

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра «Оборудование и технология
сварочного производства»

**ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ
И ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ**

Методические рекомендации к курсовому проектированию
для студентов специальности 1–36 01 06 «Оборудование и технология
сварочного производства»



Могилев 2015

УДК 621.791
ББК 30.61
Т 38

Рекомендовано к изданию
Учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Оборудование и технология сварочного производства» «14» апреля 2015 г., протокол № 9

Составители: д-р техн. наук, проф. В. П. Куликов;
ассистент М. Ж. Солодков;
ассистент А. О. Коротеев

Рецензент: канд. техн. наук, доц. С. В. Болотов

Методические рекомендации к курсовому проектированию для студентов специальности 1–36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства».

Учебно-методическое издание

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ И ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ

Ответственный за выпуск	В. П. Куликов
Технический редактор	С. Н. Красовская
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать. Формат 60х84 /16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 56 экз. Заказ № ____.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 24.01.2014.
Пр. Мира, 43, 212000, Могилев.

© ГУВПО «Белорусско-Российский
университет», 2015

Содержание

1 Цели и задачи курсовой работы	4
2 Тематика курсовых работ.....	4
3 Содержание расчетно-пояснительной записки.....	4
4 Методика выполнения курсовой работы.....	5
4.1 Разработка конструкции сварной сборочной единицы и выбор типа сварных швов	5
4.2 Определение химического состава и структуры стали в исходном состоянии	6
4.3 Технологические особенности сварки стали заданного структурного класса	7
4.4 Расчет параметров режима сварки	7
4.5 Расчет норм времени на выполнение сварочных операций	13
4.6 Выбор сварочных материалов	14
4.7 Расчет химического состава шва и определение его структуры.....	15
4.8 Расчет расхода сварочных материалов	16
4.9 Выбор сварочного оборудования	17
4.10 Оформление операционной карты	17
Список литературы	17
Приложение А	

1 Цели и задачи курсовой работы

Основной целью курсовой работы является приобретение студентами навыков по практическому применению теоретических знаний, полученных при изучении курса «Технология сварки плавлением».

При выполнении курсовой работы студенты должны осуществить выбор экономически целесообразного способа сварки, типа соединения, сварочных материалов, рассчитать технологические параметры режима и нормы времени, подобрать сварочное оборудование и оснастку, при необходимости дать рекомендации по термической обработке изделий, разработать операционную карту и инструкцию на технологический процесс.

2 Тематика курсовых работ

Темой курсовой работы является разработка технологии сварки конструкции, выполненной из высоколегированной стали, указанной в индивидуальном задании.

Индивидуальное задание студенту выдается преподавателем в виде чертежа литого изделия с указанием марки основного металла, способа сварки. Также в задании могут быть приведены внешние нагрузки, прикладываемые к изделию.

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

3 Содержание расчетно-пояснительной записки

Расчетно-пояснительная записка должна включать в себя следующие разделы.

Задание на курсовую работу.

Введение.

1 Разработка конструкции сварной сборочной единицы и выбор типа сварных швов.

2 Определение химического состава и структуры стали в исходном состоянии.

3 Технологические особенности сварки стали заданного структурного класса.

4 Расчет параметров режима сварки.

5 Расчет норм времени на выполнение сварочных операций.

6 Выбор сварочных материалов.

7 Расчет химического состава шва и определение его структуры.

8 Расчет расхода сварочных материалов.

9 Выбор сварочного оборудования.

10 Оформление операционной карты.

Заключение.

Список литературы.

Приложение А. Чертеж сборочной единицы с обозначением сварных швов, спецификация к сборочному чертежу.

Приложение Б. Операционная карта.

4 Методика выполнения курсовой работы

4.1 Разработка конструкции сварной сборочной единицы и выбор типа сварных швов

После получения индивидуального задания в виде чертежа литой детали студент должен разработать конструкцию сварной сборочной единицы. При этом литое изделие разбивается на несколько отдельных деталей, соединяемых между собой с помощью сварки. При разбиении необходимо соблюдать рекомендации по обеспечению технологичности подготовки деталей под сборку и сварку, а также оптимизации конструкции сварного соединения.

После разбиения исходного изделия на составляющие детали сварной конструкции для их соединения между собой необходимо выбрать типы сварных швов по соответствующим стандартам. Для этого используются следующие нормативные документы: ГОСТ 5264-80, ГОСТ 14771-76, ГОСТ 8713-79, ГОСТ 16037-80, ГОСТ 23518-79, ГОСТ 11534-75, ГОСТ 11533-75, СТБ ИСО 9692-1.

При этом необходимо отталкиваться от толщины свариваемых деталей и месторасположения швов, а также возможности их выполнения с учетом способа сварки.

