рисунке 1.4.

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

СТБ 1016–96 *Соединения сварные. Общие технические условия.*

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

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

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

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

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

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

ГОСТ 14806–80 *Дуговая сварка алюминия в инертных газах.*

ГОСТ 15164–78 *Электрошлаковая сварка. Соединения сварные.*

ГОСТ 16037–80 *Соединения сварные стальных трубопроводов.*

ГОСТ 16098–80 *Соединения сварные из двухслойных коррозионностойких сталей.*

ГОСТ 14098–91 *Сварка арматуры и закладных деталей.*

Тип сварного соединения обозначается буквами: *С* – стыковое; *Н* – нахлесточное; *У* – угловое; *Т* – тавровое. Цифра после этой буквы уточняет тип подготовки кромок. После типа сварного соединения на чертеже даются пояснения, касающиеся применяемого способа сварки. Для ГОСТ 5264–80 и ГОСТ 11534–75 они, как правило, не требуются, т. к. ручная дуговая сварка выполняется покрытыми электродами.

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; *ИНП* – 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.

Задание 1

Расшифруйте обозначения сварных швов.

Задание 2

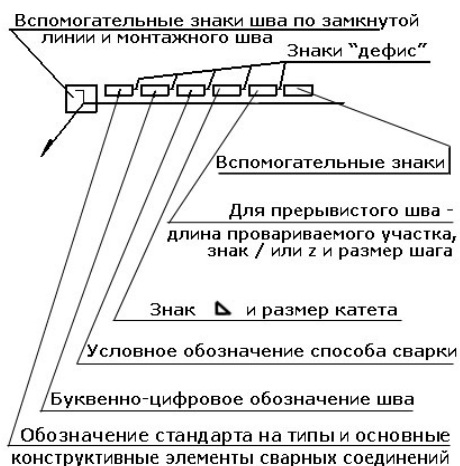
Замените предложенное литое изделие на сварную конструкцию, разбив его на составные части с учетом обеспечения технологичности сварных соединений.

Таблица 1.1 – Вспомогательные знаки для обозначения сварных швов

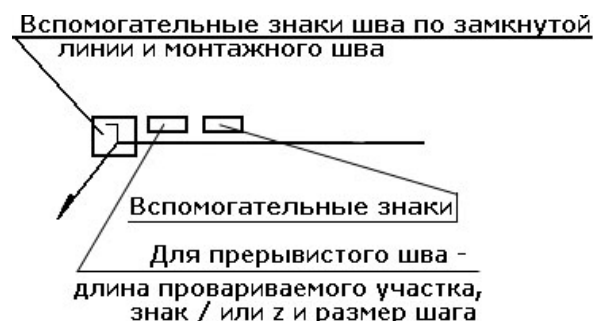
Вспомогательный знак	Значение вспомогательного знака	Расположение знака относительно полки линии-выноски	
		с лицевой стороны	с оборотной стороны
	Выпуклость шва снять		
	Наплывы и неровности обработать с плавным переходом к основному металлу		
	Шов выполнить при монтаже изделия, т. е. при установке его на месте применения		
	Шов прерывистый или точечный с цепным расположением		
	Шов прерывистый или точечный с шахматным расположением		
	Шов по замкнутой линии		
	Шов по незамкнутой линии		

Примечание – 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

а)



б)



а – стандартный шов; б – нестандартный шов

Рисунок 1.4 – Структура условного обозначения шва

Проведите необходимые расчеты. Обозначьте сварные швы на разработанной сборочной единице.

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

Расчет параметров режима сварки ведется в зависимости от заданного способа сварки. Основными параметрами режима являются диаметр электрода или проволоки $d_э$, сила сварочного тока $I_{св}$, напряжение на дуге $U_д$, скорость сварки $V_{св}$, скорость подачи сварочной проволоки $V_{п.п.}$

2.1 Расчет параметров режима ручной дуговой сварки

Рассчитываем параметры режима ручной дуговой сварки стыкового соединения типа С8 по ГОСТ 5264–80 (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Эскиз сварного соединения

Первоначально задается диаметр электрода $d_э$. Его значение зависит от требуемой глубины проплавления $H_{пр}$ и принимается по рекомендациям, представленным в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Выбор диаметров электродов и сварочных проволок

Вид сварки	Диаметр сварочной проволоки при диаметре электродов			
	2,5	3,0; 4,0	4,0; 5,0	5,0; 6,0
Ручная сварка покрытыми электродами	2,5	3,0; 4,0	4,0; 5,0	5,0; 6,0
Механизированная в CO ₂	0,8; 1,0	1,2	1,2; 1,6	1,6
Автоматическая в CO ₂	1,0	1,2; 1,6; 2,0	1,6; 2,0	3,0; 4,0
Автоматическая под флюсом	–	2,0; 3,0	3,0; 4,0	4,0; 5,0

Глубина проплавления, в свою очередь, зависит от толщины металла и условий сварки:

– для стыковых односторонних швов глубина проплавления равна толщине свариваемого металла: $H_{пр} = \delta$;

– для стыковых двусторонних швов $H_{np} = 0,6\delta$;

– для стыковых швов, выполняемых на остающейся подкладке, $H_{np} = \delta + 1$ мм.