Студентом составляется сводная таблица, содержащая эскизы сварных швов с указанием их конструктивных элементов и размеров, а также геометрических параметров подготовки кромок сварного соединения под сварку. Например, для приведенного в приложении А примера изделия типы сварных швов представлены в таблице 4.1.

Для выбора катета углового сварного шва, в случае если он воспринимает действующую нагрузку, можно использовать формулу

$$k = \frac{N}{\beta \cdot [\tau'] \cdot L_{\text{ш}}}, \quad (4.1)$$

где N – усилие, действующее на деталь, кН;

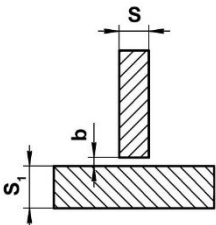
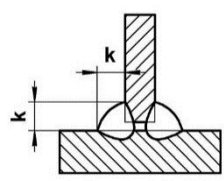
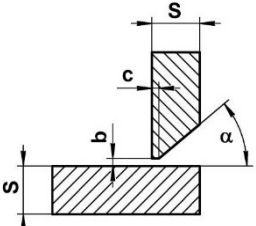
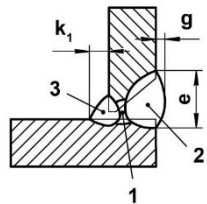
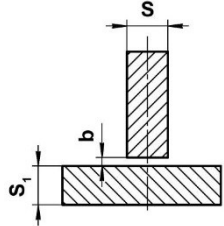
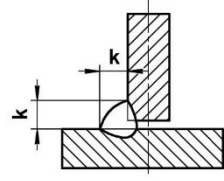
$[\tau']$ – допускаемое напряжение в угловом шве, МПа;

β – коэффициент формы шва;

$L_{\text{ш}}$ – длина сварного шва, м.

В пояснительной записке необходимо привести сборочный чертеж изделия с указанием всех сварных швов, а также спецификацию к нему.

Таблица 4.1 – Типы сварных швов

Номер шва, тип соединения, соединяемые элементы	Конструктивные элементы			
	Подготовленных кромок свариваемых деталей		Шва сварного соединения	
№1 ГОСТ 14771-76 Т3 Ребро и основание		$S_1 = 10\text{ мм}$ $S = 6\text{ мм}$ $b = 0^{+1,5}\text{ мм}$		$k = 4\text{ мм}$
№2 ГОСТ 5264-80 У7 Ребро и вертикальная стенка		$S_1 = 10\text{ мм}$ $S = 8\text{ мм}$ $b = 2^{+1}_{-2}\text{ мм}$ $c = 1 \pm 1\text{ мм}$ $\alpha = 45^\circ - \dots$		$k_1 = 3\text{ мм}$ $e = 12 \pm 2\text{ мм}$ $g = 0,5^{+1,5}_{-0,5}\text{ мм}$
№3 ГОСТ 14771-76 Т1 Вертикальная стенка и патрубок		$S_1 = 8\text{ мм}$ $S = 8\text{ мм}$ $b = 0^{+1,5}\text{ мм}$		$k = 4\text{ мм}$

4.2 Определение химического состава и структуры стали в исходном состоянии

Первым этапом выполнения курсовой работы является изучение технологии сварки заданной стали. Для этого первоначально следует определить её структурный класс. Он зависит от химического состава и влияет на технологические особенности сварки, такие как необходимость выполнения термообработки, предварительного подогрева, ограничение погонной энергии, выбор защитной газовой среды и типа покрытия электродов.

Химический состав стали определяется по марочникам и справочникам.

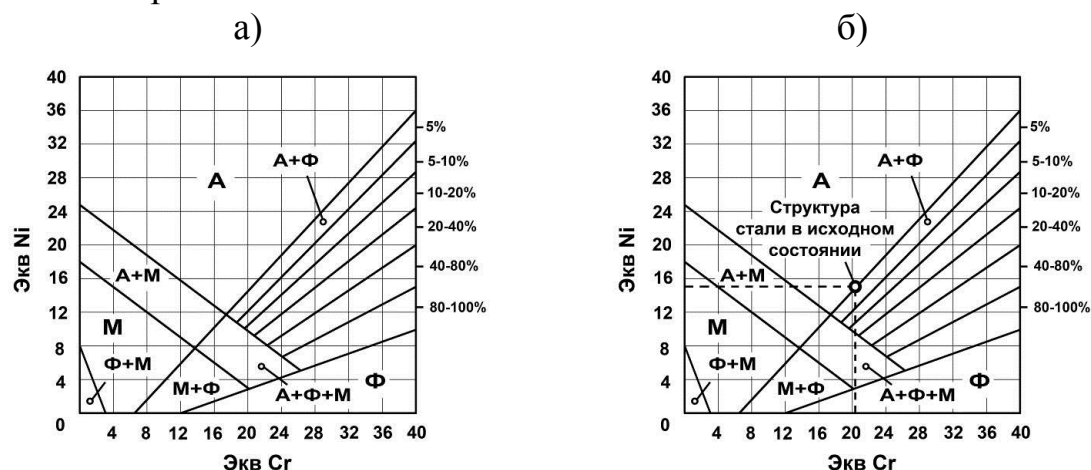
Определение структуры стали осуществляется по диаграмме Шеффлера (рисунок 4.1, а). Для основного металла первоначально рассчитываются эквивалентные значения хрома и никеля по формулам

$$\text{ЭквCr} = \% \text{Cr} + \% \text{Mo} + 2 \cdot \% \text{Ti} + 2 \cdot \% \text{Al} + \% \text{Nb} + 1,5 \cdot \% \text{Si} + \% \text{V}; \quad (4.2)$$

$$\text{ЭквNi} = \% \text{Ni} + 30 \cdot \% \text{C} + 30 \cdot \% \text{N} + 0,5 \cdot \% \text{Mn}. \quad (4.3)$$

Сущность эквивалентных значений хрома и никеля заключается в том, что все легирующие элементы и вредные примеси, находящиеся в

составе рассматриваемой стали, по своему влиянию на конечную структуру являются аналогами хрома, то есть элементами–ферритизаторами, либо аналогами никеля, то есть элементами–аустенизаторами.



а – диаграмма Шеффлера; б – определение структуры на примере стали 12X18H10T

Рисунок 4.1 – Определение структуры стали

По значениям ЭквCr и ЭквNi на диаграмме Шеффлера наносится точка, соответствующая структуре стали. Если она попадает в зоны: А – сталь аустенитного класса; Ф – сталь ферритного класса; М – сталь мартенситного класса; А+Ф – сталь аустенитно-ферритного класса и т. д.

Если по диаграмме Шеффлера сталь попала в область А+Ф с содержанием феррита до 10 %, технологию ее сварки следует описывать как технологию сварки аустенитных сталей.

4.3 Технологические особенности сварки стали заданного структурного класса

При описании технологии необходимо первоначально остановиться на трудностях, которые встречаются при сварке данной группы сталей, затем раскрыть основные направления их преодоления. Далее следует изложить особенности сварки стали указанным способом.

Обязательно нужно указать используемую литературу, в качестве которой могут выступать справочники, учебники или стандарты (например, стандарты Республики Беларусь СТБ EN 1011-1...4).

4.4 Расчет параметров режима сварки

Расчет параметров режима сварки ведется в зависимости от заданного способа сварки. Основными параметрами режима являются: сила сварочного тока $I_{св}$, напряжение на дуге $U_{д}$, скорость подачи сварочной проволоки $V_{п.пр}$, диаметр электрода (проволоки) $d_э(d_{пр})$, скорость сварки $V_{св}$. Также имеется ряд дополнительных, но не менее

важных параметров, таких как расход защитного газа при сварке, вылет электродной проволоки и др.

Первоначально следует задаться диаметром электрода d_e или диаметром проволоки $d_{пр}$. Его значение зависит от способа сварки, требуемой глубины проплавления металла $H_{пр}$ и условий сварки.

Глубина проплавления, в свою очередь, определяется толщиной металла и типом сварного шва. Если выполняется стыковой сварной шов без разделки кромок, то для обеспечения качественного сварного соединения в случае односторонней сварки необходимо обеспечить проплавление на всю толщину свариваемой детали (т. е. $H_{пр}=\delta$). Для двустороннего стыкового шва без разделки кромок с учетом частичного перекрытия валиков $H_{пр}=0,6\delta$.

При сварки стыковых швов с разделкой кромок, выполняемых, как правило, за несколько проходов, сварной шов состоит в большей степени из наплавленного металла. В этом случае, основной задачей является обеспечение проплавления кромки на некоторую глубину. Как правило, для качественного формирования сварного соединения и отсутствия дефектов в виде несплавов достаточно обеспечить глубину проплавления 3–4 мм.

Для угловых сварных швов, если нет требования полного проплавления детали, глубину проплавления принимают равной 3–4 мм.

Примерные значения диаметров электродов и сварочных проволок в зависимости от требуемой глубины проплавления приведены в таблице 4.2.

После выбора диаметра электрода или сварочной проволоки необходимо определить площадь поперечного сечения наплавленного металла шва для каждого из сварных соединений рассматриваемой конструкции. Площадь поперечного сечения наплавленного металла F_n зависит от типа сварного соединения.