При наличии усилий, действующих на свариваемые детали, катет шва необходимо рассчитать по формуле

$$K = \frac{N}{\beta[\tau]L_{ш}}, \quad (2.1)$$

где N – усилие, действующее на деталь, Н;

$[\tau]$ – допускаемое напряжение, $[\tau] = 80 \dots 90$ МПа;

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

$L_{ш}$ – длина шва, м.

После расчета катета угловых швов необходимо уточнить диаметр электрода исходя из следующих рекомендаций: при катете 3 мм $d_э = 3$ мм; при катетах 4...5 мм $d_э = 4$ мм; при катетах 6...9 мм $d_э = 5$ мм.

В рассматриваемом примере глубина проплавления стыкового шва $H_{np} = \delta = 6$ мм, следовательно, принимаем $d_э = 4$ мм.

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:

$$n = \frac{F_n - F_1}{F_n} + 1, \quad (2.2)$$

где F_n – площадь поперечного сечения наплавленного металла, мм²;

F_1 – площадь поперечного сечения металла, наплавленного за один проход при проварке корня шва (первый проход), мм², $F_1 = (6 \dots 8)d_э$;

F_n – площадь поперечного сечения металла последующих проходов, мм², $F_n = (8 \dots 12)d_э$.

Площадь наплавленного металла F_n зависит от типа сварного соединения. Для угловых швов (рисунок 2.2, а) она определяется как площадь треугольника, умноженная на коэффициент a , учитывающий форму шва (для выпуклых швов $a = 1,2$; для вогнутых $a = 0,9$):

$$F_n = \frac{K^2}{2} a \cdot \sin \alpha, \quad (2.3)$$

где α – угол, под которым свариваются детали.

Площадь наплавленного металла стыкового шва определяется площадями геометрических фигур, которые заполняются электродным металлом при сварке. Для шва, выполненного без разделки кромок, площадь наплавленного металла состоит из площади зазора между деталями $F_з$ и площади валика шва $F_в$ (рисунок 2.2, б):

$$F_n = F_3 + F_6 = bH_{np} + \frac{3}{4}eg, \quad (2.4)$$

где b – зазор между деталями, мм;

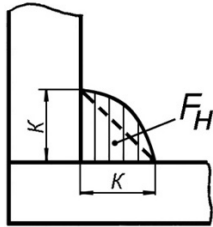
e – ширина шва, мм;

g – выпуклость шва, мм.

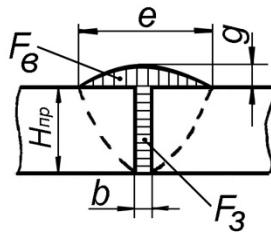
При наличии разделки кромок площадь наплавленного металла (рисунок 2.2, в)

$$F_n = F_3 + F_6 + F_p. \quad (2.5)$$

а)



б)



в)

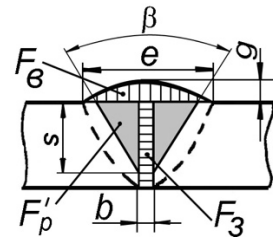


Рисунок 2.2 – Определение площади наплавленного металла

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

$$F_p = 2F_p' = S^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}, \quad (2.6)$$

где β – угол разделки кромок (см. рисунок 2.2, в).

Для рассматриваемого примера площадь наплавленного металла

$$\begin{aligned} F_n = F_3 + F_6 + F_p &= bH_{np} + \frac{3}{4}eg + 0,5S \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = 2 \cdot 6 + \frac{3}{4} \cdot 12 \cdot 0,5 + 5^2 \cdot \operatorname{tg} 45 = \\ &= 41,5 \text{ мм}^2 = 0,42 \text{ см}^2. \end{aligned}$$

С учетом найденной площади наплавленного металла определяется необходимое количество проходов для рассматриваемого сварного соединения:

$$n = \frac{F_n - F_1}{F_n} + 1 = \frac{41,5 - 7 \cdot 4}{10 \cdot 4} + 1 = 1,34.$$

Следовательно, для получения качественного шва сварку необходимо осуществлять в два прохода.

Для ручной дуговой сварки сила сварочного тока выбирается в зависимости от диаметра электрода по формуле

$$I_{св} = \frac{\pi d_э^2}{4} j = \frac{3,14 \cdot 4^2}{4} \cdot 13 = 163 \text{ А}, \quad (2.7)$$

где j – допустимая плотность тока в электроде, А/мм².

Плотность тока определяем по таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Значения плотностей тока при ручной сварке

Вид покрытия электрода	Допускаемая плотность тока в электроде, А/мм ² , при $d_э$, мм			
	3	4	5	6
Кислое, рутиловое	14...20	11,5...16	10...13,5	9,5...12,5
Основное	13...18,5	10...14,5	9...12,5	8,5...12,0

Сварка корневого шва (первый проход) осуществляется на следующих параметрах режима сварки: $d_э = 3$ мм; $I_{св} = 100...110$ А; $U_д = 22...24$ В; $V_{св} = 8...9$ м/ч.