Таблица 4.2 – Выбор диаметров электродов и сварочных проволок

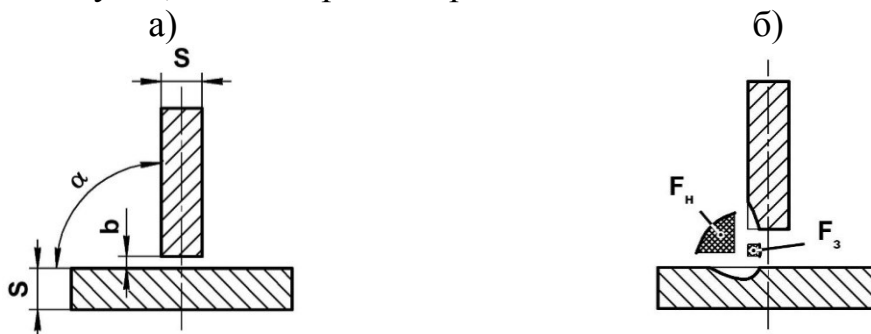
Способ сварки	Глубина проплавления $H_{пр}$, мм			
	2	3-5	5-10	10-20
Диаметр электрода (проволоки) d_e ($d_{пр}$), мм				
Ручная сварка покрытыми электродами	2,5	3,0; 4,0	4,0; 5,0	5,0; 6,0
Механизированная в CO_2	0,8; 1,0	1,2	1,2; 1,6	1,6
Автоматическая в CO_2	1,0	1,2; 1,6; 2,0	1,6; 2,0	3,0; 4,0
Автоматическая под слоем флюса	—	2,0; 3,0	3,0; 4,0	4,0; 5,0

Для угловых швов (рисунок 4.2) она определяется как площадь треугольника, умноженная на коэффициент a , учитывающий форму шва (для выпуклых швов $a=1,2$; для вогнутых $a=0,9$). В случае наличия зазора между соединяемыми деталями к площади наплавленного металла

можно прибавить площадь наплавленного металла в зазоре F_3 , однако для практических расчетов оно не оказывает какого-либо существенного влияния в связи с маленьким значением. Поэтому, площадь поперечного сечения наплавленного металла для углового шва можно определить по формуле

$$F_H = \frac{k^2}{2} \cdot a \cdot \sin \alpha, \quad (4.4)$$

где α - угол, под которым свариваются детали.



а – подготовка соединения под сварку; б – составляющие площади поперечного сечения наплавленного металла шва

Рисунок 4.2 – Определение площади поперечного сечения наплавленного металла

Площадь поперечного сечения наплавленного металла стыкового шва определяется площадями геометрических фигур, которые заполняются присадочным металлом при сварке. Для шва, выполненного с разделкой кромок, площадь наплавленного металла состоит из площади зазора между деталями F_3 , площади валика шва F_B и площади разделки F_p (рисунок 4.3)

$$F_H = F_3 + F_B + F_p. \quad (4.5)$$

Площадь поперечного сечения валика шва можно найти по формуле

$$F_B = \frac{3}{4} \cdot e \cdot g, \quad (4.6)$$

где e – ширина выпуклости валика шва, мм;

g – высота выпуклости валика шва, мм.

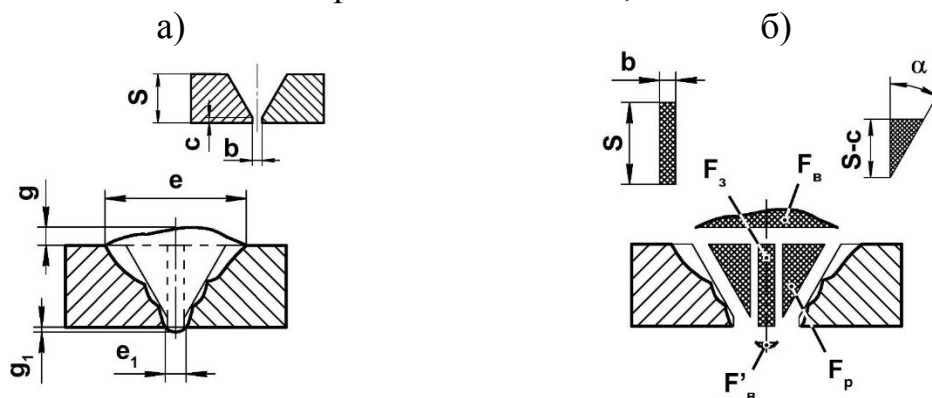
В некоторых случаях, если это предусмотрено стандартом, нормируется обратная сторона валика шва. Тогда необходимо рассчитывать площадь поперечного сечения валика шва F'_B и для неё по аналогичной формуле 4.6.

Площадь зазора представляет собой прямоугольник, заполняемый присадочным металлом. В случае полного проплавления одна из его сторон равна толщине свариваемой детали, а другая – зазору. Её можно определить по формуле

$$F_3 = b \cdot S, \quad (4.7)$$

где b – зазор между свариваемыми деталями, мм;

S – толщина свариваемых деталей, мм.