Напряжение на дуге устанавливают в зависимости от способа сварки, а также от марки и диаметра электрода. Для ручной дуговой сварки (ГОСТ95–77) напряжение на дуге рассчитывается по следующей зависимости:

$$U_д = 20 + 0,04I_{св} = 20 + 0,04 \cdot 163 = 26,5 \text{ В}. \quad (2.8)$$

Скорость сварки $V_{св}$, м/ч, вычисляется по формуле

$$V_{св} = \frac{\alpha \cdot I_{св}}{\gamma F_{н1} \cdot 100} = \frac{9 \cdot 163}{7,8 \cdot \frac{0,42}{2} \cdot 100} = 9 \text{ м/ч}, \quad (2.9)$$

где α_n – коэффициент наплавки, для РДС $\alpha_n = 8...10$ г/(А · ч);

γ – плотность металла, $\gamma = 7,8$ г/см³;

$F_{н1}$ – площадь поперечного сечения наплавленного металла за один проход, см².

2.2 Расчет параметров режима механизированной сварки в среде защитных газов

Рассчитываем параметры режима автоматической сварки в среде защитных газов таврового соединения типа Т1 по ГОСТ 14771–76 (рисунок 2.3).

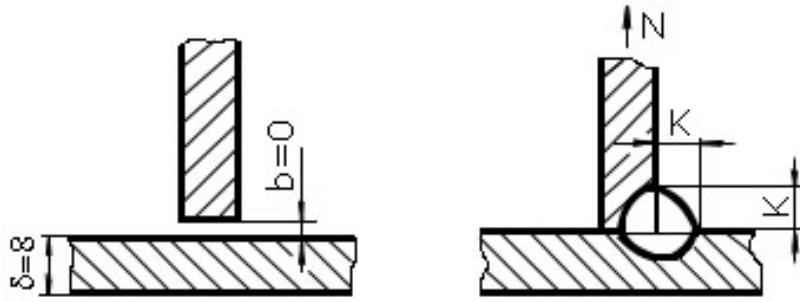


Рисунок 2.3 – Эскиз сварного соединения

При наличии действующего усилия $N = 32$ кН и длине шва $L_{шв} = 100$ мм необходимо рассчитать катет шва по формуле

$$K = \frac{N}{0,8[\tau]L_{шв}} = \frac{32000}{0,8 \cdot 80 \cdot 10^6 \cdot 0,1} = 5.$$

Принимается $K = 5$ мм. Тогда при толщине металла $\delta = 8$ мм, согласно рекомендациям таблицы 2.1, $d_э = 1,6$ мм.

Для сварки в среде углекислого газа силу сварочного тока можно определить по формуле

$$I_{св} = \frac{H_{np}}{k_n} \cdot 100 = \frac{4,8}{1,55} \cdot 100 = 310 \text{ А}, \quad (2.10)$$

где k_n – коэффициент пропорциональности, зависящий от условий сварки. Его значение определяется по таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Значения коэффициента k_n

Способ сварки	Диаметр электродной проволоки, мм	Переменный ток	Постоянный ток	
			Прямая полярность	Обратная полярность
В среде углекислого 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 уточняется диаметр проволоки по формуле

$$d_э = 1,13 \sqrt{\frac{I_{св}}{j}} = 1,13 \sqrt{\frac{310}{170}} = 1,52 \text{ мм}, \quad (2.11)$$

где j – допустимая плотность тока, А/мм² (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Значение плотностей тока при автоматической и механизированной сварке

Диаметр электрода, мм	< 2	2	3	4	5
$j, \text{A}/\text{мм}^2$	90...200	60...120	45...90	35...60	30...50

Напряжение на дуге для сварки в CO_2

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_3^{0,5}} I_{св} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,6^{0,5}} \cdot 310 = 32 \text{ В.} \quad (2.12)$$

Скорость сварки $V_{св}$, м/ч, вычисляется по формуле (2.9).

Определение площади поперечного сечения наплавленного металла рассмотрено в подразделе 2.1 (см. рисунок 2.2, а):

$$F_n = \frac{4^2}{2} 1,2 \cdot \sin 90 = 9,6 \text{ мм}^2 = 0,096 \text{ см}^2.$$

Тогда скорость сварки

$$V_{св} = \frac{\alpha_n I_{св}}{\gamma F_n \cdot 100} = \frac{12 \cdot 130}{7,8 \cdot 0,096 \cdot 100} = 49 \text{ м/ч.} \quad (2.13)$$

Коэффициент наплавки для сварки в CO_2 $\alpha_n = 12 \dots 14 \text{ г}/(\text{А} \cdot \text{ч})$.

Скорость подачи $V_{н.н}$ сварочной проволоки вычисляется по формуле

$$V_{н.н} = \frac{\alpha_n I_{св}}{\gamma F_3 \cdot 100} = \frac{12 \cdot 130}{7,8 \cdot 0,02 \cdot 100} = 238 \text{ м/ч,} \quad (2.14)$$

где F_3 – площадь сечения электрода.

2.3 Расчет параметров режима сварки под флюсом

Рассчитываем параметры режима автоматической сварки под флюсом двустороннего стыкового шва на флюсовой подушке типа С4 по ГОСТ 8713–79 (рисунок 2.4).

Первоначально задается диаметр сварочной проволоки d_3 . Его значение принимается по рекомендациям, представленным в таблице 2.1: $d_3 = 4 \text{ мм}$.

Площадь наплавленного металла F_n определяется по формуле (2.5) следующим образом:

$$F_n = F_3 + F_8 + F_p = bH_{np} + \frac{3}{4} eg + \frac{3}{4} e_1 g_1 = 27 + \frac{3}{4} \cdot 26 \cdot 2 + \frac{3}{4} \cdot 8 \cdot 2 = 65 \text{ мм}^2.$$

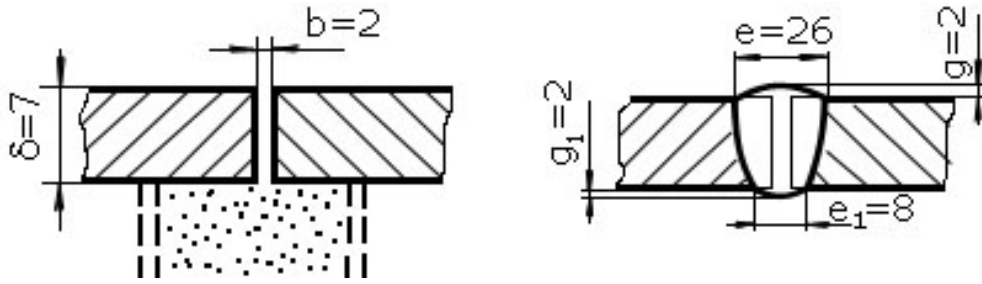


Рисунок 2.4 – Эскиз сварного соединения

Для сварки под флюсом сила сварочного тока рассчитывается по формуле (2.10). Тогда величина сварочного тока

$$I_{св} = \frac{H_{np}}{k_n} \cdot 100 = \frac{7}{1,1} \cdot 100 = 640 \text{ А.}$$

Коэффициент пропорциональности k_n , зависящий от условий сварки, представлен в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Значения коэффициента k_n

Способ сварки	Диаметр электродной проволоки, мм	Переменный ток	Постоянный ток	
			Прямая полярность	Обратная полярность
Под флюсом	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	–	–

Для сварки под флюсом на токах до 1000 А напряжение на дуге, согласно ГОСТ 7012–77,

$$U_{\partial} = 19 + 0,037I_{св} = 19 + 0,037 \cdot 640 = 43 \text{ В.} \quad (2.15)$$

Скорость сварки $V_{св}$ вычисляем по формуле (2.9) следующим образом:

$$V_{св} = \frac{\alpha_n I_{св}}{\gamma F_n \cdot 100} = \frac{14 \cdot 640}{7,8 \cdot 0,65 \cdot 100} = 17,7 \text{ м/ч.}$$

Коэффициент наплавки для сварки под флюсом $\alpha_n = 13 \dots 16 \text{ г/(А} \cdot \text{ч)}$.

3 Практическое занятие № 3. Расчет норм времени и расхода сварочных материалов

Под технически обоснованной нормой времени понимается установленное для определенных организационно-технических условий время на выполнение заданной работы исходя из рационального использования средств производства с учетом передового производственного опыта. Составными частями технически обоснованной нормы времени являются подготовительно-заключительное время t_{nz} , основное время t_o , вспомогательное время t_v , время на обслуживание рабочего места $t_{обс}$, время на отдых и личные надобности (время регламентированных перерывов в работе) t_n .

Общее время на выполнение сварочной операции $t_{св}$ определяется по формуле

$$t_{св} = t_o + t_{nz} + t_v + t_{обс} + t_n. \quad (3.1)$$

Основное время – это время на непосредственное выполнение сварочной операции, определяется по формуле

$$t_o = \frac{M_{нм}}{\alpha_n I_{св}}, \quad (3.2)$$

где $M_{нм}$ – масса наплавленного металла, г,

$$M_{нм} = F_n L_{ш} \gamma.$$

Если шов непрерывный односторонний, то длина шва $L_{ш}$ равна длине изделия L_u ; если шов непрерывный двусторонний, то $L_{ш} = 2L_u$.

Если шов прерывистый, то

$$L_{ш} = \frac{L_u}{L_{шаг}} L_y, \quad (3.3)$$

где L_y – длина непрерывного участка шва;

$L_{шаг}$ – расстояние от начала одного участка шва до начала другого.

L_y и $L_{шаг}$ указываются в задании в обозначении сварного соединения, например, 100/200.