а – подготовка соединения под сварку и основные геометрические параметры шва;

б – составляющие площади поперечного сечения наплавленного металла шва

Рисунок 4.3 – Определение площади наплавленного металла стыкового сварного шва с разделкой кромок (С17)

В случае сварки с неполным проплавлением берётся только та часть рассматриваемого прямоугольника, которая заполняется присадочным металлом. То есть вместо толщины свариваемой детали в формуле 4.7 необходимо использовать значение глубины проплавления

$$F_3 = b \cdot H_{\text{пр}}, \quad (4.8)$$

где $H_{\text{пр}}$ – глубина проплавления стыкового шва, мм.

Площадь поперечного сечения разделки представляет собой суммарную площадь геометрических фигур, образуемых в процессе подготовки сварных соединений под сварку. Например, в случае V-образной односторонней или X-образной двусторонней разделки (например, С17, С18, С25 и т. д.) площадь разделки представляет собой сумму площадей прямоугольных треугольников, образуемых скосами кромок. Например, для сварного шва с подготовкой кромок типа С17 площадь поперечного сечения разделки можно определить по формуле

$$F_p = 2 \cdot (S - c)^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (4.9)$$

где c – притупление кромок, мм;

α – угол скоса кромки, мм.

Для сварных соединений с разделкой кромок, а также угловых соединений с большим значением катета сварного шва (> 8 мм), как правило, необходимо определить количество проходов при сварке.

При определении количества проходов следует иметь в виду, что поперечное сечение металла, наплавленного за один проход, не должно превышать 30–40 мм². При этом чаще всего первым проходом является сварка корневого шва. Этот проход самый ответственный и выполняется на пониженных значениях силы сварочного тока, напряжения на дуге и скорости сварки. В связи с необходимостью обеспечения качественного формирования шва, а также доступа к его выполнению в случаях наличия

разделки кромок сварка производится проволокой и электродами небольшого поперечного сечения (малых диаметров).

Площадь поперечного сечения наплавленного металла первого прохода для ручной дуговой сварки покрытыми электродами можно определить по формуле

$$F_1 = (6..8) \cdot d_э. \quad (4.10)$$

Для последующих проходов

$$F_n = (8..12) \cdot d_э. \quad (4.11)$$

Для сварки в защитных газах

$$F_n = (8..12) \cdot d_э. \quad (4.12)$$

Зная общую площадь поперечного сечения наплавленного металла и площади поперечного сечения наплавленного металла при первом и каждом последующем проходах, найдем число проходов по формуле

$$n = \frac{F_n - F_1}{F_n} + 1. \quad (4.13)$$

После расчета площади поперечного сечения наплавленного металла и количества проходов рассчитываем силу сварочного тока. Это основной параметр определяющий глубину проплавления при сварке.

При ручной дуговой сварке силу сварочного тока можно найти исходя из диаметра электрода и допустимой плотности тока в нем по формуле

$$I_{св} = \frac{\pi \cdot d_э^2}{4} \cdot j, \quad (4.14)$$

где j – допустимая плотность тока, А/мм².

Значения допустимой плотности тока в электроде при ручной дуговой сварке можно выбрать по таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Допускаемая плотность тока в электроде

Типы покрытия	Допускаемая плотность тока в электроде (А/мм ²) при $d_э$ (мм)			
	3	4	5	6
Рутиловое, кислое	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

Для дуговой сварки в среде защитных газов и сварки под слоем флюса сила сварочного тока находится в зависимости от глубины проплавления и определяется по формуле

$$I_{св} = \frac{H_{пр}}{k_n} \cdot 100, \quad (4.15)$$

где k_n – коэффициент пропорциональности, А/мм².

Значение коэффициента пропорциональности зависит от способа и условий сварки. Например, для сварки в защитном газе CO₂, при

постоянном токе и обратной полярности с диаметром проволоки 1,2 $k_{\text{п}}=2,1$, с диаметром проволоки 1,6 $k_{\text{п}}=1,75$.

После вычисления силы сварочного тока необходимо проверить условие обеспечения допустимости расчетной плотности тока в данном диаметре проволоки. Для этого можно воспользоваться формулой

$$j = \frac{I_{\text{св}}}{d_{\text{с}}^2 \cdot 1,28}. \quad (4.16)$$

Рассчитанная по этой формуле плотность тока должна находиться в диапазоне допустимых значений согласно таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Допускаемая плотность тока в проволоке

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

После расчета силы сварочного тока необходимо определить напряжение на дуге. Так как эти параметры зависимы друг от друга с целью обеспечения стабильного характера горения сварочной дуги, напряжение для ручной дуговой сварки можно определить по формуле (ГОСТ 95-77)

$$U_{\text{д}} = 20 + 0,04I_{\text{св}}. \quad (4.17)$$

Для сварки под слоем флюса для токов до 100 А напряжение на дуге определяется по формуле (ГОСТ 7012-77)

$$U_{\text{д}} = 19 + 0,037I_{\text{св}}. \quad (4.18)$$

Для дуговой сварки плавящимся электродом в среде углекислого газа

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_{\text{пр}}}} \cdot I_{\text{св}}. \quad (4.19)$$

Далее необходимо определить скорость сварки по формуле

$$V_{\text{св}} = \frac{\alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{св}}}{\gamma \cdot F_{\text{н}}}, \quad (4.20)$$

где $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент наплавки, г·А/ч;

γ – плотность наплавленного металла, г/см³.