При шахматном расположении прерывистых швов (например, 100 Z 200) полученное по формуле значение $L_{ш}$ умножается на 2.

Расчитанное по формуле (3.2) основное время сварки может быть проверено по формуле

$$t'_o = \frac{L_{ш}}{V_{св}}. \quad (3.4)$$

Рассчитанные по формуле (3.3) t_o и t'_o могут отличаться в пределах погрешности вычислений.

Исходным объектом нормирования при определении основного времени на сварку является участок прямолинейного шва, выполненного в нижнем положении. Поэтому t_o должно уточняться исходя из вида, положения и протяженности швов изготавливаемого сварного изделия. Для уточнения основного времени на сварку вводят поправочный коэффициент K_{np} , зависящий от положения шва в пространстве. Для вертикальных швов $K_{np} = 1,25$, для потолочных $K_{np} = 1,3$, для неповоротных стыков труб $K_{np} = 1,35$ и т. д.

Подготовительно-заключительное время $t_{нз}$ включает в себя такие операции, как получение производственного задания, инструктаж, получение и сдача инструмента, осмотр и подготовка оборудования к работе и т. д. В серийном производстве $t_{нз} = 2\% \dots 4\%$ от t_o , в единичном производстве $t_{нз} = 10\% \dots 20\%$ от t_o .

Вспомогательное время t_6 состоит из следующих составляющих:

$$t_6 = t_э + t_{кр} + t_{бр} + t_{кл} + t_{изд}, \quad (3.5)$$

где $t_э$ – время на смену электрода (при РДС) или время на заправку кассеты с электродной проволокой (при автоматической и механизированной сварке $t_э = 5$ мин);

$t_{кр}$, $t_{бр}$ – время на осмотр и очистку свариваемых кромок, очистку швов от шлака и брызг;

$t_{кл}$ – время на клеймение швов (время на установку клейма $t_{кл} = 0,03$ мин на один знак);

$t_{изд}$ – время на установку и поворот изделия, его закрепление (при массе изделия до 25 кг эти операции выполняются вручную, в расчете принимается $t_{изд} = 3$ мин).

Время на смену электрода при ручной дуговой сварке рассчитывается по формуле

$$t_э = t'_э \frac{F_n L_{ш}}{V_э}, \quad (3.6)$$

где $t'_э$ – время на смену одного электрода, $t'_э = 5 \dots 10$ с;

$V_э$ – объем одного электрода, $V_э = \frac{\pi d_э^2}{4} L_э$ ($L_э = 350$ мм).

Время зачистки кромок или шва $t_{кр}$ ($t_{бр}$), мин, вычисляется по формуле

$$t_{кр}(t_{\bar{op}}) = L_{ш}(0,6 + 1,2(n - 1)), \quad (3.7)$$

где n – количество слоев при сварке за несколько проходов;

$L_{ш}$ – длина шва, м.

Время на обслуживание рабочего места включает в себя время на установку режима сварки, наладку полуавтомата или автомата, уборку флюса, инструмента и т. д. Для ручной сварки $t_{обс} = 0,05t_o$, для механизированной и автоматической сварки $t_{обс} = (0,06...0,08)t_o$.

Время перерывов на отдых и личные надобности зависит от положения, в котором сварщик выполняет работы. При сварке в удобном положении $t_n = 0,07t_o$, в неудобном положении $t_n = 0,1t_o$, в напряженном положении при работе в закрытых сосудах $t_n = 0,16t_o$, при работе на высоте с использованием приставных лестниц $t_n = 0,2t_o$.

При разработке технологии сварки после определения норм времени определяют расход сварочных материалов, к которым относится расход сварочной проволоки (электродов), защитного газа или флюса. Расчет расхода сварочной проволоки для автоматической и полуавтоматической сварки осуществляется по формуле

$$G_{np} = M_{нм}(1 + \psi), \quad (3.8)$$

где ψ – коэффициент потерь, для сварки под флюсом коэффициент потерь $\psi = 0,03$ (3 %); для РДС с учетом потерь на огарки электродов $\psi = 0,2$ (20 %); для сварки в CO_2 $\psi = 0,12...0,15$ (12 %...15 %).

Для РДС по формуле (3.8) определяется вес стержней. Для определения полного веса электродов необходимо учитывать вес покрытия:

$$G_э = G_{np}K_{\bar{en}}, \quad (3.9)$$

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

Расход углекислого газа определяется по формуле

$$G_{CO_2} = q_{CO_2}t_o, \quad (3.10)$$

где q_{CO_2} – удельный расход CO_2 , л/мин.

Удельный расход CO_2 зависит от диаметра проволоки и силы сварочного тока и определяется по таблице 3.1.

После вычисления объема CO_2 в литрах обычно переводят это значение в массу, учитывая, что при испарении 1 кг углекислоты образуется 509 л газа.

Таблица 3.1 – Удельный расход CO₂

Диаметр, мм	0,8	1,0	1,2	1,6	2	2
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

Необходимо также указать требуемое количество баллонов CO₂, зная, что в одном баллоне содержится 25 кг углекислоты.

Расход флюса определяется по формуле

$$G_{фл} = (1,2...1,4)G_{пр}. \quad (3.11)$$

Задание

Для предложенной Вам сварной конструкции рассчитайте общее время на выполнение сварных швов, а также расход сварочных материалов.

4 Практическое занятие № 4. Выбор сварочного оборудования

Сварочное оборудование выбирается в зависимости от заданного способа сварки по расчетным режимам сварки, 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:

- 1) 150...200 А;
- 2) 300...500 А;
- 3) 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 сварки в качестве источника питания должен быть выбран выпрямитель. Трансформаторы использовать нельзя, т. к. сварка высоколегированных сталей производится на постоянном токе. Марка выпрямителя должна соответствовать рассчитанной силе сварочного тока. Обычно номинальный ток выпрямителя несколько превышает расчетное значение. Для механизированной сварки в CO₂ выбирается полуавтомат, который поставляется в комплекте с источником питания. Кроме силы сварочного тока, полуавтомат должен обеспечивать сварку проволокой выбранного диаметра, а также скорость подачи проволоки, полученную при расчете режима. При автоматической сварке при

выборе оборудования используются те же критерии – $I_{св}$, $d_{э}$, $V_{н.п}$. Так как сварка производится на постоянном токе, должен быть выбран автомат, который комплектуется выпрямителем.

Задание

Осуществите выбор сварочного оборудования для реализации процесса сварки предложенной конструкции.

5 Практическое занятие № 5. Выбор сварочных материалов

Сварочные материалы выбирают в зависимости от структурного класса свариваемого материала, который определяется по химическому составу основного металла. Затем в зависимости от заданного способа сварки, используя специальную литературу [1–9], 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 ГОСТы, по которым они поставляются. Для ручной сварки приводится обозначение электрода и дается его расшифровка.

После выбора сварочных материалов требуется определить структурный класс металла сварного шва с целью обеспечения требуемых механических свойств сварного соединения.

Задание

Согласно [1–9] выберите сварочные материалы для реализации технологии сварки изделия.

6 Практическое занятие № 6. Определение структуры основного металла и сварного шва по химическому составу

Химический состав стали определяется по [1–5]. Если не удастся найти в справочнике свою сталь, допускается определять ее химический состав по марке. Для обозначения легирующих элементов используются следующие буквы: Б – ниобий; В – вольфрам; Г – марганец; Д – медь; М – молибден; Н – никель; С – кремний; Т – титан; Ф – ванадий; Х – хром; Ц – цирконий; Ю – алюминий. Определение структуры стали осуществляется по диаграмме Шеффлера (рисунок 6.1). Для основного металла первоначально рассчитываются эквивалентные значения хрома и никеля по формулам

$$\text{Экв Cr} = \% \text{Cr} + \% \text{Mo} + 2 \% \text{Ti} + 2 \% \text{Al} + \% \text{Nb} + 1,5 \% \text{Si} + \% \text{V};$$

$$\text{Экв Ni} = \% \text{Ni} + 30 \% \text{C} + 30 \% \text{N} + 0,5 \% \text{Mn}.$$

По значениям Экв Cr и Экв Ni на диаграмме Шеффлера наносится точка, соответствующая структуре стали. Если она попадает в зону А – сталь аустенитная, Ф – ферритная, М – мартенситная, А + Ф – аустенитно-ферритная.

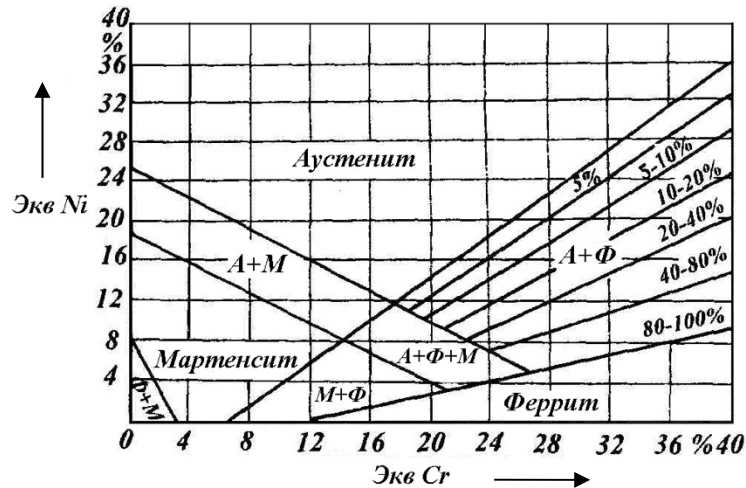


Рисунок 6.1 – Диаграмма Шеффлера

Сварной шов состоит из основного и наплавленного металлов, которые в процессе сварки перемешиваются, образуя общую сварочную ванну (рисунок 6.2). При этом в сварочную ванну попадают химические элементы из основного металла в количестве, пропорциональном доли основного металла в металле шва θ_o , и из проволоки в количестве, пропорциональном доли наплавленного металла в металле шва θ_n :

$$\theta_o = \frac{F_o}{F_{ш}}; \quad \theta_n = \frac{F_n}{F_{ш}}; \quad \theta_n + \theta_o = 1; \quad F_n + F_o = F_{ш}, \quad (6.1)$$

где F_o – площадь основного металла в металле шва;

F_n – площадь наплавленного металла в металле шва;

$F_{ш}$ – площадь шва.