Коэффициент наплавки для ручной сварки покрытыми электродами $\alpha_{\text{н}}=8...10$ г / А · ч; для сварки в СО₂ $\alpha_{\text{н}}=12...14$ г / А · ч; для сварки под флюсом $\alpha_{\text{н}}=13...16$ г / А · ч.

Для дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитных газов необходимо определить скорость подачи проволоки по формуле

$$V_{\text{п.пр}} = \frac{\alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{св}}}{\gamma \cdot F_{\text{пр}}}, \quad (4.21)$$

где $F_{\text{пр}}$ – площадь поперечного сечения сварочной проволоки, мм².

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

4.5 Расчет норм времени на выполнение сварочных операций

Составными частями технически обоснованной нормы времени являются подготовительно-заключительное время $t_{пз}$, 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) $t_{п}$.

Общее время на выполнение сварочной операции определим по формуле

$$t_{CB} = t_o + t_{пз} + t_v + t_{обс} + t_{п}, \quad (4.22)$$

где t_o – основное время, мин;

$t_{пз}$ – подготовительно-заключительное время, мин;

t_v – время на вспомогательные операции, мин;

$t_{обс}$ – время на обслуживание рабочего места, мин.

Основное время, необходимое для непосредственного выполнения сварочной операции, можно найти по формуле

$$t_o = \frac{M_{HM}}{\alpha_H \cdot I_{CB}}, \quad (4.23)$$

где M_{HM} – масса наплавленного металла, г.

$$M_{HM} = F_{HM} \cdot L_{ш} \cdot \gamma, \quad (4.24)$$

где $L_{ш}$ – длина шва, см.

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 $K_{пр}$, зависящий от положения шва в пространстве. Для вертикальных швов $K_{пр} = 1,25$, для потолочных $K_{пр} = 1,3$, для неповоротных стыков труб $K_{пр} = 1,35$ и т. д.

Подготовительно-заключительное время $t_{пз}$ 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 $t_{пз} = (0,02...0,04) \cdot t_o$, в единичном $t_{пз} = (0,10...0,20) \cdot t_o$.

Вспомогательное время определяется по формуле

$$t_v = t_э + t_{кр} + t_{бр} + t_{кл} + t_{изд}, \quad (4.25)$$

где t_3 – время на смену электрода, мин;
 $t_{кр}$ – время на осмотр и очистку свариваемых кромок, мин;
 $t_{бр}$ – время на очистку швов от шлака и брызг, мин;
 $t_{кл}$ – время на клеймение (установка одного знака), мин;
 $t_{изд}$ – время на установку и поворот детали, её закрепление, мин.

Время на смену электрода рассчитывается по формуле

$$t_3 = t'_3 \frac{F_n \cdot L_{ш}}{V_3}, \quad (4.26)$$

где t'_3 – время на смену одного электрода, мин;

V_3 – объем одного электрода, $V_3 = \frac{\pi \cdot d_3}{4} \cdot L_3$ (где $L_3 = 350 \text{ мм}$).

Время зачистки кромок и очистки изделия от шлака и брызг металла

$$t_{кр} = t_{бр} = L_{ш} (0,6 + 1,2(n-1)), \quad (4.27)$$

где n – количество проходов при сварке многослойных швов;

$L_{ш}$ – длина сварного шва, м.

Время на клеймение принимается равным $t_{кл} = 0,03$ мин на один знак.

Время на установку и поворот изделия при массе изделия до 25 кг принимается $t_{изд} = 3$ мин (операции выполняются вручную).

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 $t_{обс} = (0,06 \dots 0,08) \cdot t_o$.

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

4.6 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, пользуясь справочной литературой, 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.

В данном разделе необходимо представить обозначение сварочных материалов по ГОСТ и международным стандартам, а также его расшифровку.

Основными стандартами для обозначения материалов являются:

– для электродов ГОСТ 9466-75, ГОСТ 9467-75, ГОСТ 10051-75, ГОСТ 10052-75, СТБ ISO 2560-2009, СТБ ИСО 3580-2007, СТБ ЕН 1600-2002;

– для сварочной проволоки ГОСТ 2246-70, СТБ ЕН 440-2002, СТБ ISO 21952-2014, СТБ ISO 16834-2010, СТБ ISO 14343-2010;

– для защитных газов СТБ ISO 14175-2011.