Площадь шва определяется по формуле

$$F_{ш} = \frac{2}{3}eH + \frac{3}{4}eg, \quad (6.2)$$

где H – высота шва.

Высота стыкового шва равна глубине проплавления: $H = H_{np}$.

Высота углового шва $H = H_{np} + a$, где глубина проплавления $H_{np} = 0,6\delta$; $a = 0,7K$; ширина углового шва $e = 1,4K$.

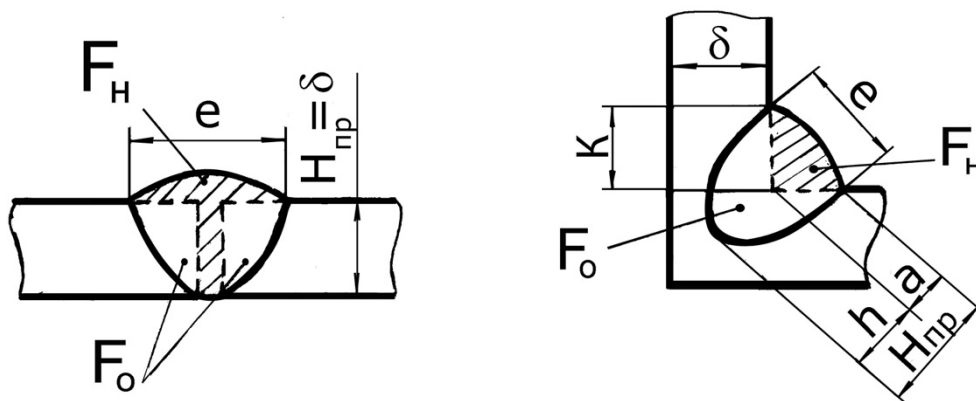


Рисунок 6.2 – Определение площади шва

После вычисления θ_o и θ_n необходимо рассчитать химический состав шва. Содержание каждого элемента вычисляется по формуле

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_o \theta_o + \mathcal{E}_n \theta_n, \quad (6.3)$$

где \mathcal{E}_o – содержание элемента в основном металле;

\mathcal{E}_n – содержание элемента в электроде.

После расчета химсостава по диаграмме Шеффлера определяется его структура. При этом необходимо использовать формулы, несколько отличающиеся от формул, используемых для основного металла:

$$\text{Экв Ni} = \% \text{ Ni} + 30 \% \text{ C} + 30 \% \text{ N} + 10 \% \text{ B} + 0,5 \% \text{ Mn}; \quad (6.4)$$

$$\begin{aligned} \text{Экв Cr} = \% \text{ Cr} + 2 \% \text{ Al} + \% \text{ V} + 5 \% \text{ Ti} + 1,5 \% \text{ Si} + \\ + 2 \% \text{ Nb} + 2 \% \text{ Mo} + 1,5 \% \text{ W}. \end{aligned} \quad (6.5)$$

Определив Экв Ni и Экв Cr, наносят на диаграмму Шеффлера точку, соответствующую структуре шва. Структура шва обычно отличается от структуры основного металла. Так, для аустенитных сталей структура шва должна быть аустенитно-ферритной. Для ферритной стали структура шва ферритно-аустенитная. Двухфазная структура обеспечивает лучшие эксплуатационные характеристики шва.

Задание

Определите структурный класс предложенной высоколегированной стали.

7 Практическое занятие № 7. Изучение правил заполнения операционной карты

Требования к заполнению и оформлению технологических документов на процессы и операции по сварке устанавливаются ГОСТ 3.1407–86. При описании операций сварки следует применять типовые блоки режимов, указанные в таблице 7.1. Форма операционной карты представлена на рисунке А.1. Пояснения к обозначениям граф блоков режимов сварки представлены в таблице 7.2.

Таблица 7.1 – Графы блоков режимов сварки

Обозначение	<i>ПС</i>	<i>НП</i>	<i>ДС</i>	<i>l_c</i>	<i>l_э</i>	<i>Пл</i>	<i>U</i>	<i>I</i>	<i>V_c</i>	<i>V_n</i>	<i>q_{оз}</i>	<i>q_{дз}</i>	<i>q_к</i>
Номер графы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Таблица 7.2 – Содержание граф блоков режимов сварки