4.7 Расчет химического состава шва и определение его структуры

Сварной шов состоит из основного и наплавленного металлов, которые в процессе сварки перемешиваются, образуя общую сварочную ванну, в которую попадают химические элементы из основного металла в количестве, пропорциональном доле основного металла в металле шва θ_o , и из проволоки в количестве, пропорциональном доле наплавленного металла в металле шва θ_n :

$$\theta_o = \frac{F_o}{F_{ш}}, \theta_n = \frac{F_n}{F_{ш}}, \theta_n + \theta_o = 1, F_n + F_o = F_{ш}, \quad (4.28)$$

где F_o – площадь поперечного сечения основного металла в металле шва;

F_n – площадь поперечного сечения наплавленного металла;

$F_{ш}$ – площадь поперечного сечения шва.

Площадь шва определяется по формуле:

$$F_{ш} = \frac{2}{3}e \cdot H + \frac{3}{4}e \cdot g, \quad (4.29)$$

где H – высота шва.

Высота стыкового шва равна глубине проплавления: $H = H_{пр}$. Высота углового шва $H = H_{пр} + a$, где $a = 0,7k$. Ширина углового шва $e = 1,4k$. Высоту выпуклости g в случае углового шва можно принять равной 1...2 мм.

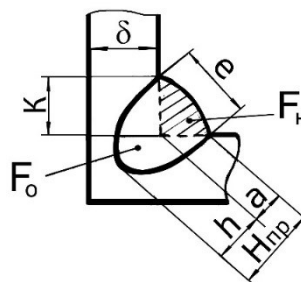
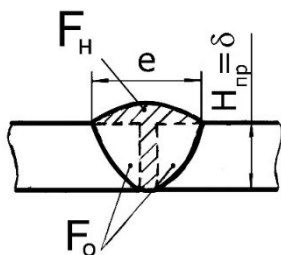


Рисунок 4.4 – Определение площади шва

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

$$\Xi = \Xi_o \cdot \theta_o + \Xi_n \cdot \theta_n, \quad (4.30)$$

где Ξ_o – содержание элемента в основном металле;

Ξ_n – содержание элемента в электроде или проволоке.

После расчета химического состава по диаграмме Шеффлера определяется его структура. При этом необходимо пользоваться формулами, несколько отличающимися от формул, используемых для основного металла

$$\begin{aligned} \text{ЭквCr} = \%Cr + 2 \cdot \%Al + \%V + 5 \cdot \%Ti + 1,5 \cdot \%Si + \\ + 2 \cdot \%Nb + 2 \cdot \%Mo + 1,5 \cdot \%W, \end{aligned} \quad (4.31)$$

$$\text{ЭквNi} = \%Ni + 30 \cdot \%C + 30 \cdot \%N + 10 \cdot \%B + 0,5 \cdot \%Mn. \quad (4.32)$$

Определив ЭквCr и ЭквNi, 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 ферритных ферритно-аустенитная. Двухфазная структура обеспечивает лучшие эксплуатационные характеристики шва.

4.8 Расчет расхода сварочных материалов

При разработке технологии сварки после расчета 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

$$G_{\text{пр}} = M_{\text{нм}} \cdot (1 + \Psi), \quad (4.33)$$

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

Для РДС определяется вес стержней. Для определения полного веса электродов необходимо учитывать вес покрытия

$$G_{\text{э}} = G_{\text{пр}} \cdot K_{\text{вп}}, \quad (4.34)$$

где $K_{\text{вп}}$ – коэффициент веса покрытия, $K_{\text{вп}} = 1,3 - 1,5$.

Расход углекислого газа

$$G_{\text{CO}_2} = q_{\text{CO}_2} \cdot t_o, \quad (4.35)$$

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

Удельный расход CO_2 зависит от диаметра проволоки и силы сварочного тока, его можно найти по таблице 4.5.

Таблица 4.5– Удельный расход CO₂

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

После вычисления объема CO₂ в литрах обычно переводят это значение в массу, учитывая, что при испарении 1 кг углекислоты образуется 509 л газа. Необходимо также указать требуемое количество баллонов CO₂, зная, что в одном баллоне содержится 25 кг углекислоты.

Расход флюса определяется по формуле

$$G_{\text{фл}} = (1,2 \dots 1,4) \cdot G_{\text{пр}}. \quad (4.36)$$

4.9 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.

4.10 Оформление операционной карты

Требования к заполнению и оформлению технологических документов на процессы и операции по сварке устанавливаются ГОСТ 3.1407-86.

Студенту необходимо разработать операционную карту на технологический процесс сборки и сварки изделия. Форма операционной карты (первый и последующие листы), а также пример ее заполнения приведены в ГОСТ 3.1407-86 (форма 1, форма 1а).