Номер графы	Условное обозначение графы при заполнении		Содержание графы
	ручном	автоматизированном	
1	<i>ПС</i>	<i>ПС</i>	Обозначение положения сварки по ГОСТ 11969–79
2	<i>НП</i>	<i>НП</i>	Номер прохода для многослойных сварных швов
3	<i>ДС</i>	<i>ДС</i>	Диаметр сопла для сварки в защитных газах со струйной защитой
4	<i>l_c</i>	<i>LC</i>	Расстояние от торца сопла до поверхности свариваемых деталей для дуговой сварки в защитных газах со струйной защитой
5	<i>l_э</i>	<i>LЭ</i>	Вылет электрода
6	<i>Пл</i>	<i>ПЛ</i>	Обозначение полярности (П – прямая, О – обратная)
7	<i>U</i>	<i>U</i>	Напряжение дуги
8	<i>I</i>	<i>I</i>	Сила сварочного тока
9	<i>V_c</i>	<i>VC</i>	Скорость сварки
10	<i>V_n</i>	<i>VП</i>	Скорость подачи присадочного металла
11	<i>q_{оз}</i>	<i>QOЗ</i>	Расход защитного газа для основной защиты в единицу времени
12	<i>q_{дз}</i>	<i>QДЗ</i>	Расход защитного газа для дополнительной защиты в единицу времени
13	<i>q_к</i>	<i>QК</i>	Расход защитного газа для защиты корня шва в единицу времени

Задание

Разработайте операционную карту для реализации технологического процесса сборки и сварки изделия.

8 Практическое занятие № 8. Выполнение сборочного чертежа сварной конструкции

Сборочный чертеж – документ, содержащий изображение сборочной единицы и другие данные, необходимые для ее сборки (изготовления) и контроля.

Сборочный чертеж выполняется на стадии разработки рабочей документации на основании чертежа общего вида и должен давать представление о расположении и взаимной связи соединяемых составных частей изделия и обеспечивать возможность осуществления сборки и контроля сборочной единицы. Сборочный чертеж, согласно ГОСТ 2.102–68 *Виды и комплектность конструкторских документов*, отнесен к основному комплекту конструкторской документации.

В соответствии с ГОСТ 2.109–73 *Правила выполнения чертежей деталей, сборочных, общих видов, габаритных и монтажных* сборочный чертеж должен содержать:

- изображение сборочной единицы, дающее представление о расположении и взаимной связи его составных частей, соединяемых по данному сборочному чертежу и обеспечивающих возможность осуществления сборки и контроля сборочной единицы;

- габаритные, установочные, присоединительные и необходимые справочные размеры:

- а) габаритные размеры определяют предельные внешние очертания изделия высоту, длину и ширину изделия или его наибольший диаметр;

- б) установочные размеры характеризуют размеры элементов, служащих для установки изделия на месте монтажа;

- в) присоединительные размеры определяют размеры элементов, служащих для соединения с сопрягаемыми изделиями;

- г) справочные размеры – обозначения резьбы, параметры зубчатых колес и т. д.;

- предельные отклонения, другие параметры и требования, которые должны быть выполнены или проконтролированы по данному сборочному чертежу;

- указания о характере сопряжения и методах его осуществления, если точность сопряжения обеспечивается не заданными отклонениями размеров, а подбором, пригонкой и т. д., а также указания о способе соединения неразъемных соединений (сварных, паяных и др.);

- номера позиций составных частей, входящих в изделие;

- основные характеристики изделия (массу, мощность, число оборотов и пр.).

В соответствии с ГОСТ 2.108–73 *Спецификация* сборочный чертеж сопровождается спецификацией, которая является основным конструкторским документом сборочной единицы и выполняется на отдельных листах формата А4.

Список литературы

1 Технология сварки плавлением и термической резки: методические рекомендации к лабораторным работам для студентов специальности 1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства» дневной и заочной форм обучения: в 2 ч. / Сост. А. О. Коротеев. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2018. – Ч. 1. – 44 с.

2 Технология сварки плавлением и термической резки: методические рекомендации к лабораторным работам для студентов специальности 1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства» дневной и заочной форм обучения: в 2 ч. / Сост. А. О. Коротеев. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2018. – Ч. 2. – 43 с.

3 **Патон, Б. Е.** Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Б. Е. Патон. – Москва: Машиностроение, 1974. – 664 с.

4 **Куликов, В. П.** Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки: учебное пособие / В. П. Куликов. – Минск: Экоперспектива, 2003. – 415 с.

5 Технология сварки плавлением и термической резки металлов: учебное пособие / В. А. Фролов [и др.]; под ред. В. А. Фролова. – Москва: Альфа-М; ИНФРА-М, 2011. – 448 с.

6 Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки: учебник для вузов / А. И. Акулов [и др.]; под ред. А. И. Акулова. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Машиностроение, 2003. – 560 с.

7 **Кононенко, В. Я.** Сварка в среде защитных газов плавящимся и неплавящимся электродом / В. Я. Кононенко. – Киев: Ника-ПРИНТ, 2007. – 266 с.

8 **Ерохин, А. А.** Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности / А. А. Ерохин. – Москва: Машиностроение, 1973. – 448 с.

9 **Волченко, В. Н.** Сварка и свариваемые материалы / В. Н. Волченко. – Москва: Металлургия, 1991. – 528 с.