Список литературы

- 1 **Куликов, В. П.** Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки / В. П. Куликов. – Минск: Экоперспектива, 2003. – 416 с.
- 2 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. – М.: Машиностроение, 2003. – 560 с.: ил.
- 3 **Куликов, В. П.** Технология и оборудование сварки плавлением / В. П. Куликов. – Могилев: ММИ, 1998. – 256 с.
- 4 **Акулов, А. И.** Технология и оборудование сварки плавлением / А. И. Акулов. – М.: Машиностроение, 1977. – 432 с.

5 Сварка и свариваемые материалы / Под ред. В. Н. Волченко. – М.: Металлургия, 1991. – 527 с.

6 **Куликов, В. П.** Технология сварки плавлением / В. П. Куликов. – Минск: Дизайн ПРО, 2000. – 257 с.

7 **Чернышов, Г. Г.** Технология сварки плавлением / Г. Г. Чернышов: учебник. – М.: Академия, 2010. – 272 с.

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

9 Технология сварки плавлением и термической резки / Под ред. Фролова В. А. Москва. Альфа-М, Инфра М. 2011. – 445 с.

Приложение А

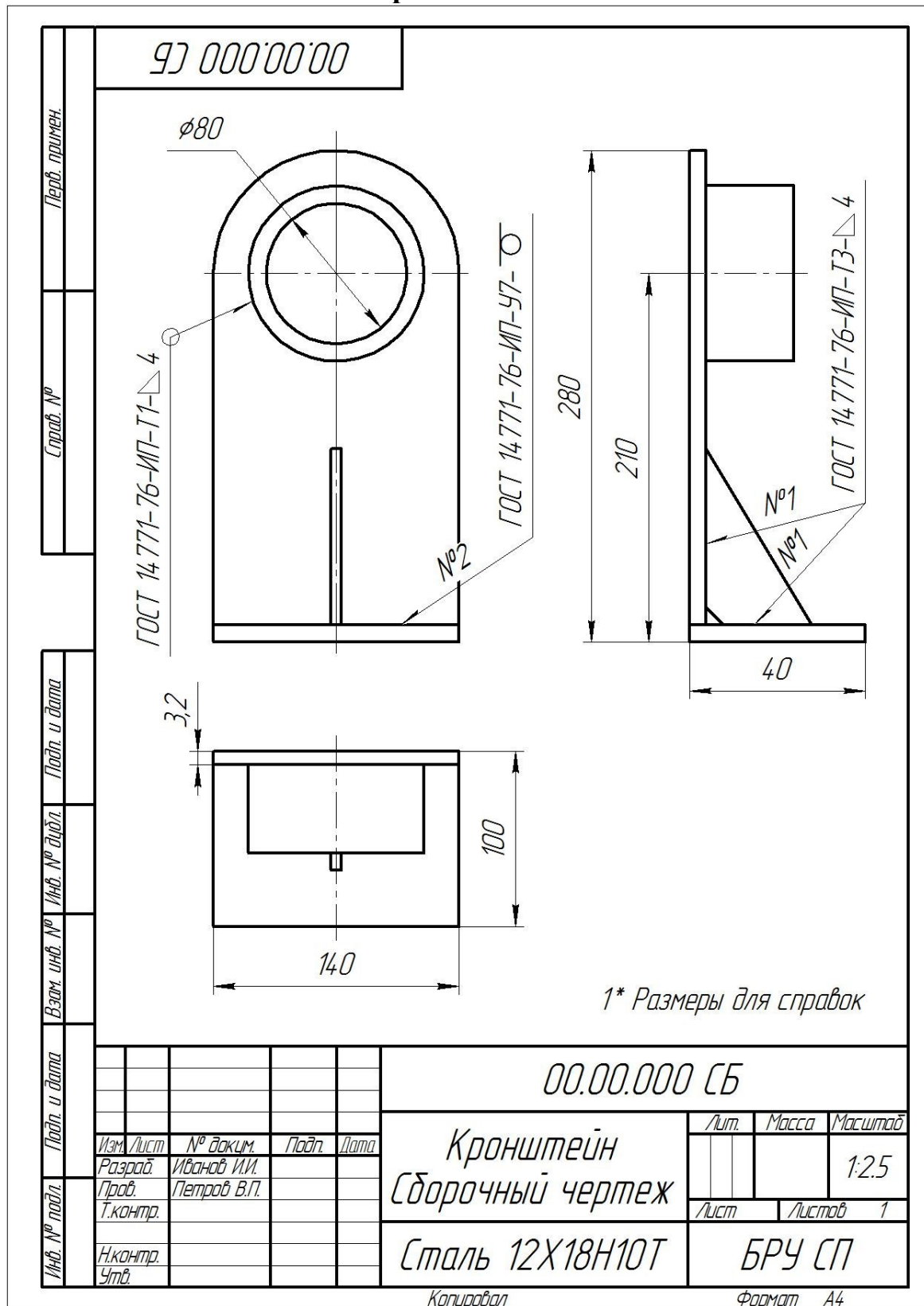


Рисунок А.1 – Чертеж сборочной единицы